

**Modelos Meta-Heurísticos de Otimização da
Produção Baseados na Avaliação de
Riscos Ergonómicos
Propostas para o Futuro do Setor
Vitivinícola Português**

António de Agrela de Freitas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
2º ciclo de estudos

Orientadora: Professora Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

outubro de 2021

Dedicatória

Dedico esta dissertação:

Às minhas lindas Princesas, Martina e Natallia, que foram as minhas verdadeiras “hélices” que me impulsionaram nos momentos mais difíceis. À Martina, minha filha, por ser o meu maior tesouro, uma dádiva de Deus e à Natallia, minha esposa, por todo o amor incondicional, compreensão, dedicação, ajuda e motivação com que me brindou quando mais necessitava.

Aos meus Pais, António e Rosária, agradecendo-lhes todos os ensinamentos, conselhos e a ajuda que me deram ao longo da vida, de um modo especial, a capacidade de resiliência que sempre fizeram questão de me inculcar e que tem sido tão preciosa em todos os momentos de maior dificuldade.

À minha irmã, Fátima, cujo enorme apoio, motivação e sacrifício tornou possível a minha frequência e conclusão deste curso.

Para todos eles com muito amor, carinho e uma enorme gratidão ...

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação foi uma jornada longa e desafiante, que só foi possível graças ao apoio e motivação de diversas pessoas. Por esta razão, gostaria de agradecer a todos aqueles que me ajudaram a alcançar este objetivo de vida.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer, de um modo muito especial, à minha orientadora, a Professora Doutora Tânia Lima, por ter acreditado e apostado em mim, e por toda a motivação, transmissão de conhecimentos e total disponibilidade sempre presentes desde o momento que a conheci. Graças aos seus incentivos em tornar o meu trabalho mais notável, foi possível experienciar uma aprendizagem mais completa e enriquecedora, sendo de destacar que o rigor e os detalhes bem elaborados fazem toda a diferença.

Ao Professor Pedro Dinis Gaspar, Diretor do Curso de Engenharia e Gestão Industrial, pela partilha de conhecimentos, entusiasmo e motivação com que sempre promoveu a temática da inteligência artificial, sendo que com a sua capacidade de simplificar e desmistificar um tema de grande complexidade, conseguiu incutir-me coragem para embarcar nesta grande aventura.

À Dra. Paula Ferraz, Técnica Superior do Serviço Local de Santo António do Instituto de Segurança Social, IP-RAM, por toda a sua simpatia, compreensão, grande profissionalismo e incalculável apoio, o qual foi crucial e decisivo para viabilizar a minha frequência a este curso de mestrado, tornando realidade esta oportunidade de evolução e valorização profissional, a qual é imprescindível para a próxima etapa profissional.

Ao Gabinete do Ensino Superior da Região Autónoma da Madeira, em particular ao Dr. João Costa e Silva, Diretor do Gabinete, e ao Dr. Nelson Teixeira, Técnico Superior do Gabinete, por todo o apoio e compreensão prestados nos momentos mais difíceis, tendo sido agravados pela situação pandémica. Um especial obrigado por ter facultado a possibilidade de candidatura à bolsa de estudos do Governo Regional da Madeira à distância.

Ao Senhor Presidente da Junta de Freguesia de Santo António, no Funchal, Rui Alberto Garanito Santos, por ter facultado a possibilidade de emissão de documentos à distância. Apoio este que foi muito importante dada a impossibilidade de deslocação à ilha da Madeira nos períodos mais críticos da pandemia causada pelo COVID 19.

Ao Gabinete de Relações Públicas da Universidade da Beira Interior, de um modo especial ao Dr. Nuno Barata, pelo alojamento proporcionado, e por todo o grande apoio e compreensão ao longo destes dois anos, tornado possível a estadia na Covilhã. À D. Ângela Duarte pela grande simpatia e apoio prestado. À D. Isabel Fernandes, pela grande simpatia e sempre presente disponibilidade em ajudar em todas as questões que estavam ao seu alcance.

Aos meus colegas de curso, de um modo especial ao Carlos Fernandez e ao António Morais pela amizade, apoio e motivação, assim como pelos bons momentos e pela boa disposição sempre presente.

Deixo a minha sincera gratidão a todos.

Resumo

Para se manter competitiva, a indústria portuguesa necessita de aumentar a sua economia de escala, através do aumento da sua capacidade de produção e de comercialização, com eficácia e eficiência, de forma a favorecer a redução dos custos diretos e indiretos. Para tal, a Indústria 4.0 reveste-se de especial importância para a indústria portuguesa, visto que se trata de uma oportunidade notória para conseguir colmatar as principais barreiras competitivas.

Por outro lado, o crescimento das organizações pode acarretar, muitas vezes, o aumento do número de acidentes de trabalho, proporcionando consequentemente um aumento ao nível dos encargos financeiros desnecessariamente. Deste modo, torna-se pertinente que as organizações desenvolvam um planeamento que favoreça um crescimento mais sustentável em todas as linhas, incluindo uma cultura para a prevenção de riscos ocupacionais.

Deste modo, esta dissertação visa propor três modelos de otimização, que assentam em três vetores de atuação essenciais: a organização de *layouts* produtivos, cuja metodologia se baseia na aplicação de um algoritmo genético; o planeamento de tarefas, fundamentado na utilização de um algoritmo de otimização por colónias de formigas (*Ant Colony Optimization* - ACO); e a implementação de ferramentas da Indústria 4.0 adequadas à minimização dos riscos ergonómicos, cuja abordagem assenta no desenvolvimento de um método de lógica difusa (*fuzzy logic*).

A metodologia foi iniciada com a realização de uma avaliação de riscos gerais associados a cada uma das áreas de laboração, as quais normalmente fazem parte de uma empresa vitivinícola, de acordo com os cenários estabelecidos. A avaliação foi efetuada com base o método William T. Fine, que permitiu obter uma estimativa sobre os graus de perigosidade dos potenciais riscos relacionados com cada uma das zonas de laboração, sendo seguida de uma avaliação de riscos ergonómicos baseada no gasto de energia metabólica no decurso da execução das tarefas, a qual permitiu a quantificação dos riscos inerentes às tarefas dos processos produtivos.

Com base nos resultados das avaliações de riscos efetuadas, foram aplicados os modelos de otimização de *layouts* de produção e de planeamento de tarefas, tendo sido possível obter soluções viáveis para os cenários que integram todas as operações que decorrem

na época alta (época de vindima), tanto em termos de operacionalidade dos processos produtivos, como em relação a minimização de riscos gerais e ergonómicos.

Relativamente aos cenários estabelecidos para a época baixa, foram obtidos resultados viáveis relativamente à otimização do planeamento de tarefas, tendo-se verificado que os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo de otimização de *layouts* de produção, podem apenas ser considerados como resultados complementares, os quais sugerem uma implantação de infraestruturas em dois níveis ou pisos diferenciados.

Ainda com base nos resultados das avaliações de riscos, a aplicação do método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 para minimização de riscos ergonómicos também proporcionou soluções viáveis em termos operacionais, verificando-se uma forte tendência para a recomendação de sistemas mais autónomos, nomeadamente os sistemas integrados automatizados e os robôs autónomos.

A aplicação do método HTA (*Hierarchical Task Analysis*) proporcionou a descrição detalhada de um cenário contemplando a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, o qual permitiu constatar uma redução significativa da ação humana nas tarefas, com a exceção dos trabalhos específicos que requerem mão de obra humana.

Com base nos resultados obtidos através do método HTA, relativamente ao cenário pós-implementação das ferramentas da Indústria 4.0, foi efetuada uma simulação de avaliação de riscos ergonómicos, mediante a aplicação do método NASA-TLX, que permitiu evidenciar que os conjuntos de tarefas que apresentam menores cargas de trabalho são aqueles que beneficiam do apoio das ferramentas da Indústria 4.0.

Palavras-chave

Avaliação de Riscos; Indústria 4.0; Algoritmo Genético; Otimização de Colónia de Formigas; *Fuzzy Logic*; HTA; NASA-TLX.

Abstract

In order to remain competitive, the Portuguese industry must improve its economy of scale, by increasing its capacity of production and commercialization with effectiveness and efficiency, in order to provide the reduction of direct and indirect costs. To achieve this goal, the Industry 4.0 reveals a special importance to the Portuguese industry, being a notable opportunity to overcome the main competitive barriers.

On the other hand, the growth of organizations often may lead to an increase of work-related accidents, providing consequently the increase of financial charges unnecessarily. Thus, it is pertinent that organizations develop a plan that could promote a sustainable growth in all lines, including a culture for the prevention of occupational risks.

Thus, this dissertation aims to propose three optimization models, which are based on three essential action vectors: the organization of productive layouts, whose methodology is based on the application of a genetic algorithm; the planning of tasks, settled on the use of an ant colony optimization algorithm (Ant Colony Optimization - ACO); and the implementation of Industry 4.0 tools suitable for minimizing ergonomic risks, whose approach is based on the development of a fuzzy logic method.

The methodology began with an assessment of the general risks related to each work zone characteristic of a wine company, according to the established scenarios. The assessment was based on the William T. Fine method, which allowed to obtain an estimated degree of danger regarding the potential risks in each work zones, followed by an ergonomic risk assessment based on the expenditure of metabolic energy during the execution of tasks, which allowed the quantification of risks inherent to the productive processes' tasks.

Based on the results of the risk assessments performed, the optimization models of production layouts and tasks planning were applied, providing feasible solutions to the scenarios that integrate all operations that takes place during the high season (harvest season), both regarding the production processes operations, and the minimization of general and ergonomic risks.

Regarding the scenarios established for the low season, feasible results were obtained regarding the optimization of task planning, having been verified that the results obtained from the optimization model applied to the production layouts, can only be considered as supplementary results, which suggest an infrastructure built on two different levels or floors.

Also based on the results of the risk assessments, the application of Industry 4.0 tool selection method to minimize ergonomic risks provided operationally viable solutions, with a strong tendency towards the recommendation of autonomous systems, namely automated integrated systems and autonomous robots.

The employ of the HTA (Hierarchical Task Analysis) method provided a detailed description of a scenario that include the implementation of Industry 4.0 tools, which allowed to verify a significant reduction of human action on the tasks, with the exception of specific tasks that require human work.

Based on the results obtained through the HTA method, regarding the scenario after the implementation of the Industry 4.0 tools, an ergonomic risk assessment simulation was performed, using the NASA-TLX method, which allowed to demonstrate that the sets of tasks that have the lowest workloads corresponds to those that benefit from the support of Industry 4.0 tools.

Keywords

Risk assessment; Industry 4.0; Genetic Algorithm; Ant Colony Optimization; *Fuzzy Logic*; HTA; NASA-TLX.

Índice

| | |
|--|-------------|
| Dedicatória..... | iii |
| Agradecimentos..... | v |
| Resumo | vii |
| Abstract | ix |
| Lista de Figuras..... | xix |
| Lista de Tabelas | xxv |
| Lista de Acrónimos | xxxv |
| Capítulo 1: Introdução..... | 1 |
| 1.1. Contextualização do Estudo | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 12 |
| 1.3. Metodologia..... | 13 |
| 1.4. Estrutura | 14 |
| Capítulo 2: Enquadramento Teórico..... | 17 |
| 2.1. A Indústria 4.0..... | 17 |
| 2.1.1. Os Principais Vetores de Atuação..... | 21 |
| 2.1.2. Os Princípios Chave para o Design da Indústria 4.0 | 22 |
| 2.1.3. Os Pilares de Avanço Tecnológico da Indústria 4.0..... | 24 |
| 2.1.3.1. <i>Big Data and Analytics</i> | 26 |
| 2.1.3.2. Os Robôs Autónomos | 27 |
| 2.1.3.3. A Produção Aditiva..... | 27 |
| 2.1.3.4. A Simulação e Modelação | 28 |
| 2.1.3.5. A Integração de Sistemas..... | 30 |
| 2.1.3.6. <i>Cloud Computing</i> | 30 |
| 2.1.3.7. A Internet das Coisas..... | 32 |
| 2.1.3.8. A Cibersegurança..... | 34 |
| 2.1.3.9. A Realidade Aumentada e a Realidade Virtual..... | 35 |
| 2.2. A Implementação da Indústria 4.0 e os seus Graus de Desenvolvimento..... | 36 |
| 2.3. A Higiene e Segurança e a Indústria 4.0..... | 45 |
| 2.4. A Ergonomia..... | 47 |
| 2.4.1. A Ergonomia e a Indústria 4.0 | 52 |
| 2.4.2. A Ergonomia e as Soluções Robóticas | 57 |
| 2.4.2.1. Exosqueletos..... | 57 |
| 2.4.2.2. Robôs Autónomos e Robôs Colaborativos (<i>Cobots</i>) | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.3. A Ergonomia e a Inteligência Artificial | 65 |
| 2.5. Planeamento de Tarefas em Linhas de Montagem | 67 |
| 2.6. A Interação Operador-Posto de Trabalho na Era 4.0..... | 71 |
| Capítulo 3: Avaliação e Quantificação dos Riscos Ocupacionais | 73 |
| 3.1. Os Modelos Qualitativos de Risco..... | 73 |
| 3.2. Os Modelos Quantitativos de Risco..... | 73 |
| 3.3. Os Modelos Semiquantitativos de Risco | 74 |
| 3.3.1. O Método William T. Fine e os Critérios de Avaliação..... | 75 |
| 3.4. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Avaliação e Quantificação dos Riscos Ocupacionais..... | 78 |
| Capítulo 4: Métodos de Avaliação de Riscos Ergonómicos | 79 |
| 4.1. Os Métodos Físicos | 82 |
| 4.2. Os Métodos Cognitivos e Comportamentais | 84 |
| 4.2.1. Métodos de Análise de Tarefas Cognitivas | 84 |
| 4.2.1.1. Análise Hierárquica de Tarefas (HTA)..... | 85 |
| 4.2.1.2. Método de Alocação de Funções | 85 |
| 4.2.1.3. Método de Decisão Crítica (CDM)..... | 86 |
| 4.2.1.4. Análise ao Trabalho Cognitivo | 87 |
| 4.2.2. Métodos de Análise de Erro | 87 |
| 4.2.2.1. <i>Simulator for Human Error Probability Analysis</i> (SHERPA)..... | 88 |
| 4.2.2.2. <i>Task Analysis for Error Identification</i> (TAFEI)..... | 88 |
| 4.2.3. Métodos de Análise Situacional e de Carga de Trabalho | 89 |
| 4.2.3.1. <i>NASA Task Load Index</i> | 90 |
| 4.2.3.2. O método mmCPA..... | 91 |
| 4.3. Os Métodos Psicofisiológicos | 93 |
| 4.3.1. Medição Eletrodérmica | 93 |
| 4.3.2. A Eletromiografia (EMG) | 94 |
| 4.3.3. Esforço Mental Estimado Através da Frequência Cardíaca e da Variabilidade da Frequência Cardíaca..... | 95 |
| 4.3.4. Os Métodos de Eletroencefalografia (EEG) com Registo Ambulatório e de Sonolência..... | 96 |
| 4.3.5. Avaliação da Função Cerebral e Cronometria Mental com Relação a Potenciais Eventos (ERP) | 96 |
| 4.3.6. Monitorização do Estado de Alerta Através do Fecho das Pálpebras..... | 96 |
| 4.3.7. Medição da Respiração em Fatores Humanos Aplicados e Pesquisa de Ergonomia | 97 |

| | |
|--|------------|
| 4.3.8. Avaliação de riscos ergonómicos baseada no dispêndio de energia metabólica..... | 97 |
| 4.4. Métodos Ergonómicos Integrados com as Tecnologias da Indústria 4.0 na Avaliação de Riscos..... | 98 |
| 4.5. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Avaliação de Riscos Ergonómicos.. | 104 |
| Capítulo 5: Métodos de Otimização para a Prevenção de Riscos Ergonómicos..... | 107 |
| 5.1. Métodos de Otimização de <i>Layouts</i> de Linhas de Produção..... | 107 |
| 5.2. Métodos de Otimização de Processos de Planeamento de Tarefas..... | 110 |
| 5.3. Métodos de Apoio à Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0 | 117 |
| 5.4. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Apoio à Decisão para a Prevenção de Riscos Ergonómicos..... | 120 |
| Capítulo 6: A Indústria Portuguesa e os Acidentes Laborais..... | 123 |
| 6.1. Caracterização do Tecido Empresarial Português | 123 |
| 6.2. A Sinistralidade Laboral | 131 |
| 6.2.1. Os Acidentes de Trabalho..... | 133 |
| 6.2.1.1. Os Acidentes de Trabalho Graves..... | 133 |
| 6.2.1.2. Os Acidentes de Trabalho Mortais..... | 136 |
| 6.3. Nota Conclusiva sobre a Indústria Portuguesa e os Acidentes de Laborais..... | 139 |
| Capítulo 7: Caraterização da Amostra | 141 |
| 7.1. A Recolha de Dados | 143 |
| 7.2. O Processo de Produção de Vinhos Comuns e Licorosos..... | 143 |
| 7.2.1. As Etapas do Processo de Produção..... | 144 |
| 7.2.1.1. A Descrição das Etapas dos Processos de Produção | 145 |
| 7.3. As Principais Máquinas e Equipamentos Utilizados na Atividade | 159 |
| 7.3.1. As Operações de Higienização e Manutenção de Máquinas, Equipamentos e Instalações | 159 |
| 7.4. Os Principais Riscos Associados à Atividade | 161 |
| 7.4.1. Os Principais Riscos Ergonómicos..... | 167 |
| 7.5. Os <i>Layouts</i> Gerais das Áreas Produtivas..... | 168 |
| 7.6. Nota Conclusiva sobre a Caraterização da Amostra..... | 176 |
| Capítulo 8: Avaliação e Quantificação dos Riscos Identificados no Sector Vinícola | 179 |
| 8.1. Metodologia de Análise e Quantificação dos Riscos..... | 179 |

| | |
|--|------------|
| 8.1.1. Aplicação do Método William T. Fine na Avaliação dos Riscos Identificados no Setor Vinícola | 180 |
| 8.2. Avaliação e Quantificação dos Riscos Ergonómicos no Sector | 181 |
| 8.2.1. A atividade física e a sua relação com os riscos ergonómicos..... | 182 |
| 8.2.2. As Atividades Físicas e a sua Quantificação em Termos de Dispendio de Energia Metabólica | 183 |
| 8.2.3. Métodos de Determinação do Gasto de Energia Metabólica..... | 188 |
| 8.2.4. Aplicação do Método de Determinação do Gasto de Energia Metabólica | 191 |
| 8.3. Nota Conclusiva sobre a Avaliação e Quantificação dos Riscos Identificados no Sector Vinícola | 193 |
| Capítulo 9: Design e Aplicação dos Modelos de Otimização..... | 195 |
| 9.1. Cenários Estabelecidos..... | 195 |
| 9.2. Otimização Ergonómica de <i>Layouts</i> Produtivos: Algoritmo Genético | 196 |
| 9.2.1. Os algoritmos Genéticos | 196 |
| 9.2.2. Metodologia Aplicada..... | 203 |
| 9.2.3. Aplicação do Modelo de Otimização | 207 |
| 9.2.3.1. Considerações gerais | 208 |
| 9.2.3.2. Otimização do <i>Layout</i> Produtivo com Base na Avaliação de Riscos Ocupacionais Gerais..... | 209 |
| 9.2.3.2.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta | 210 |
| 9.2.3.2.1.1. Resultados Obtidos para o Cenário 1 | 211 |
| 9.2.3.2.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa..... | 213 |
| 9.2.3.2.2.1. Resultados Obtidos para o Cenário 2 | 214 |
| 9.2.3.2.3. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta..... | 217 |
| 9.2.3.2.3.1. Resultados Obtidos para o Cenário 3 | 218 |
| 9.2.3.2.4. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 220 |
| 9.2.3.2.4.1. Resultados Obtidos para o Cenário 4 | 221 |
| 9.2.3.3. Otimização do <i>layout</i> produtivo com Base na Avaliação de Riscos Ergonómicos..... | 223 |
| 9.2.3.3.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de Madeira na época alta | 223 |
| 9.2.3.3.1.1. Resultados Obtidos para o Cenário 1 | 224 |
| 9.2.3.3.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa..... | 226 |

| | |
|--|------------|
| 9.2.3.3.2.1. Resultados Obtidos para o Cenário 2 | 227 |
| 9.2.3.3.3. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta..... | 229 |
| 9.2.3.3.3.1. Resultados Obtidos para o Cenário 3 | 230 |
| 9.2.3.3.4. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 232 |
| 9.2.3.3.4.1. Resultados Obtidos para o Cenário 4 | 233 |
| 9.3. Otimização do Planeamento das Atividades Laborais: Algoritmo de Otimização de Colónia de Formigas | 238 |
| 9.3.1. Abordagem Teórica do Modelo de Otimização | 238 |
| 9.3.2. Design do Modelo de Otimização | 242 |
| 9.3.3. Aplicação do Modelo de Otimização | 244 |
| 9.3.3.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta | 247 |
| 9.3.3.1.1. Resultados Obtidos para o Cenário 1 | 248 |
| 9.3.3.1.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa..... | 251 |
| 9.3.3.1.3. Resultados Obtidos para o Cenário 2 | 253 |
| 9.3.3.1.4. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta..... | 255 |
| 9.3.3.1.5. Resultados Obtidos para o Cenário 3 | 257 |
| 9.3.3.1.6. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 260 |
| 9.3.3.1.7. Resultados Obtidos para o Cenário 4 | 261 |
| 9.4. Método de Escolha de Ferramentas da Indústria 4.0 Apropriadas à Minimização de Riscos Ergonómicos..... | 265 |
| 9.4.1. Abordagem Teórica do Modelo de Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0 baseado em Lógica Difusa | 265 |
| 9.4.2. Design do Modelo de Seleção..... | 267 |
| 9.4.3. Aplicação do Modelo de Seleção | 272 |
| 9.4.4. Resultados Obtidos..... | 276 |
| 9.5. Nota Conclusiva sobre os Design e Aplicação dos Modelos de Otimização | 283 |
| 9.5.1. Otimização de <i>Layouts</i> Produtivos..... | 283 |
| 9.5.2. Otimização do Planeamento das Atividades Laborais | 284 |
| 9.5.3. Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0 para a Minimização de Riscos ergonómicos..... | 285 |
| Capítulo 10: Avaliação de Riscos Ergonómicos Após Implementação das Ferramentas da Indústria 4.0..... | 287 |

| | |
|---|------------|
| 10.1. Análise Hierárquica de Tarefas (HTA) | 288 |
| 10.1.1. Estratégia de Abordagem ao método HTA..... | 288 |
| 10.1.2. Aplicação de método HTA ao contexto em estudo..... | 289 |
| 10.2. O NASA <i>Task Load Index</i> (NASA-TLX) | 292 |
| 10.2.1. Aplicação do Método NASA <i>Task Load Index</i> (NASA-TLX) | 293 |
| 10.2.2. Resultados obtidos | 294 |
| 10.3. Nota Conclusiva sobre a Avaliação de Riscos Ergonómicos Após a Implementação das Ferramentas da Indústria 4.0 | 298 |
| Capítulo 11: Conclusões Finais | 299 |
| 11.1. Limitações do Estudo | 302 |
| 11.2. Trabalhos Futuros | 302 |
| Bibliografia | 305 |
| Apêndice I: Critérios de segurança estabelecidos com base no Método William T. Fine e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola | 343 |
| Critérios de segurança e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima) | 343 |
| Critérios de segurança e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola durante a época baixa (após a vindima)..... | 348 |
| Apêndice II: Atividades dos processos produtivos do setor vinícola, principais tarefas envolvidas e as respetivas estimativas em termos de dispêndio de energia metabólica | 355 |
| Apêndice III: Avaliação de riscos ergonómicos com base na estimativa da energia metabólica despendida na execução das tarefas | 365 |
| Apêndice IV: Implementação em MatLab do modelo de otimização de <i>layouts</i> produtivos com base na avaliação de riscos | 371 |
| Apêndice V: Otimização de <i>layout</i> produtivo com base na avaliação de riscos ocupacionais gerais | 377 |
| Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta..... | 377 |
| Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa | 381 |
| Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta | 384 |
| Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 387 |

| | |
|---|------------|
| Apêndice VI: Otimização de <i>layout</i> produtivo com base na avaliação de riscos ergonómicos | 391 |
| Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta | 391 |
| Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa..... | 394 |
| Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta | 397 |
| Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 400 |
| Apêndice VII: Implementação em MatLab do modelo de otimização do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos | 405 |
| Apêndice VIII: Otimização do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos..... | 417 |
| Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta | 417 |
| Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa..... | 424 |
| Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta | 430 |
| Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa | 436 |
| Apêndice IX: Desenvolvimento da metodologia <i>Fuzzy Logic</i> e implementação em MatLab do modelo de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 apropriadas à minimização de riscos ergonómicos..... | 444 |
| Apêndice X: Resultados obtidos após aplicação do Método HTA ao cenário antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0 | 467 |
| Apêndice XI: Resultados Obtidos Após Aplicação do Método HTA ao Cenário Após a Implementação das Ferramentas de Indústria 4.0..... | 481 |
| Apêndice XII: Resultados obtidos após aplicação do NASA-TLX aos cinco conjuntos de tarefas estabelecidos após implementação das ferramentas da Indústria 4.0..... | 493 |

| | |
|--|------------|
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô autônomo | 493 |
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô colaborativo | 494 |
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação do sistema integrado automatizado | 495 |
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI..... | 496 |
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com sistema elevatório | 497 |
| Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana sem apoio | 498 |
| Anexo I: As Principais Máquinas e Equipamentos Utilizados na Atividade Vinícola | 499 |
| Anexo II: Método de aplicação do NASA <i>Task Load Index</i> | 507 |
| Definição das escalas de avaliação do método NASA-TLX | 507 |
| Cartões de comparação de fontes de trabalho - Comparação de exigências de carga de trabalho do método NASA-TLX | 508 |
| Escalas de avaliação das exigências do método NASA-TLX..... | 509 |
| Folha de contagem da comparação de fontes de trabalho do método NASA-TLX..... | 510 |
| Folha de avaliação ponderada do método NASA-TLX..... | 511 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Estatística de acidentes de trabalho em Portugal, desde o ano 2008 até 2020. | 8 |
| Figura 2 - Estatística referente às doenças profissionais certificadas - 2013 a 2017..... | 9 |
| Figura 3 - As etapas da evolução industrial | 18 |
| Figura 4 - A Indústria 4.0 como novo modelo industrial..... | 20 |
| Figura 5 - Fábrica Inteligente no centro do conceito Indústria 4.0..... | 21 |
| Figura 6 - Estrutura de um Sistema Ciber-físico | 24 |
| Figura 7 - Sistema Ciber-físico de controlo em rede de circuito fechado | 25 |
| Figura 8 - Ilustração dos nove pilares da Indústria 4.0..... | 26 |
| Figura 9 - Estrutura conceptual de enquadramento da simulação | 29 |
| Figura 10 - Arquitetura tradicional Cloud | 31 |
| Figura 11 - Arquitetura <i>Fog Computing</i> | 32 |
| Figura 12 - Implementação da estrutura da indústria 4.0 | 37 |
| Figura 13 - Dimensões do design de um sistema de montagem..... | 38 |
| Figura 14 - Principais características de um sistema de montagem 4.0 | 39 |
| Figura 15 - Etapas para a implementação da Indústria 4.0 ao longo da cadeia de abastecimento..... | 40 |
| Figura 16 - Roteiro de tecnologia proposto para a Indústria 4.0 | 42 |
| Figura 17 - Exemplo gráfico do grau de prontidão de uma fábrica | 45 |
| Figura 18 - Diagrama ilustrativo das categorias, clusters e subclusters das diversas linhas de investigação emergentes sobre o tema segurança e Ergonomia na robótica colaborativa industrial..... | 53 |
| Figura 19 - Relação dos requisitos de interação homem-robô a considerar num conceito integrado de design de produto/processo | 54 |
| Figura 20 - Integração de ferramentas ergonómicas no universo da Indústria 4.0 | 56 |
| Figura 21 - a) Arquitetura eletrónica do exosqueleto modelo SEJ2.0: distribuição de sensores e atuadores, b) Modelo SEJ2.0 utilizado durante as tarefas de levantamento e transporte de cargas | 59 |
| Figura 22 - Exemplo de exosqueleto utilizado para auxiliar os membros inferiores - A cadeira <i>Chairless</i> | 60 |
| Figura 23 - Modelo de exosqueleto utilizado durante a preparação de uma prensa..... | 61 |

| | |
|---|-----|
| Figura 24 - Colaboradores da Audi a testar exoesqueletos na realização de tarefas acima do nível da cabeça | 62 |
| Figura 25 - Robôs autónomos configurados para a realização de montagens..... | 63 |
| Figura 26 - Exemplo de um cenário de colaboração multimodal simbiótica humano-robô | 64 |
| Figura 27 - <i>Layout</i> de exemplo de uma linha de montagem em forma de U | 68 |
| Figura 28 - Exemplo de configuração de duas linhas de montagem..... | 70 |
| Figura 29 - Hierarquia e medidas de controlo de riscos..... | 76 |
| Figura 30 - Processo de Seleção de Métodos de Análise, Avaliação e Intervenção Ergonómica | 79 |
| Figura 31 - Visão geral das atividades das glândulas sudoríparas écrinas e apócrinas numa secção de pele | 93 |
| Figura 32 - Medição dos sinais de atividade eletrodérmica | 94 |
| Figura 33 - Configuração de medição composta por uma unidade de medição e três elétrodos de superfície e respetiva eletromiografia..... | 94 |
| Figura 34 - Distribuição das empresas por localização geográfica em Portugal no ano 2019..... | 125 |
| Figura 35 - Dimensão das empresas em Portugal no ano 2019 | 125 |
| Figura 36 - Estrutura da CAE da atividade económica escolhida para abordagem mais relevantes..... | 130 |
| Figura 37 - Níveis da maioria das causas dos acidentes de trabalho..... | 131 |
| Figura 38 - Evolução do número de acidentes graves por setor de atividade industrial (2018-2020)..... | 133 |
| Figura 39 - Evolução do número de acidentes mortais por setor de atividade industrial (2018-2020)..... | 137 |
| Figura 40 - Operações de verificação automática do grau alcoólico (à esquerda) e descarga das uvas (à direita)..... | 146 |
| Figura 41 - Processo de seleção manual das uvas | 146 |
| Figura 42 - Sistema de esmagamento e desengace das uvas | 147 |
| Figura 43 – Diagrama esquemático do funcionamento de uma prensa contínua com a respetiva drenagem do mosto | 148 |
| Figura 44 - Processo de clarificação de mostos brancos | 149 |
| Figura 45 - Processo de fermentação alcoólica industrial | 150 |
| Figura 46 - Exemplificação do processo de remontagem | 151 |

| | |
|--|-----|
| Figura 47 - Processos de sangria (à esquerda) e desencuba (à direita) após a fermentação | 152 |
| Figura 48 - Processo de trasfega | 153 |
| Figura 49 - Processo de prensagem através de prensa pneumática | 153 |
| Figura 50 - Processos de preparação de vinhos para estágio/envelhecimento | 155 |
| Figura 51 - Diagrama esquemático da etapa de estufagem no processo de produção de vinho Madeira | 155 |
| Figura 52 - Processo de colagem | 156 |
| Figura 53 – Diagrama esquemático do processo contínuo de estabilização pelo frio .. | 157 |
| Figura 54 - O modo de atuação da Ergonomia | 167 |
| Figura 55 - <i>Layout</i> da adega vinícola <i>Cantine Paolo Leo</i> , em Itália | 172 |
| Figura 56 - Seção transversal da Adega Woollastone, na Nova Zelândia | 173 |
| Figura 57 - Soluções de <i>layout</i> definidas através da análise de meta-design | 174 |
| Figura 58 - <i>Layouts</i> propostos para as diferentes classes de adegas vinícolas | 175 |
| Figura 59 - Esquema de libertação de energia, gasto de energia e frequência cardíaca antes, durante e após o trabalho no estado estacionário | 186 |
| Figura 60 - Evolução da frequência cardíaca durante a execução de um trabalho exaustivo versus a frequência cardíaca no estado estacionário durante a execução de um trabalho físico leve | 188 |
| Figura 61 - O ciclo do Algoritmo Genético | 198 |
| Figura 62 - Processo de <i>Crossover</i> | 200 |
| Figura 63 - Processo de Mutação..... | 201 |
| Figura 64 - Fluxograma de um algoritmo genético | 202 |
| Figura 65 - Extrato inicial do código do algoritmo genético referente à introdução dos parâmetros para a determinação do número de zonas de laboração | 203 |
| Figura 66 - Exemplo de <i>layout</i> de uma adega vinícola..... | 208 |
| Figura 67 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima). | 211 |
| Figura 68 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima). | 215 |

| | |
|---|-----|
| Figura 69 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima) com diferenciação em dois níveis (pisos). | 216 |
| Figura 70 - Sobreposição das soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva com dois níveis diferenciados na época baixa (após o período de vindima). | 217 |
| Figura 71 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, excluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima). | 219 |
| Figura 72 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, excluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima). | 222 |
| Figura 73 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonômicos, incluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima). | 225 |
| Figura 74 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonômicos, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima). | 228 |
| Figura 75 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonômicos, com exclusão o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima). | 231 |
| Figura 76 - Soluções obtidas para a otimização do <i>layout</i> da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonômicos, excluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima). | 234 |
| Figura 77 - Exemplo conceptual do fenómeno da disseminação de feromonas realizada durante a procura de alimento, sendo estabelecido o caminho mais curto entre o ninho e a fonte de alimento | 240 |
| Figura 78 - Configuração experimental para a experiência da ponte dupla..... | 241 |
| Figura 79 - Pseudocódigo do algoritmo de otimização de colónia de formigas | 243 |
| Figura 80 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, incluindo a produção de vinho Madeira, na época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto). | 250 |

| | |
|---|-----|
| Figura 81 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, incluindo a produção de vinho Madeira, após a época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto). | 254 |
| Figura 82 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, excluindo o processo de estufagem, na época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto). | 258 |
| Figura 83 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, excluindo o processo de estufagem, após a época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto). | 263 |
| Figura 84 - Exemplificação de um sistema de lógica difusa | 267 |
| Figura 85 - Região limite de um conjunto difuso | 269 |
| Figura 86 - O sistema difuso define "alto" e "baixo" | 269 |
| Figura 87 - Configuração de um sistema <i>fuzzy</i> puro | 270 |
| Figura 88 - Os 5 principais módulos da <i>Toolbox Fuzzy Logic</i> da aplicação MatLab... .. | 272 |
| Figura 89 - Design da estrutura do método de seleção. | 273 |
| Figura 90 - Exemplo de plataforma elevatória industrial | 277 |
| Figura 91 - Exemplo de um exosqueleto para apoio dos membros inferiores..... | 277 |
| Figura 92 - Exemplo de um exosqueleto para apoio dos membros superiores..... | 278 |
| Figura 93 - Exemplo de um exosqueleto com apoio para o corpo inteiro | 278 |
| Figura 94 - Exemplo de robôs colaborativos ou <i>cobots</i> | 279 |
| Figura 95 - Exemplo de um robô autónomo móvel | 279 |
| Figura 96 - Exemplo de um sistema Integrado e automatizado..... | 280 |
| Figura 97 - Resultado obtido após aplicação do método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 à atividade receção e descarga das uvas. | 280 |
| Figura 98 - Diagrama em árvore referente a atividade Receção e descarga de uvas após a implementação das ferramentas de Indústria 4.0. | 290 |
| Figura 99 - Representação gráfica das classificações individuais ponderadas de subescala ou dimensão obtidas após a aplicação da primeira etapa do método NASA-TLX..... | 297 |
| Figura 100 - Design do método <i>Fuzzy Logic</i> | 458 |
| Figura 101 - Parâmetros da variável mobilidade horizontal. | 459 |
| Figura 102 - Parâmetros da variável mobilidade vertical. | 459 |
| Figura 103 - Parâmetros da variável capacidade de carga. | 460 |
| Figura 104 - Parâmetros da variável velocidade de trabalho..... | 460 |

| | |
|--|-----|
| Figura 105 - Parâmetros da variável suporte aos membros inferiores. | 461 |
| Figura 106 - Parâmetros da variável suporte aos membros superiores. | 461 |
| Figura 107 - Parâmetros da variável intervenção humana. | 462 |
| Figura 108 - Parâmetros referentes outputs relativamente à sugestão de ferramentas da Indústria 4.0. | 462 |
| Figura 109 - Representação gráfica das variáveis de <i>input</i> mobilidade horizontal e vertical vs solução: ferramenta da Indústria 4.0. | 464 |
| Figura 110 - Representação gráfica das variáveis de <i>input</i> velocidade de trabalho e capacidade de carga vs solução: ferramenta da Indústria 4.0. | 464 |
| Figura 111 - Representação gráfica das variáveis de <i>input</i> apoio dos membros inferiores e superiores do corpo vs solução: ferramenta da Indústria 4.0. | 465 |
| Figura 112 - Representação gráfica das variáveis de <i>input</i> mobilidade vertical e relevância da presença humana vs solução: ferramenta da Indústria 4.0. | 465 |
| Figura 113 - Representação gráfica das variáveis de <i>input</i> mobilidade horizontal e relevância da presença humana vs solução: ferramenta da Indústria 4.0. | 466 |
| Figura 114 - Diagrama em árvore referente a atividade Receção e descarga de uvas antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0. | 467 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - <i>Ranking</i> 2020 do Índice de Economia Digital e Sociedade (DESI) | 3 |
| Tabela 2 - Resumo de alguns estudos sobre modelos de maturidade para a indústria 4.0. | 43 |
| Tabela 3 - Exemplo de matriz de avaliação qualitativa de risco (5×4)..... | 73 |
| Tabela 4 - Exemplo de uma matriz de avaliação qualitativa de risco (5×4)..... | 74 |
| Tabela 5 - Descrições semiquantitativas para o exemplo de probabilidade de ocorrência | 75 |
| Tabela 6 - Descrições semiquantitativas para o exemplo de severidade da consequência | 75 |
| Tabela 7 - Níveis de pontuação de risco e exemplo de ação | 75 |
| Tabela 8 - Consequências (C)..... | 77 |
| Tabela 9 - Exposição (E) aos riscos laborais | 77 |
| Tabela 10 - Probabilidades (P) de ocorrência de acidentes | 77 |
| Tabela 11 - Classificação dos graus de Perigosidade (GP)..... | 78 |
| Tabela 12 - Correspondência entre os grupos de métodos ergonómicos e os tipos de dados de design estabelecidos por Wilson e Sharples | 81 |
| Tabela 13 - Exemplos de métodos de avaliação diretos, semidiretos e indiretos | 84 |
| Tabela 14 - Resumo dos métodos de avaliação ergonómicos aplicados na atualidade. . | 99 |
| Tabela 15 - Resumo de alguns estudos sobre métodos para otimização de <i>layouts</i> de áreas de produção..... | 108 |
| Tabela 16 - Resumo de alguns estudos sobre modelos elaborados para a otimização da alocação de tarefas de produção. | 112 |
| Tabela 17 - Resumo de alguns estudos sobre modelos elaborados para a apoio na seleção de ferramentas da indústria 4.0. | 118 |
| Tabela 18 - Evolução do número de empresas por sector de atividade económica entre os anos 2008 e 2019..... | 123 |
| Tabela 19 - Evolução do número de empresas de acordo com a respetiva dimensão entre os anos 2004 e 2019..... | 124 |
| Tabela 20 - Proporção das empresas em Portugal de acordo com a dimensão no ano 2019 | 126 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 21 - Distribuição da indústria em Portugal de acordo com a atividade económica no ano 2019 | 126 |
| Tabela 22 – Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por secção de atividade económica no ano 2019 | 127 |
| Tabela 23 - Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por divisão de atividade económica dentro do setor indústrias transformadoras no ano 2019..... | 127 |
| Tabela 24 - Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por subclasse de atividade económica no ano 2019 | 129 |
| Tabela 25 - Evolução dos tipos de lesão inerentes aos acidentes graves (2018-2020) . | 134 |
| Tabela 26 - Síntese das principais partes do corpo atingidas nos acidentes graves (2018-2020)..... | 135 |
| Tabela 27 - Principais agentes materiais envolvidos nos acidentes graves (2018-2020) | 135 |
| Tabela 28 - Evolução dos tipos de lesão inerentes aos acidentes mortais (2018-2020) (ACT, 2021). | 137 |
| Tabela 29 – Síntese das principais partes do corpo atingidas nos acidentes mortais (2018-2020)..... | 138 |
| Tabela 30 - Principais agentes materiais envolvidos nos acidentes mortais (2018-2020) | 138 |
| Tabela 31 - Evolução da Produção Total (hl) por Região Vitivinícola (2016-2020).... | 141 |
| Tabela 32 - Evolução da produção declarada por cor (1000 hl) desde 2011 a 2018 | 142 |
| Tabela 33 - Dados estatísticos referentes aos encepamentos mais utilizados nas vinhas portuguesas no ano 2018..... | 142 |
| Tabela 34 - Resumo das operações utilizadas em cada etapa dos processos de produção dos vários tipos de vinho | 144 |
| Tabela 35 - Níveis de higiene na área de enologia..... | 160 |
| Tabela 36 - Principais riscos inerentes à indústria de produção de vinhos | 162 |
| Tabela 37 - Principais riscos ergonómicos inerentes à indústria de produção de vinhos | 168 |
| Tabela 38 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima). | 180 |
| Tabela 39 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época baixa (após vindima). | 181 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 40 - Classificação do nível de exigência face ao trabalho | 186 |
| Tabela 41 - Alterações típicas nas funções fisiológicas entre os estados de repouso e de esforço máximo..... | 187 |
| Tabela 42 - Classificação de cinco níveis de atividade física em termos de intensidade | 191 |
| Tabela 43 - Resumo das energias metabólicas despendidas nas atividades durante o processo de produção..... | 192 |
| Tabela 44 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva..... | 193 |
| Tabela 45 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização..... | 195 |
| Tabela 46 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização tendo e consideração a avaliação dos riscos gerais. | 209 |
| Tabela 47 - Síntese da avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (com produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima)..... | 210 |
| Tabela 48 - Síntese da avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (com produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após vindima). | 213 |
| Tabela 49 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (sem produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima). | 218 |
| Tabela 50 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (sem produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após vindima)..... | 220 |
| Tabela 51 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização tendo e consideração a avaliação dos riscos ergonómicos. | 223 |
| Tabela 52 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (com produção de vinho Madeira) durante a época de vindima. | 224 |
| Tabela 53 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (com produção de vinho Madeira) após a época de vindima..... | 227 |
| Tabela 54 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (sem produção de vinho Madeira) durante a época de vindima. | 229 |
| Tabela 55 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (sem produção de vinho Madeira) após a época de vindima..... | 232 |
| Tabela 56 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do modelo de otimização de <i>layouts</i> aos vários cenários estipulados..... | 235 |
| Tabela 57 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização..... | 245 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 58 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, incluindo a produção de vinho Madeira na época de vindima (alta). | 247 |
| Tabela 59 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 1 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colónias de formigas). | 248 |
| Tabela 60 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 1. | 251 |
| Tabela 61 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, incluindo a produção de vinho Madeira na época após a vindima (época baixa). | 252 |
| Tabela 62 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 2 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colónias de formigas). | 253 |
| Tabela 63 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 2. | 255 |
| Tabela 64 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, no período de vindima (época alta), excluindo o processo de estufagem. | 256 |
| Tabela 65 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 3 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colónias de formigas). | 257 |
| Tabela 66 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 3. | 259 |
| Tabela 67 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, após a vindima (época baixa), excluindo o processo de estufagem. | 260 |
| Tabela 68 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 4 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colónias de formigas). | 261 |
| Tabela 69 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 2. | 264 |
| Tabela 70 - Resultados obtidos para cada atividade após a aplicação do método baseado em lógica difusa. | 281 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 71 - Resumo das soluções encontradas para a minimização de riscos ergonômicos nas atividades laborarias selecionadas. | 282 |
| Tabela 72 - Exemplo de planos HTA | 289 |
| Tabela 73 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do método HTA após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, | 291 |
| Tabela 74 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo. | 295 |
| Tabela 75 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo | 295 |
| Tabela 76 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do método NASA-TLX aos cinco conjuntos de tarefas. | 296 |
| Tabela 77 - Estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima). | 343 |
| Tabela 78 - Estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época baixa (após vindima). | 349 |
| Tabela 79 - Resumo das atividades integrantes dos processos produtivos do setor vinícola, com referenciação das principais tarefas envolvidas e as respectivas estimativas de dispêndio de energia metabólica | 355 |
| Tabela 80 - Estimativa comparativa da energia metabólica que normalmente é despendida na execução das tarefas durante de produção vinícola, de acordo com as tarefas estudadas em vários trabalhos de investigação | 365 |
| Tabela 81 - Síntese das atividades laborais e das respectivas tarefas com maior impacto no aumento dos riscos ergonômicos (MET superior a 5,8). | 444 |
| Tabela 82 - Resumo das atividades e respectivas tarefas fisicamente mais exigentes, associadas aos fatores de riscos ergonômico, ao tipo de esforço relevância da presença humana e tipo de deslocação necessária. | 449 |
| Tabela 83 - Diagrama tubular HTA para a operação receção e descarga das uvas | 468 |
| Tabela 84 - Diagrama tubular HTA para a operação seleção/triagem das uvas | 468 |
| Tabela 85 - Diagrama tubular HTA para a operação desbloqueio/limpeza do sistema de desengace/esmagamento | 468 |
| Tabela 86 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitação | 469 |
| Tabela 87 - Diagrama tubular HTA para a operação clarificação de mostos | 469 |
| Tabela 88 - Diagrama tubular HTA para a operação preparação do mosto | 469 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 89 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação alcoólica | 470 |
| Tabela 90 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/acompanhamento da maceração | 470 |
| Tabela 91 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos brancos) | 470 |
| Tabela 92 - Diagrama tubular HTA para a operação sangria/desencuba | 471 |
| Tabela 93 - Diagrama tubular HTA para a operação esgotamento/prensagem..... | 471 |
| Tabela 94 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/manutenção das prensas | 471 |
| Tabela 95 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos tintos)..... | 471 |
| Tabela 96 - Diagrama tubular HTA para a operação fortificação (adição de aguardente vínica)..... | 472 |
| Tabela 97 - Diagrama tubular HTA para a operação ajustes enológicos | 472 |
| Tabela 98 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes base | 472 |
| Tabela 99 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação | 473 |
| Tabela 100 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem..... | 473 |
| Tabela 101 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitação | 473 |
| Tabela 102 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (barricas de madeira)..... | 473 |
| Tabela 103 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (cubas inox) | 474 |
| Tabela 104 - Diagrama tubular HTA para a operação estufagem (Produção de vinho Madeira) | 474 |
| Tabela 105 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 474 |
| Tabela 106 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação | 475 |
| Tabela 107 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem..... | 475 |
| Tabela 108 - Diagrama tubular HTA para a operação correções finais | 475 |
| Tabela 109 - Diagrama tubular HTA para a operação receção de materiais de embalagem | 476 |
| Tabela 110 - Diagrama tubular HTA para a operação despaletização | 476 |
| Tabela 111 - Diagrama tubular HTA para a operação enxaguamento de garrafas | 476 |
| Tabela 112 - Diagrama tubular HTA para a operação enchimento..... | 477 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 113 - Diagrama tubular HTA para a operação rolhamento ou vedação | 477 |
| Tabela 114 - Diagrama tubular HTA para a operação capsulagem | 478 |
| Tabela 115 - Diagrama tubular HTA para a operação rotulagem e marcação de lote .. | 478 |
| Tabela 116 - Diagrama tubular HTA para a operação encaixotamento | 478 |
| Tabela 117 - Diagrama tubular HTA para a operação fecho e marcação das caixas ... | 479 |
| Tabela 118 - Diagrama tubular HTA para a operação paletização | 479 |
| Tabela 119 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenagem..... | 480 |
| Tabela 120 - Diagrama tubular HTA para a operação expedição..... | 480 |
| Tabela 121 - Diagrama tubular HTA para a operação receção e descarga das uvas | 481 |
| Tabela 122 - Diagrama tubular HTA para a operação seleção/triagem das uvas | 482 |
| Tabela 123 - Diagrama tubular HTA para a operação desbloqueio/limpeza do sistema de desengace/esmagamento | 482 |
| Tabela 124 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem | 482 |
| Tabela 125 - Diagrama tubular HTA para a operação clarificação de mostos | 482 |
| Tabela 126 - Diagrama tubular HTA para a operação preparação do mosto | 483 |
| Tabela 127 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação alcoólica | 483 |
| Tabela 128 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/acompanhamento da maceração | 483 |
| Tabela 129 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos brancos) | 483 |
| Tabela 130 - Diagrama tubular HTA para a operação sangria/descubra | 484 |
| Tabela 131 - Diagrama tubular HTA para a operação esgotamento/prensagem | 484 |
| Tabela 132 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/manutenção das prensas | 484 |
| Tabela 133 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos tintos)..... | 484 |
| Tabela 134 - Diagrama tubular HTA para a operação fortificação (adição de aguardente vínica) | 485 |
| Tabela 135 - Diagrama tubular HTA para a operação ajustes enológicos..... | 485 |
| Tabela 136 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes base | 485 |
| Tabela 137 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação | 485 |
| Tabela 138 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem | 485 |
| Tabela 139 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem | 486 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 140 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (barricas de madeira)..... | 486 |
| Tabela 141 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (cubas inox) | 486 |
| Tabela 142 - Diagrama tubular HTA para a operação estufagem (Produção de vinho Madeira) | 487 |
| Tabela 143 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 487 |
| Tabela 144 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação | 487 |
| Tabela 145 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem..... | 487 |
| Tabela 146 - Diagrama tubular HTA para a operação correções finais | 488 |
| Tabela 147 - Diagrama tubular HTA para a operação receção de materiais de embalagem | 488 |
| Tabela 148 - Diagrama tubular HTA para a operação despaletização | 488 |
| Tabela 149 - Diagrama tubular HTA para a operação enxaguamento de garrafas | 489 |
| Tabela 150 - Diagrama tubular HTA para a operação enchimento..... | 489 |
| Tabela 151 - Diagrama tubular HTA para a operação rolhamento ou vedação | 489 |
| Tabela 152 - Diagrama tubular HTA para a operação capsulagem | 490 |
| Tabela 153 - Diagrama tubular HTA para a operação rotulagem e marcação de lote .. | 490 |
| Tabela 154 - Diagrama tubular HTA para a operação encaixotamento | 491 |
| Tabela 155 - Diagrama tubular HTA para a operação fecho e marcação das caixas | 491 |
| Tabela 156 - Diagrama tubular HTA para a operação paletização | 491 |
| Tabela 157 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenagem | 492 |
| Tabela 158 - Diagrama tubular HTA para a operação expedição | 492 |
| Tabela 159 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autónomo | 493 |
| Tabela 160 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autónomo..... | 493 |
| Tabela 161 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô colaborativo..... | 494 |
| Tabela 162 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô colaborativo | 494 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 163 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação do sistema integrado automatizado | 495 |
| Tabela 164 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação do sistema integrado automatizado | 495 |
| Tabela 165 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com ECI | 496 |
| Tabela 166 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com ECI | 496 |
| Tabela 167 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com sistema elevatório | 497 |
| Tabela 168 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com sistema elevatório | 497 |
| Tabela 169 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana sem apoio | 498 |
| Tabela 170 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana sem apoio | 498 |
| Tabela 171 - As máquinas e equipamentos utilizados ao longo do processo de fabrico de vinhos..... | 499 |
| Tabela 172 - Máquinas e equipamentos constituintes de uma linha automática de engarrafamento | 503 |

Lista de Acrónimos

| | |
|---------|---|
| ACA | <i>Ant Colony Algorithm</i> |
| ACF | Algoritmo de Colónia de Formigas |
| ACO | <i>Ant Colony Optimization</i> |
| ACT | Autoridade para as Condições do Trabalho |
| ACWA | <i>Applied Cognitive Work Analysis</i> (Análise Aplicada ao Trabalho Cognitivo) |
| ALB | <i>Assembly Line Balancing</i> |
| AMR | <i>Autonomous Mobile Robots</i> |
| AR | <i>Augmented Reality</i> (Realidade Aumentada) |
| ASPEN | <i>Assembly Sequence Planning and Evaluation</i> |
| BWM | <i>Best-Worst method</i> |
| CAE | Classificação das Atividades Económicas |
| CDM | <i>Critical Decision Method</i> (Método de Decisão Crítica) |
| CIMOP | <i>Computer-Integrated Manufacturing, Organization and People</i> |
| COPSOQ | <i>Copenhagen Psychosocial Questionnaire</i> |
| CPS | <i>Cyber-Physical System</i> (Sistema Ciber-físico) |
| CPU | <i>Central Process Unit</i> (Unidade Central de Processamento) |
| CR | <i>Category-Ratio</i> |
| CWM | <i>Cognitive Walk-Through Method</i> |
| DESI | <i>Digital Economy and Society Index</i> |
| DMQ | <i>Dutch Musculoskeletal Questionnaire</i> |
| ECG | Eletrocardiograma |
| EDS | Extremidades Distais Superiores |
| EEG | Eletroencefalografia |
| EMG | Eletromiografia |
| EP | Ergonomia Participativa |
| ERP | <i>Event-Related Potential</i> (Potencial Relacionado ao Evento) |
| ES | Extremidades Superiores |
| ETARs | Estação de Tratamento de Águas Residuais |
| EUA | Estados Unidos de América |
| EU-OSHA | Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho |
| EWM | <i>Ergonomic Workplace Method</i> (Método Ergonómico do Local de Trabalho) |
| FIOH | <i>Finnish Institute of Occupational Health</i> |
| FLC | <i>Fuzzy Logic Control</i> |
| FLUTE | <i>Fast Lookup Table Based Wirelength Estimation</i> |

| | |
|---------|---|
| FML | Fermentação Malolática |
| FPSICO | <i>Factores Psicosociales</i> (Fatores Psicossociais) |
| GA | <i>Genetic Algorithm</i> (Algoritmo Genético) |
| GAs | <i>Genetic Algorithms</i> (Algoritmos Genéticos) |
| GE | <i>General Electric</i> |
| GRASP | <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> |
| HAI | <i>Human-Automation Interfacing/Interaction</i> (Interface/Interação Homem-Automatização) |
| HCI | <i>Human-Computer Interaction</i> (Interação Computador-Homem) |
| HFS | <i>Human Factors Society</i> |
| HITOP | <i>High Integration of Technology, Organization, and People</i> |
| HMI | <i>Human-Machine Interfacing/Interaction</i> (Interface/Interação Homem-Máquina) |
| HTA | <i>Hierarchical Task Analysis</i> (Análise Hierárquica de Tarefas) |
| IA | Inteligência Artificial |
| IaaS | <i>Infrastructure-as-a-Service</i> (Infraestrutura como serviço) |
| IE | <i>Inference Engine</i> |
| IEA | <i>International Ergonomics Association</i> (Associação Internacional de Ergonomia) |
| IIoT | <i>Industrial Internet of Things</i> (Internet das Coisas Industrial) |
| INE | Instituto Nacional de Estatística |
| IoS | <i>Internet of Services</i> (Internet dos Serviços) |
| IoT | <i>Internet of things</i> (Internet das Coisas) |
| IP | <i>Internet Protocol</i> (Protocolo da Internet) |
| IPv4 | <i>Internet Protocol version 4</i> (Protocolo da Internet versão 4) |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| KIM | <i>Key Indicator Method</i> |
| KLM | <i>Keystroke-Level Model</i> |
| LHC | <i>Holding and Carrying of Loads</i> (Segurar e Movimentar cargas) |
| LMD | <i>Last Mile Delivery</i> |
| LME | Lesões Músculo-Esqueléticas |
| LMEMSRT | Lesões Músculo-Esqueléticas do Membro Superior Relacionadas com o Trabalho |
| LMERT | Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho |
| LMM | <i>Lumbar Motion Monitor</i> (Monitor de Movimento Lombar) |
| MAPO | <i>Movement and Assistance of Hospital Patients</i> |

| | |
|-----------|--|
| MAS | <i>Macroergonomic Analysis of Structure</i> (Análise Macroergonómica da Estrutura) |
| MCDM | <i>Multi-Criteria Decision-Making</i> |
| MEAD | <i>Macroergonomic Analysis and Design</i> (Análise Macroergonómica e Design) |
| MEG | Magnetoencefalograma |
| MET | <i>Metabolic Equivalent for a Task</i> |
| MFA | <i>Muscle Fatigue Assessment Method</i> (Método de Avaliação da Fadiga Muscular) |
| MHO | <i>Manual Handling Operations</i> |
| MIA | <i>Meet In Aisle</i> |
| ML | <i>Machine Learning</i> |
| mmCPA | <i>Multimodal Critical Path Analysis</i> (Análise de Caminho Crítico Multimodal) |
| MMH | <i>Manual Material Handling</i> (Manuseamento Manual de Materiais) |
| MOQS | <i>Macroergonomic Organizational Questionnaire Survey</i> |
| MPMWS | <i>Multi-Parameter Monitoring Wearable Sensors</i> |
| MRI | <i>Magnetic Resonance Image</i> (Imagem de Ressonância Magnética) |
| MRTSM | <i>Multiple Resources Time-Sharing Model</i> (Modelo de Partilha de Tempo de Recursos Múltiplos) |
| MWL | <i>Mental Workload</i> (Carga de Trabalho Mental) |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| NIOSH | <i>National Institute for Occupational Safety and Health</i> |
| NMQ | <i>Nordic Musculoskeletal Questionnaire</i> |
| NSF | <i>National Science Foundation</i> |
| OCRA | <i>Occupational Repetitive Actions</i> |
| OD | <i>Organizational Design</i> (Desenho Organizacional) |
| ODAM | <i>Organizational Design and Management</i> |
| OIT | Organização Internacional do Trabalho |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| OWAS | <i>Ovako Working Posture Analyzing System</i> |
| PaaS | <i>Platform-as-a-Service</i> (Plataforma como Serviço) |
| PERCLOS | <i>Percentage of Closure</i> (Porcentagem de Fecho) |
| PMEs | Pequenas e Médias Empresas |
| PP | <i>Pushing and Pulling of Loads</i> (Empurrar e Puxar Cargas) |
| PROMETHEE | <i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations</i> |
| PSL | Planeamento Sistemático de <i>Layout</i> |
| PVC | <i>Polyvinyl Chloride</i> (Policloreto de Vinilo) |
| PVDF | <i>Polyvinylidene Difluoride</i> (Fluoreto de Polivinilideno) |

| | |
|-----------------|--|
| QARPIS | Questionário de Avaliação de Riscos Psicossociais e Identificação de Situações de Risco |
| QEC-WMDs | <i>Quick Exposure Checklist for Work-Related Musculoskeletal Disorders</i> |
| REBA | <i>Rapid Entire Body Assessment</i> |
| RFID | <i>Radio Frequency Identification</i> |
| ROS | <i>Robot Operating System</i> |
| RPD | <i>Ratings of Perceived Discomfort</i> |
| RPE | <i>Ratings of Perceived Exertion</i> |
| RULA | <i>Rapid Upper-Limb Assessment</i> |
| SA | <i>Situation Awareness</i> (Conscientização da Situação) |
| SaaS | <i>Software-as-a-Service</i> (Software como Serviço) |
| SAE | <i>Society of Automotive Engineers</i> |
| SAGAT | <i>Situation Awareness Global Assessment Technique</i> (A técnica de avaliação global de consciência situacional) |
| SAT | <i>Systems Analysis Tool</i> (Ferramenta de Análise de Sistemas) |
| SHERPA | <i>Shuman Error Reduction and Prediction Approach</i> (Redução Sistemática de Erros Humanos e Abordagem de Previsão) |
| SI | <i>Strain Index</i> |
| SIMMI | <i>System Integration Maturity Model for I4.0</i> |
| SO ₂ | Dióxido de Enxofre |
| SOA | <i>Service Oriented Architecture</i> (Arquitetura Orientada para os Serviços) |
| SPMWS | <i>Single-Parameter Monitoring Wearable Sensor</i> |
| SST | Segurança e Saúde no Trabalho |
| TAFEI | <i>Task Analysis For Error Identification</i> (Análise de Tarefas para Identificação de Erros) |
| TC | <i>Task-Clustering</i> (Agrupamento de Tarefas) |
| TI | Tecnologias de Informação |
| TIC | Tecnologias de Informação e Comunicação |
| TLX | <i>Task Load Index</i> (Índice de Carga da Tarefa) |
| UE | União Europeia |
| VAB | Valor Acrescentado Bruto |
| VR | <i>Virtual Reality</i> (Realidade Virtual) |
| WADE | <i>Wearable Assistive Device</i> |
| W.F. | William T. Fine |
| WOI | <i>Workstation-Operator Interaction</i> (Interação Posto de trabalho-Operador) |

Capítulo 1:

Introdução

O presente capítulo introdutório encontra-se dividido em quatro secções: a primeira secção visa contextualizar o estudo através da caracterização da Indústria 4.0 em Portugal, incluindo uma breve introdução ao estado da arte da Indústria 4.0, numa perspetiva ergonómica, e uma descrição sucinta dos desafios que este novo paradigma representa para a Ergonomia. Na segunda secção são apresentados os objetivos gerais e específicos, sendo sucedida pela terceira secção, na qual é efetuada uma breve apresentação da metodologia utilizada ao longo da estrutura da dissertação, estrutura esta que se encontra descrita na quarta secção, possibilitando assim um melhor acompanhamento e compreensão dos temas desenvolvidos.

1.1. Contextualização do Estudo

A colaboração homem-robô é uma das principais tendências da Indústria 4.0, a qual está atualmente a mudar o chão de fábrica das empresas. Os robôs colaborativos são tecnologias industriais inovadoras, as quais são introduzidas para auxiliar os operadores na realização de atividades manuais e repetitivas nos denominados Sistemas de Produção Ciber-físicos, combinando deste modo as capacidades humanas inimitáveis com os pontos fortes das máquinas inteligentes. Do ponto de vista físico, os robôs colaborativos podem contribuir para a redução da sobrecarga biomecânica, através do apoio aos operadores em tarefas repetitivas e/ou que implicam maior esforço físico. Por outro lado, os ambientes colaborativos, onde imperam relações homem-robô muito próximas e estritas, podem dar origem a fatores de risco psicossociais, organizacionais e de carga mental. Neste contexto, os critérios de Segurança e Saúde no Trabalho são de importância crucial na implementação de robótica colaborativa (Gualtieri, Rauch & Vidoni, 2020).

Alguns estudos atuais focam-se no cruzamento entre a Indústria 4.0, os Fatores Humanos e a Ergonomia (Kadir, Broberg & Da Conceição, 2019). A maioria dos trabalhos de investigação conduzidos empiricamente focam-se em aspetos técnicos ou isolados das novas tecnologias digitais. Deste modo, estes trabalhos não conseguem explorar as mudanças emergentes e identificar relações e interdependências entre os elementos do sistema (Schneider, 2018). Alguns trabalhos abordam as futuras operações de chão de fábrica (Holm, 2018) e o design de sistemas de produção inteligentes através dos

princípios de cooperação Homem-Máquina, com abordagem centrada no ser humano (Pacaux-Lemoine et al., 2017).

Outros estudos, visam descrever as novas capacidades que os operadores deverão desenvolver, com vista à sua integração no contexto da Fábrica Inteligente na Indústria 4.0 (Longo, Nicoletti & Padovano, 2017), colocando o operador humano no centro do design da Indústria 4.0, em termos de criação de modelos e de avaliação de atividades humanas a incorporar nos Sistemas Ciber-físicos, abrangendo as atividades desde a produção à deteção de falhas ou de intervenções de manutenção (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

Assim, uma abordagem baseada na análise ergonómica dos processos de produção e na escolha das tecnologias de Indústria 4.0 mais adequadas para a minimização dos riscos ergonómicos mais frequentes, para além de ser um complemento aos atuais estudos, revelar-se-á um método de apoio à decisão com potencial utilidade na elaboração de projetos de investimento para a reestruturação das empresas. Deste modo, a escolha adequada de ferramentas da Indústria 4.0 sob o ponto de vista ergonómico poderá proporcionar às empresas processos mais completos, sendo que as tecnologias poderão ser mais facilmente aceites sob o ponto de vista dos recursos humanos, traduzindo-se numa maior rentabilidade dos investimentos e conseqüentemente no aumento da produtividade e competitividade da empresa.

Embora a Alemanha tenha sido o primeiro país a definir e a lançar um programa direcionado para a promoção da Indústria 4.0 em 2013 (Klitou et al., 2017), atualmente o perfil das políticas adotadas pelos diferentes governos em direção à Indústria 4.0 procura promover a concretização de objetivos específicos. Alguns países como a Coreia do Sul, Japão e naturalmente a Alemanha tencionam, mediante as suas políticas, assegurar as suas posições estratégicas face à crescente concorrência. Em contrapartida, outros países como os Estados Unidos da América, a França, a Itália e o Reino Unido ambicionam melhorar o seu desempenho através do reforço dos seus setores produtivos. Por outro lado, países como a China ou da Índia planeiam alcançar as economias mais desenvolvidas mediante o desenvolvimento da indústria, de um modo particular no segmento da alta tecnologia (IEDI, 2018).

Relativamente a Portugal, a 4^a Revolução Industrial reveste-se de especial importância para a indústria portuguesa, visto que se trata de uma notória oportunidade para

conseguir colmatar as barreiras competitivas existentes, como a falta de escala do mercado interno e a localização periférica.

Segundo a Comissão Europeia (2020), de entre os 28 estados membros da União Europeia (UE), Portugal encontra-se na 19^a posição em termos de competitividade digital, tendo obtido uma pontuação idêntica na edição anterior do *Digital Economy and Society Index* (DESI), como é possível constatar através da Tabela 1, verificando-se que ao longo dos últimos anos, e de acordo com dados anteriores à situação pandémica, a sua pontuação aumentou em consonância com a média da UE. Comparativamente à edição anterior do DESI, registam-se progressos na dimensão do capital humano, graças à melhoria do nível básico de competência digital do DESI.

Tabela 1 - *Ranking* 2020 do Índice de Economia Digital e Sociedade (DESI) (Comissão Europeia, 2020; European Commission, 2019).

| | Portugal | | União Europeia |
|-----------|----------|-----------|----------------|
| | Posição | Pontuação | Pontuação |
| DESI 2020 | 19 | 46,9 | 52,6 |
| DESI 2019 | 19 | 49.2 | 52.5 |
| DESI 2018 | 19 | 46.8 | 49.8 |
| DESI 2017 | 17 | 44.6 | 46.9 |

No estudo da COTEC (2020), onde foram analisados 45 países, foi destacado que Portugal se posicionava em 23^o lugar no *ranking* das economias mais preparadas para adotar a Indústria 4.0, apresentando como mais valias as suas infraestruturas, a sua capacidade de inovação e as suas competências gerais.

Com o objetivo de criar as condições para o desenvolvimento da indústria e dos serviços nacionais na Era Digital, e promover a adoção de novas tecnologias nos modelos de negócio, o Ministério da Economia criou um programa denominado Portugal i4.0, cuja primeira fase foi lançada em 2017 (Gabinete do Ministro Adjunto e da Economia, 2018).

O plano estratégico da fase I do Portugal i4.0, de carácter mobilizador, era composto por sessenta medidas públicas e privadas agrupadas em seis grandes eixos de atuação prioritária: Capacitação dos Recursos Humanos; Ecosistema de Cooperação; *StartUp* i4; Financiamento e apoio ao investimento; Internacionalização; Adaptação legal e normativa. Estes eixos visavam alcançar três objetivos (IAPMEI, 2018):

- Agilizar a adoção das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 no tecido empresarial português;

- Promover a nível internacional as empresas tecnológicas portuguesas;
- Tornar Portugal um polo atrativo para o investimento no contexto Indústria 4.0.

Dois anos depois, foi lançada a segunda fase do programa, com previsão da mobilização de investimentos públicos e privados para os anos seguintes. Esta fase, caracterizada por apresentar uma lógica mais transformadora, tem como missão alavancar uma transição generalizada para a Indústria 4.0 e colmatar as lacunas identificadas durante a primeira fase do programa (KPMG Portugal, 2019; Gabinete do Ministro Adjunto e da Economia, 2018).

De entre as políticas divulgadas internacionalmente, existe um destaque significativo para continuidade da abordagem cultural com referência às teorias de sistemas sociotécnicos (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013a), no entanto os trabalhos de investigação têm vindo a focar-se na otimização do desempenho através de tecnologias mais inteligentes. Ainda não é conhecido o rumo da combinação de soluções técnicas com a organização do trabalho no decurso da evolução da indústria, acreditando-se que o desenvolvimento ocorra variando entre dois cenários extremos: o tecnocêntrico e o antropocêntrico (Dworschak & Zaiser, 2014). De acordo com o primeiro cenário, os Sistemas Ciber-físicos irão ser dominantes e o trabalho humano será determinado pela tecnologia; no segundo, os trabalhadores serão dominantes e tomarão as decisões, sendo apoiados pelos Sistemas Ciber-físicos (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

Portanto, o desafio reside na orientação do design e na forma de implementação do paradigma Indústria 4.0 nas empresas, nomeadamente no que respeita ao modo de condução do processo de integração das pessoas nos Sistemas Ciber-físicos, de forma a favorecer o cenário desejado (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

A temática relativamente à predominância ou subserviência dos Sistemas Ciber-físicos, em relação ao trabalho humano, conduz a várias visões futuristas sobre o próximo passo da revolução industrial. Demir, Döven & Sezen (2019), referem que embora não se saiba exatamente qual será o principal objetivo do próximo paradigma industrial, a Indústria 5.0, sendo que certamente estará relacionado com o ambiente de trabalho colaborativo humano-robô em prol da inovação para a sociedade.

De acordo com (Paschek, Mocan & Draghici, 2019), existem três correntes visionárias relativamente à Indústria 5.0:

1. A Indústria 5.0 terá uma maior colaboração entre o homem e os sistemas inteligentes, como os robôs, especialmente na área de produção. Com esta etapa, as máquinas assumirão todas as tarefas monótonas e repetitivas, enquanto os humanos ocupar-se-ão da vertente criativa, aumentando assim as suas responsabilidades e a supervisão dos sistemas, de modo a elevar a qualidade da produção em toda a linha;
2. A Indústria 5.0 será mais rápida, escalável, mais preocupada com as pessoas e mais produtiva, sendo fruto de diversos aspetos, como o impulsionamento direcionado para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina mais avançadas, a realização de uma integração mais aprimorada, o desenvolvimento da automatização de robôs combinada com o poder e a criatividade dos cérebros humanos;
3. A eficiente sinergia entre os humanos e a tecnologia afetará a economia, a ecologia e o mundo social. Além disso, estas influências serão acompanhadas por uma prevenção aplicada ao desperdício, na perspetiva da reciclagem industrial, tendo em consideração quatro tipos de desperdício:
 - a) Resíduos físicos - Resíduo geral e resíduos provenientes das linhas de produção e logística;
 - b) Resíduos urbanos - *Greenfields* não necessários, espaços vazios e infraestruturas inadequadas;
 - c) Resíduos do processo - Superprodução, viaturas vazias nas estradas, excesso de *stock*;
 - d) Desperdício social - Pessoas com vontade de trabalhar, mas sem oportunidades, e pessoas que não têm vontade.

Os referidos tipos de desperdício, quando não são considerados, implicam a ocorrência de impactes negativos significativos para a economia e para o meio ambiente. Por esta razão, os fabricantes, cada vez mais, preocupam-se com a redução de desperdícios de materiais e recursos. Assim, será possível a obtenção de dois benefícios: por um lado a minimização dos custos associados aos desperdícios, e por outro, a redução do impacto dos processos industriais a nível social (Paschek, Mocan & Draghici, 2019).

Segundo Müller (2020), as quatro revoluções industriais estiveram centradas nas tecnologias de uso geral: na primeira revolução industrial o foco foi a mecanização através de água e energia a vapor, na segunda revolução industrial foi a eletrificação dos sistemas combinada com a divisão do trabalho e a produção em massa, na terceira revolução industrial foram as tecnologias de informação (TI), em conjunto com a eletrónica e a automatização, sendo que a Indústria 4.0 concentra-se nos sistemas Ciber-físicos e na Internet das Coisas, bem como noutras tecnologias associadas ao

conceito. A Indústria 5.0 mudará de paradigma, baseando-se essencialmente no apoio e promoção de valores socialmente e ecologicamente relevantes.

Os conceitos de Sociedade 5.0 e Indústria 5.0 encontram-se relacionados, convergindo para uma mudança fundamental da sociedade e da economia para um novo paradigma (Breque, Nul & Petridis, 2021).

Assim, a Sociedade 5.0 tenta equilibrar o desenvolvimento económico mediante a resolução de problemas sociais e ambientais. Não se restringe apenas ao setor da produção industrial, como também aborda os maiores desafios sociais com base na integração de espaços físicos e virtuais. Deste modo, a Sociedade 5.0 corresponde a uma sociedade, na qual as tecnologias avançadas de TI, a Internet das Coisas, os robôs, a inteligência artificial e a realidade aumentada são ativamente usadas na vida cotidiana, na indústria, na saúde e noutras esferas de atividade, não com o intuito de obter vantagens económicas, mas sim para benefício e conveniência dos cidadãos (Breque, Nul & Petridis, 2021).

Dois aspetos importantes a reter com a automatização de processos e com a aplicação crescente das tecnologias da informação e comunicação são, por um lado, a necessidade de especialização dos trabalhadores e por outro a reestruturação do trabalho. Na fábrica automatizada, impera a necessidade de uma participação diversificada por parte do trabalhador nos processos e no seu envolvimento na respetiva gestão, através de técnicas no âmbito da qualidade. Entretanto, com o aumento da velocidade e da intensidade de execução do trabalho, aumenta simultaneamente o grau de responsabilidade imputada ao operador humano (Freitas, 2019).

Assim, embora as tecnologias da informação e comunicação tenham vindo a permitir a automatização de processos, assim como a substituição de grande parte do trabalho humano mediante a utilização de máquinas, proporcionando uma redução das doenças causadas pela fadiga física, em contrapartida, as doenças do foro psicológico começam a ganhar relevância (Freitas, 2019).

De acordo com o Ministério Federal de Educação e Investigação da Alemanha, com a introdução da Indústria 4.0, é expectável que as alterações resultantes transformem drasticamente o conteúdo de trabalho, os processos, a organização e os ambientes nas fábricas do futuro (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013a). Desta forma, a implementação da Indústria 4.0 irá colocar maiores exigências aos recursos humanos,

designadamente em termos de resolução de problemas, capacidade de abstração e gestão de situações complexas. Os colaboradores terão de melhorar as suas capacidades de comunicação, tornar-se mais autónomos e assumir responsabilidades na organização das suas tarefas. Estas exigências terão um efeito crescente na Ergonomia Cognitiva dos sistemas de trabalho industrial, aumentando deste modo a carga cognitiva dos trabalhadores, passando a haver uma alteração na proporção entre carga física e a cognitiva (Kong, 2019).

Uma vez que o conceito Indústria 4.0 é relativamente novo, a investigação sobre o trabalho humano neste contexto ainda é limitada. Além disso, os estudos disponíveis neste campo em concreto encontram-se focados principalmente para a integração de trabalhadores humanos nos processos de fabrico a um nível operacional inferior, negligenciando os níveis superiores, os quais são responsáveis pelas decisões, controlo e planeamento (Pacaux-Lemoine et al., 2017). Deste modo, a aplicação de uma abordagem baseada em Fatores Humanos e Ergonomia poderá ser benéfica em termos de análise, compreensão e de planeamento do trabalho humano na Indústria 4.0.

Os resultados da revisão sistemática da literatura e da análise quantitativa obtidos por Kadir, Broberg & Conceição (2019) confirmam que a investigação na área da Indústria 4.0 que trata dos Fatores Humanos e da Ergonomia é limitada, tendo sido verificado que apesar do aumento do número de publicações, no período de 2013 a 2018, sobre a Indústria 4.0, os Fatores Humanos e a Ergonomia, o número global de publicações que relaciona estes três campos permanece baixo.

De forma a abranger e incorporar os Fatores Humanos e a Ergonomia na Indústria 4.0 de forma satisfatória, Kadir, Broberg & Conceição (2019) sugerem que estas temáticas devam ser consideradas de forma inter-relacional ao longo dos três níveis organizacionais: estratégico, tático e operacional, incluindo os três principais domínios: físico, cognitivo e organizacional.

Outra questão de especial relevo diz respeito à Segurança e Saúde no Trabalho nas organizações com um baixo nível de automatização. De acordo com a base de dados PORDATA (2020), embora o número de acidentes de trabalho, inclusivamente os acidentes mortais, na indústria portuguesa tenha vindo a diminuir nos últimos anos (Figura 1), fruto da promoção e fiscalização no âmbito da Segurança e Saúde no Trabalho (ACT, 2018, 2021), o seu número ainda é significativamente elevado.

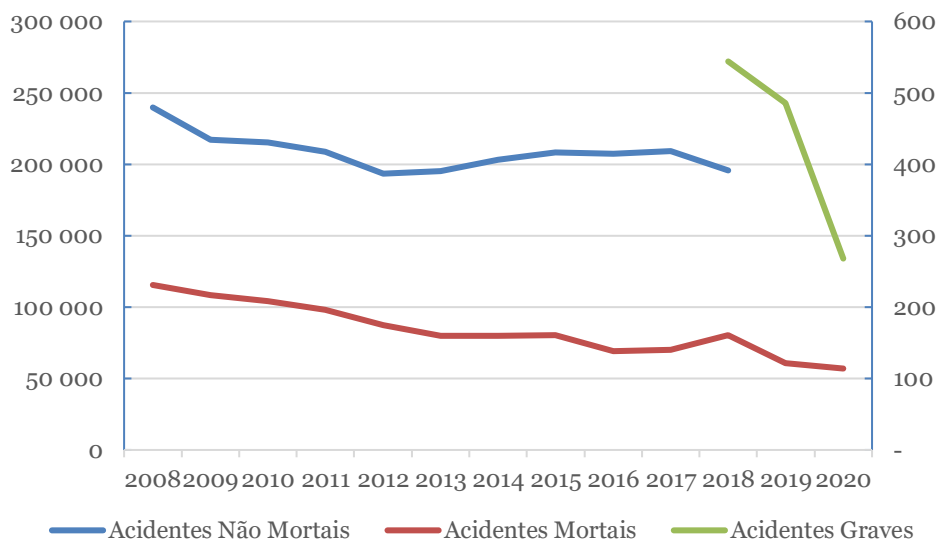


Figura 1 - Estatística de acidentes de trabalho em Portugal, desde o ano 2008 até 2020.
a) Número total de acidentes, b) Número total de acidentes mortais (ACT, 2021; PORDATA, 2021).

Relativamente à Figura 1, é de destacar que de acordo com a ACT (2018), o conceito de acidente de trabalho diz respeito a todo o acontecimento inesperado e imprevisto, incluindo atos derivados do trabalho ou com ele relacionados, do qual resulte uma lesão corporal, uma doença ou a morte de um ou vários trabalhadores. São também considerados acidentes de trabalho os acidentes de viagem, de transporte ou de circulação, nos quais os trabalhadores fiquem lesionados e que ocorram por causa, ou no decurso do trabalho, isto é, quando exercem uma atividade económica, ou estão a trabalhar, ou a realizar tarefas para o empregador. Nos dados estatísticos referentes à Figura 1 encontram-se excluídas as seguintes situações:

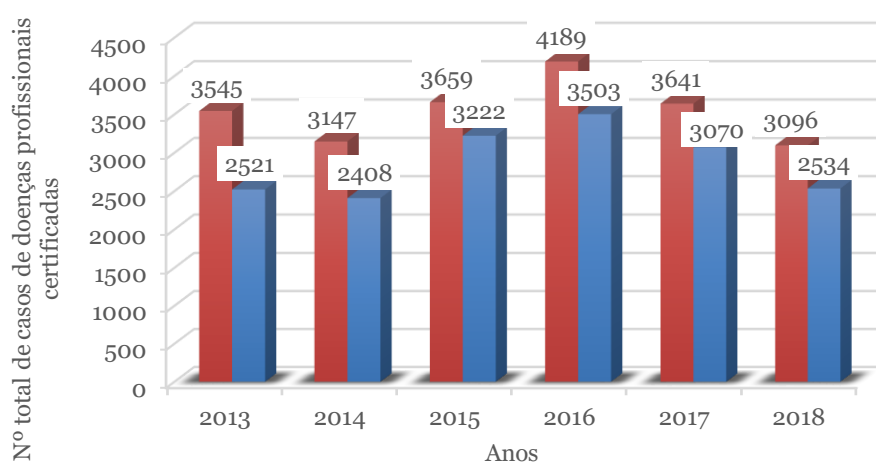
- Os ferimentos autoinfligidos;
- Os acidentes que se devem unicamente a causas médicas e doenças profissionais;
- Os acidentes que ocorram no percurso para o local de trabalho ou no regresso deste (acidentes de trajeto-*in itinere*);
- Situações que incluam pessoas estranhas à empresa, sem qualquer atividade profissional.

Por outro lado, os acidentes de trabalho mortais dizem respeito aos acidentes, dos quais resultam a morte da vítima num período de um ano (após o dia) da sua ocorrência (ACT, 2018), sendo que os acidentes de trabalho que evidenciem uma situação particularmente grave correspondem a todo o acidente relacionado com o trabalho, no qual um trabalhador ou um trabalhador independente que trabalhe em instalações alheias sofra uma lesão física grave (incluindo as lesões consequentes de violência física), que exija tratamento médico especializado num estabelecimento de saúde (ACT, 2015).

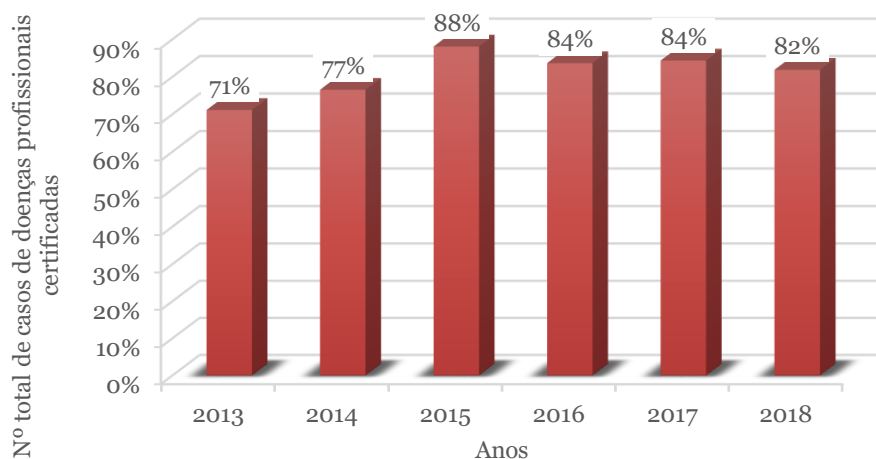
No que concerne à taxa de incidência de acidentes de trabalho, esta taxa é considerada como sendo por cada 100.000 trabalhadores, cuja determinação é efetuada através da seguinte equação (ACT, 2018):

$$\text{Taxa de incidência} = \frac{N.^{\circ} \text{ de Acidentes de Trabalho}}{N.^{\circ} \text{ de Pessoas Expostas ao Risco}} \times 100\,000 \quad (1)$$

Já no que se refere aos dados estatísticos de doenças profissionais, embora apenas estejam contemplados os dados até o ano de 2018, é possível verificar um decréscimo gradual após o ano de 2016 (Figura 2a), sendo que no ano de 2018 o seu número é relativamente mais baixo face aos dados anteriores à 2015 (ACT, 2018).



a) ■ Nº total de casos ■ Nº de casos de distúrbios músculo-esqueléticos



b) ■ % de casos de distúrbios músculo-esqueléticos

Figura 2 - Estatística referente às doenças profissionais certificadas - 2013 a 2017.
a) Número total de casos; b) Proporção de casos com distúrbios músculo-esqueléticos (ACT, 2018)

Ainda no que concerne aos dados estatísticos de doenças profissionais, através da (Figura 2a) verifica-se que o principal motivo das doenças profissionais está associado às lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho, as quais, na sua maioria, desenvolvem-se ao longo do tempo. Normalmente, a causa para estas lesões resulta da combinação de vários fatores de risco, incluindo os fatores físicos e biomecânicos, os fatores organizacionais e psicossociais, assim como os fatores individuais (EU-OSHA, 2021).

Na Figura 2b, é possível observar que a proporção de lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho tem vindo a aumentar ao longo do tempo, atingindo o máximo de 88% no ano de 2015, mantendo-se desde então acima de 82% nos períodos posteriores.

Relativamente aos fatores de risco físicos e biomecânicos, estes podem incluir (EU-OSHA, 2021):

- Movimentação de cargas, especialmente com indução de movimentos de torção e de flexão;
- Movimentos repetitivos ou com esforço;
- Posturas incorretas e estáticas;
- Ambientes com iluminação deficiente ou com temperaturas baixas e exposição a vibrações;
- Trabalho em ritmo acelerado;
- Estar de pé ou sentado, na mesma posição, muito tempo.

De acordo com o Relatório do Observatório Europeu de Riscos (Crawford et al., 2020), verifica-se que os trabalhadores estão mais expostos aos fatores de risco relacionados com os trabalhos que implicam movimentos repetitivos ao nível das mãos ou braços, com o trabalho sedentário e com o levantamento ou movimentação de cargas.

Quanto aos fatores de risco organizacionais e psicossociais, estes podem englobar (EU-OSHA, 2021):

- Elevadas exigências de trabalho e pouca autonomia;
- Ausência de pausas ou de oportunidades para mudar de postura de trabalho;
- Trabalhar a um ritmo acelerado, incluindo como consequência da introdução de novas tecnologias;
- Longas horas de trabalho ou turnos;
- Intimidação, assédio e discriminação no local de trabalho;

- Pouca satisfação no trabalho.

Em geral, todos os fatores psicossociais e organizacionais, que podem conduzir ao stress, fadiga e ansiedade, quando combinados com os riscos físicos podem contribuir para o aumento do risco de Lesões Músculo-Esqueléticas (LME) (EU-OSHA, 2021).

No que concerne aos fatores de risco individuais, estes podem contemplar (EU-OSHA, 2021):

- O historial médico;
- A capacidade física;
- O estilo de vida e os hábitos (por exemplo tabagismo, falta de exercício físico).

Desta forma, torna-se pertinente a necessidade de implementação de novas medidas de controlo mais eficientes e mais adequadas para a redução destes indicadores.

Por outro lado, a digitalização, incluindo as tecnologias de informação e comunicação (TIC) potenciaram o desenvolvimento de outras tecnologias, como a robótica, a inteligência artificial (IA), as plataformas *online* ou a Internet das Coisas (IoT), proporcionaram grandes impactes em relação à natureza e à localização do trabalho (Stacey et al., 2018).

Assim, o processo de digitalização implica a necessidade de um crescimento inteligente, tornando imprescindível o fortalecimento do conhecimento e da inovação. Este processo envolve a plena utilização das TIC e a garantia de que as ideias inovadoras podem ser transformadas em novos produtos e serviços que possam estimular o crescimento, a criação de empregos de elevada qualidade e que ajudem a enfrentar os desafios sociais europeus e globais. Por conseguinte, foram criados fundos de investimento, por parte da União Europeia (EU), dedicados à promoção da investigação e do desenvolvimento nesta área, incluindo projetos na área da Saúde e Segurança do Trabalho, de modo a contemplar os novos e emergentes riscos associados às tecnologias de informação e comunicação (TIC) e ao local de trabalho (Stacey et al., 2018).

De acordo com Stacey et al. (2018), foi constatada a necessidade de uma abordagem proativa para identificar futuros riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores num mundo em constante mudança, por exemplo, os ambientes de trabalho em constante alteração devido à introdução de novas tecnologias e de novos processos de trabalho, bem como as modificações na estrutura dos recursos humanos e do mercado de trabalho, destacando-se a emergência de novas formas de emprego e na organização do trabalho.

Embora as novas posições de trabalho tragam oportunidades, estas podem também potenciar novos riscos e desafios para trabalhadores e empregadores.

O impacto das TIC e do local de trabalho na Segurança e Saúde no Trabalho (SST) tem vindo a merecer uma especial atenção por parte das instituições reguladoras, designadamente pela EU-OSHA que destacou a importância das oportunidades e riscos decorrentes das novas TIC no mundo do trabalho, sendo referido que se trata de uma área que necessita de investigação. Assim, mais do que a tecnologia em si, as mudanças relacionadas com as TIC na natureza do trabalho trazem não apenas grandes oportunidades, como também uma série de riscos para a SST (Stacey et al., 2018).

1.2. Objetivos

A abordagem central ao método de investigação envolvido neste trabalho foca-se na sistematização de um estudo exploratório, o qual permitirá aprofundar o conhecimento relativamente à Indústria 4.0, bem como em relação ao setor vitivinícola português, de forma a possibilitar o estabelecimento de modelos de otimização que permitam aliar a otimização da operacionalidade produtiva no setor à prevenção e minimização dos riscos ocupacionais, nomeadamente dos riscos ergonómicos.

Assim, o objetivo geral deste trabalho prende-se com a criação de três modelos de otimização que permitam melhorar a organização das infraestruturas produtivas, o planeamento das operações e optar pelas tecnologias da Indústria 4.0 mais adequadas à eliminação/minimização dos riscos ergonómicos com maior impacto na indústria vitivinícola portuguesa.

Deste modo, de forma a operacionalizar o estudo, foram definidos como objetivos específicos:

- A realização de uma revisão bibliográfica sobre as temáticas em estudo, com a respetiva análise, de forma a ilustrar o estado da arte;
- A recolha de informação sobre as operações integrantes dos principais processos produtivos, bem como sobre os vários tipos de riscos associados à atividade industrial vitivinícola;
- A realização de uma avaliação de riscos global, de modo a aferir e quantificar o grau de perigosidade dos riscos gerais envolvidos nas diversas áreas de laboração e, posteriormente, uma avaliação dos riscos ergonómicos associados às principais tarefas constituintes dos processos produtivos do setor;

- A aplicação de três modelos de otimização: sendo um primeiro direcionado para a melhoria da organização de *layouts* de linhas de produção, um segundo modelo para a otimização do planeamento e rotatividade de tarefas, e um terceiro modelo orientado para a seleção otimizada de ferramentas da Indústria 4.0 adequadas à minimização de riscos ergonómicos;
- A realização de uma avaliação de riscos ergonómicos após a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 sugeridas.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada no presente estudo encontra-se estruturada do seguinte modo:

Numa primeira etapa foi efetuada uma investigação descritiva sobre os principais conceitos relativos à Indústria 4.0, as suas principais ferramentas, os aspetos relacionados com a respetiva implementação, e a sua relação com a Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho, designadamente no que concerne aos Fatores Humanos e ergonómicos, contemplando adicionalmente o planeamento de tarefas em linhas de montagem.

Na segunda etapa, foi efetuada uma pesquisa descritiva dos métodos de avaliação de riscos, inclusivamente de riscos ergonómicos, associados às tecnologias a implementar, de modo a possibilitar a quantificação dos mesmos e a proposição de medidas preventivas.

Numa terceira etapa foi efetuada uma investigação exploratória relativamente aos principais modelos desenvolvidos atualmente para a criação de métodos de apoio à decisão, tendo em consideração a vertente associada aos riscos ergonómicos, de acordo com os seguintes vetores:

- Otimização do design/organização de *layouts* de linhas de produção;
- Otimização do planeamento de tarefas, incluindo a possibilidade de rotatividade de tarefas e a otimização da postura dos colaboradores ao longo das linhas de produção;
- Seleção adequada de ferramentas da Indústria 4.0. que englobe uma abordagem orientada para a minimização de riscos ocupacionais.

Nestas etapas, a revisão bibliográfica foi efetuada com base na consulta de diversas bases de dados de artigos científicos, como a *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus*, *IEEE Xplore*, entre outras.

Na quarta etapa, procedeu-se ao levantamento dos tipos indústria portuguesa com maior impacte nas economias regionais, dos tipos de lesão mais graves e mais frequentes associados às atividades industriais, e dos equipamentos mais adequados aos tipos indústria portuguesa mais relevantes para as economias regionais.

Nesta fase, a recolha de dados estatísticos foi efetuada mediante a consulta de diversas bases de dados/websites, tais como PORDATA (Base de Dados de Portugal Contemporâneo), Instituto Nacional de Estatística (INE), Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT), EU-OSHA, Organização Mundial da Saúde (OMS), entre outras. De modo a complementar a informação necessária à elaboração do trabalho, foram ainda consultados relatórios de diversas entidades oficiais, como por exemplo o Gabinete do Ministro Adjunto e da Economia e a COTEC Portugal.

A quinta etapa foi dedicada à recolha de dados e informações relativamente à caracterização da indústria vitivinícola portuguesa, nomeadamente em termos de processos produtivos e respetivos riscos ocupacionais.

Numa sexta etapa, foi efetuada a avaliação dos riscos ocupacionais gerais associados às atividades integrantes dos processos produtivos do setor e, posteriormente, uma avaliação de riscos ergonómicos às mesmas atividades.

Na sétima etapa foi efetuada a aplicação dos modelos de otimização desenvolvidos com base nas avaliações de riscos efetuadas, sendo precedida por uma oitava fase complementar, que permitiu aferir o efeito das tecnologias da Indústria 4.0 na melhoria das condições dos colaboradores através da realização de uma avaliação de riscos final, mais direcionada para a vertente cognitiva.

Numa fase final, procedeu-se à organização e tratamento da informação obtida, a qual serviu de base para a análise das temáticas em estudo, com o intuito de coadjuvar a apresentação de propostas para a resolução das problemáticas identificadas.

1.4. Estrutura

O presente estudo encontra-se dividido em 11 capítulos, sendo que o primeiro pretende contextualizar o estudo, designadamente através da caracterização da Indústria 4.0 em Portugal, com uma breve introdução ao estado da arte da Indústria 4.0 numa perspetiva ergonómica e uma descrição sucinta acerca dos desafios deste novo paradigma para a

Ergonomia, sendo depois delineados os objetivos e posteriormente efetuada uma breve alusão à metodologia utilizada, seguida de uma descrição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo consiste numa investigação descritiva sobre os conceitos de Indústria 4.0 e das suas principais ferramentas, com alusão à sua implementação e metodologia para aferir os diversos graus de desenvolvimento e maturidade. Neste capítulo são também apresentados os principais conceitos relativamente à Higiene e Segurança no Trabalho, à Ergonomia e ao planeamento de sequências de montagem numa perspetiva da Indústria 4.0.

O terceiro capítulo tem como intuito expor, de forma sintética, os métodos de avaliação e quantificação de riscos, de forma a coadjuvar os capítulos subsequentes, no que respeita à aplicação dos métodos de otimização.

O quarto capítulo visa apresentar resumidamente os potenciais métodos de avaliação de riscos ergonómicos a aplicar, após a implementação das ferramentas previamente selecionadas.

No quinto capítulo é apresentado o estado da arte relativamente aos modelos a utilizar na criação dos métodos de apoio à decisão direcionados para as vertentes de design/organização de *layouts* industriais ergonómicos, de planeamento/rotatividade de tarefas e a adequada seleção de ferramentas da Indústria 4.0, cuja implementação possa contribuir para a minimização dos riscos ergonómicos mais significativos.

O sexto capítulo alberga a caracterização da indústria portuguesa em termos de dimensão e consequente impacto económico para o país, bem como em termos de sinistralidade laboral.

O sétimo capítulo assenta na caracterização da amostra, tendo como principal foco a descrição dos processos de produção vinícola e respetivas etapas, bem como os principais riscos e fatores de risco associados às diversas atividades.

No oitavo capítulo são apresentados os métodos de avaliação e quantificação de riscos utilizados nas avaliações de riscos gerais e de riscos ergonómicos referentes aos processos produtivos do setor, tendo como base as informações recolhidas através da literatura consultada.

O nono capítulo foca-se essencialmente no desenvolvimento dos modelos de otimização, os quais visam agilizar os fluxos produtivos aliados à minimização dos riscos ocupacionais, através da otimização dos *layouts* de produção, da melhoria do planeamento das principais tarefas constituintes dos processos produtivos, e da capacidade de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 adequadas à melhoria operacional dos processos e minimização de riscos laborais. Neste capítulo são considerados vários cenários, de acordo com o agrupamento dos processos produtivos efetuado e à sazonalidade inerente à atividade vitivinícola.

No décimo capítulo é apresentada a descrição da análise hierárquica das tarefas que apresentam um maior impacto no aumento dos riscos ergonómicos (MET superior a 5,8), de acordo com a avaliação de riscos descrita no capítulo 8. A partir desta análise hierárquica, no mesmo capítulo, é apresentada a avaliação de riscos ergonómicos após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, mediante a aplicação do método NASA-TLX em modo de simulação.

O décimo primeiro capítulo é composto pelas conclusões finais relativamente a cada uma das etapas do trabalho, seguidas da descrição das limitações associadas à algumas das etapas desenvolvidas, e encerrando o capítulo são dadas algumas indicações para os trabalhos futuros.

Capítulo 2:

Enquadramento Teórico

Este capítulo visa investigar, rever e explicitar os termos, os conceitos e as ferramentas da Indústria 4.0, assim como, apresentar os principais conceitos relativamente à Higiene e Segurança no Trabalho, à Ergonomia, e fazer uma breve abordagem ao planeamento de sequências de montagem numa perspetiva da Indústria 4.0.

Será apresentada, de uma perspetiva holística, a Indústria 4.0 e detalhados os termos e conceitos específicos referentes à mesma. Alguns métodos de implementação e processos para aferir os diversos graus de desenvolvimento e maturidade serão, posteriormente, sintetizados e exemplificados. Posto isto, seguir-se-á uma análise individual das ferramentas mais relevantes da Indústria 4.0. Serão dedicadas duas seções à revisão da literatura sobre a Higiene e Segurança no Trabalho e a Ergonomia, sendo temas pertinentes para a presente dissertação, os quais possibilitarão estabelecer de um modo mais conciso o âmbito da Ergonomia e a Indústria 4.0.

Numa fase posterior deste capítulo, será efetuada a alusão às principais soluções robóticas utilizadas em ambientes de Indústria 4.0, as quais se revelam de especial importância, dada a sensibilidade do ambiente envolvido, com interação homem/máquina, sendo conseqüentemente crucial a intervenção da Ergonomia neste campo de ação.

Na fase final deste capítulo, serão focados os principais aspetos relacionados com o planeamento de tarefas em linhas de montagem e com as estações de trabalho em ambiente de Indústria 4.0, aspetos estes que ostentam uma particular conveniência para o desenvolvimento da metodologia de apoio à decisão, objetivo elementar desta dissertação.

2.1. A Indústria 4.0

No domínio da produção industrial, a evolução tecnológica Indústria 4.0 pode ser descrita como a quarta etapa da industrialização, ou Indústria 4.0 (Figura 3).

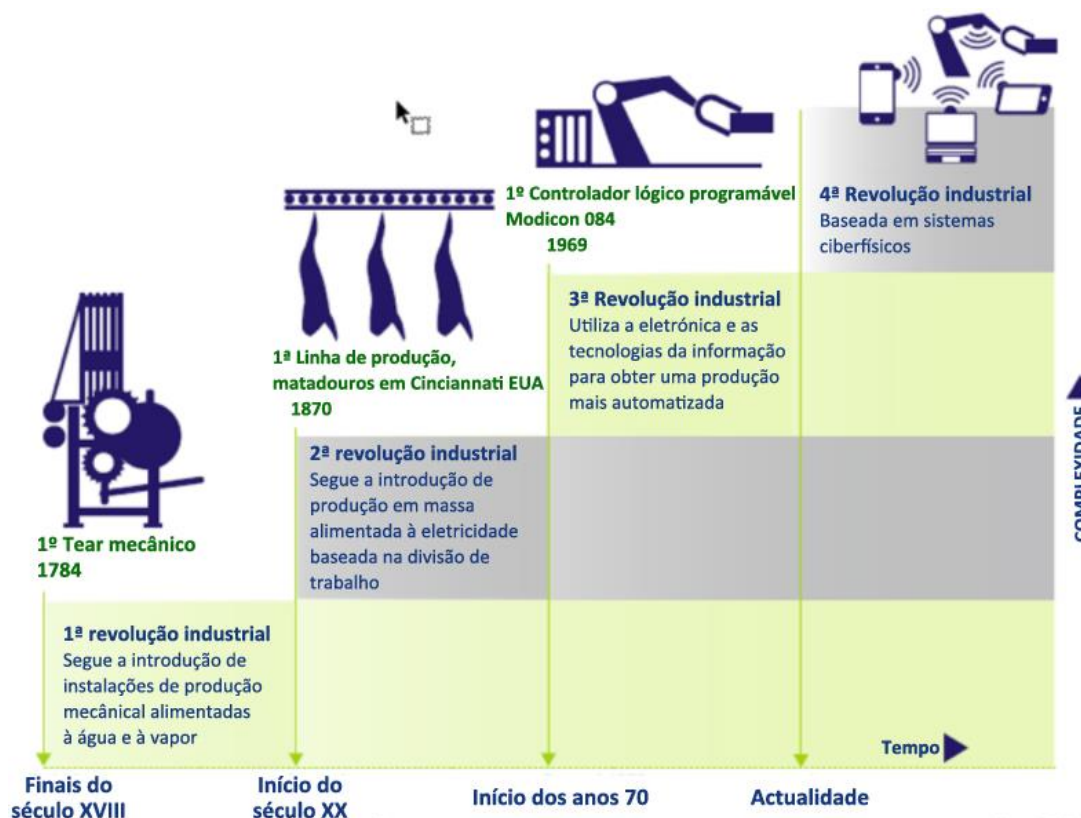


Figura 3 - As etapas da evolução industrial (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013a).

A industrialização foi iniciada no final do século XVIII, através da introdução dos equipamentos de produção mecânica. As máquinas, como o tear mecânico, revolucionaram a forma como os produtos eram fabricados. Esta primeira revolução industrial foi seguida por uma segunda, caracterizada pela utilização de máquinas elétricas, a qual teve início no século XIX, tendo envolvido a produção em massa de bens, baseada na divisão do trabalho. Por sua vez, esta fase foi superada pela terceira revolução industrial, que começou no início dos anos 70 e continua até os dias de hoje. Esta terceira revolução é caracterizada pela aplicação da eletrônica e das tecnologias da informação e comunicação (TIC), com o intuito de alcançar uma maior automatização dos processos de fabrico, já que as máquinas assumiram não apenas uma proporção substancial do “trabalho manual”, como também parte do “trabalho intelectual”.

Entretanto, a Alemanha, aproveitando os seus pontos fortes como fornecedor e líder mundial de equipamentos de fabrico e de sistemas integrados, tirou partido da difusão da Internet das Coisas (IoT) e dos Serviços (IoS) trazendo-os para o ambiente industrial, de modo a liderar o caminho para a quarta fase da industrialização (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013b).

Deste modo, o termo “Indústria 4.0” foi introduzido pela primeira vez na Alemanha em 2011, onde foi usado para denotar o processo de transformação das cadeias globais de criação de valor, as quais incluem os processos de negócios na indústria que visam a organização de redes globais de produção com base em novas tecnologias de informação, de comunicação e da Internet, através das quais é efetuada a interação dos objetos de produção, ou seja, a Indústria 4.0 cria um mundo no qual os sistemas virtuais e físicos de produção cooperam entre si globalmente e de forma flexível, permitindo a personalização dos produtos e a criação de novos modelos operacionais (Schwab, 2016).

Ao longo do tempo, o termo “Indústria 4.0” tem sido alvo da associação de vários conceitos e descrições.

De acordo com Brynjolfsson & McAfee (2014), a Indústria 4.0 é descrita como a Era Dourada da produção industrial de máquinas, organizada com base em tecnologias digitais e totalmente automatizada.

No trabalho de Loshkareva et al. (2015), a Indústria 4.0 foi definida como um método revolucionário de organização da produção industrial, baseado na ampla digitalização e automatização dos processos de produção, e distribuição, o qual suprime os limites entre os objetos físicos, transformando-os num sistema abrangente e complexo, constituído por elementos interconectados e interdependentes.

A especificidade mais importante que distingue a Indústria 4.0 da produção industrial tradicional diz respeito à integração absoluta (interconexão estrita) e interatividade (adaptação à situação em tempo real) de todos os processos produtivos de uma empresa, garantida por via das tecnologias digitais modernas (Sukhodolov, 2019).

Sukhodolov (2019) estabeleceu uma definição própria da noção de “Indústria 4.0”, como sendo um novo modelo industrial, peculiar para a auto-organização e autogestão de sistemas de produção totalmente automatizados, de autoaprendizagem e interativos, em que o núcleo são as novas tecnologias digitais e da Internet, e o papel do ser humano se cinge ao arranque inicial, ao controlo e à manutenção técnica, exigindo assim especialistas industriais com novas competências, bem como mudanças de cariz social nas organizações. De acordo com esta definição, a essência da Indústria 4.0 pode ser ilustrada conforme apresentado na Figura 4.

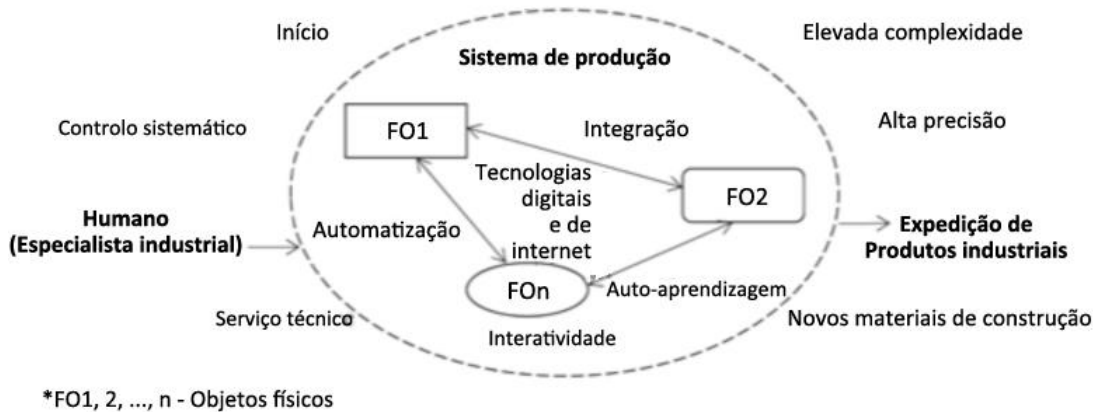


Figura 4 - A Indústria 4.0 como novo modelo industrial (Popkova, 2019).

Através da análise da Figura 4, pode-se verificar que no modelo da Indústria 4.0 o ser humano (o especialista industrial) se encontra fora do sistema de produção. Este sistema é apenas formado por objetos físicos (FO1, 2, ..., n), que na Figura 4 são representados por diferentes formas geométricas, refletindo a possibilidade e a necessidade de interação (ilustrada através setas duplas na figura) entre os objetos físicos heterogêneos dentro do sistema de produção. Os objetos físicos correspondem aos equipamentos de produção usados na indústria (Sukhodolov, 2019).

A Indústria 4.0 deve ser abordada como um sistema aberto, como uma parte essencial de várias áreas-chave. Num mundo inteligente e interconectado baseado nas IoT e IoS, os principais setores económicos serão transformados em infraestruturas e constelações inteligentes. Esta transformação conduzirá à criação de redes e edifícios inteligentes nas áreas da energia, mobilidade inteligente e sustentável, soluções de logística, entre outras. Portanto, a Indústria 4.0 deve ser pensada, implementada e vivida de forma interdisciplinar e em estreita cooperação com as restantes áreas-chave (Figura 5). Dentro deste ecossistema inteligente, a Indústria 4.0 é a manifestação da abordagem do "pensamento inteligente" em ambientes de produção industrial (Bartodziej, 2017).

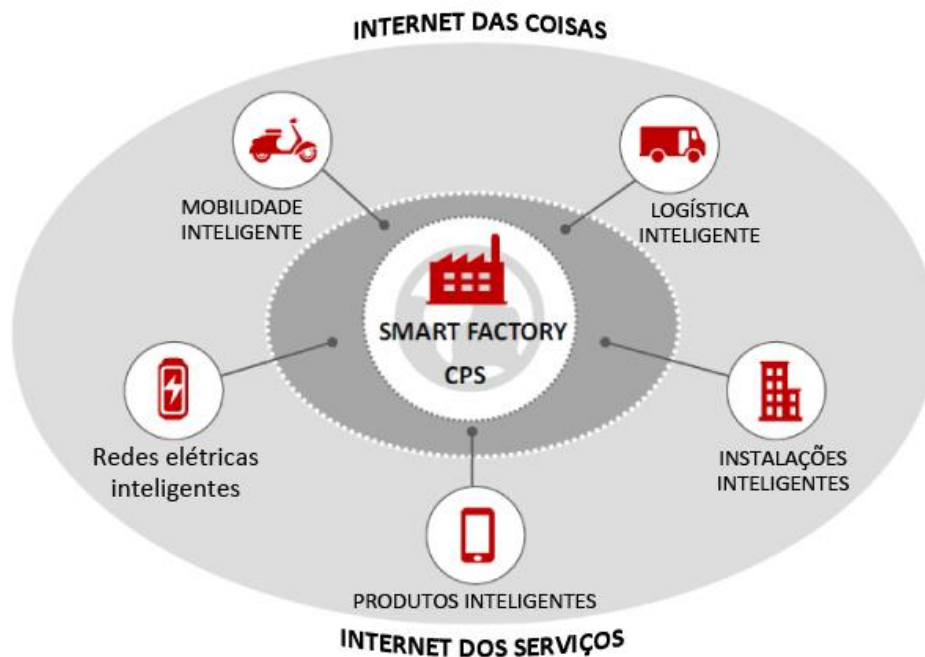


Figura 5 - Fábrica Inteligente no centro do conceito Indústria 4.0 (Bartodziej, 2017).

No centro da Indústria 4.0, o conceito de Fábrica Inteligente constitui uma característica chave, sendo circundada de características inovadoras, por forma a possibilitar a superação da complexidade, por exemplo interrupções inesperadas, bem como o fabrico de produtos de forma mais eficiente. Numa fábrica inteligente, as pessoas, as máquinas e os recursos comunicam entre si naturalmente, tal como acontece numa rede social (Bartodziej, 2017).

2.1.1. Os Principais Vetores de Atuação

A indústria 4.0 atua em quatro principais vetores, os quais formam um subproduto da implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 (Gilchrist, 2016):

A integração vertical de sistemas de produção inteligentes - As fábricas inteligentes formam o núcleo da Indústria 4.0, que por sua vez fazem parte de uma rede de fábricas inteligentes, produtos inteligentes e outros sistemas de produção inteligentes. A essência da rede vertical baseia-se no uso de Sistemas Ciber-físicos de produção que permitem que as fábricas reajam de forma rápida e adequada às diversas variáveis, como os níveis de procura, os níveis de stock, os defeitos de máquina e os atrasos imprevistos.

Da forma análoga, o *networking* e a integração também envolvem os serviços inteligentes de logística e marketing de uma organização, potenciando a produção customizada direcionada especificamente para os diversos tipos de cliente.

A integração horizontal através de redes globais da cadeia de valor - A integração horizontal facilita a criação e manutenção de redes que criam valor acrescentado. Uma das principais relações associadas a este tipo de integração diz respeito à relação entre os parceiros de negócios e os clientes. No entanto, também pode implicar a integração de novos modelos de negócios entre países e até mesmo entre continentes, criando assim uma rede global.

Integração digital *end-to-end* de engenharia em toda a cadeia de valor - Toda a cadeia de valor na indústria está sujeita à denominada engenharia completa ou *end-to-end*, onde o ciclo de vida completo do produto é rastreado desde a produção até o seu fim de vida, de modo a satisfazer os requisitos da qualidade e a satisfação do cliente ao longo de todo o ciclo. Deste modo, a Indústria 4.0 cobre todos os processos durante o ciclo de vida do produto.

Aceleração da produção - As operações comerciais, de modo especial aquelas que estão envolvidas na produção, fazem muito uso das tecnologias, sendo que a sua maioria não possui uma elevada *performance*, não são inovadoras e podem acarretar custos muito elevados. Assim, a Indústria 4.0 possibilita a realização de operações de forma mais célere, mediante as suas valências em termos de automatização ou digitalização dos processos de produção, assim como através da conexão de sistemas, máquinas e unidades de trabalho que tornam possível a formação de redes inteligentes ao longo da cadeia de valor.

2.1.2. Os Princípios Chave para o Design da Indústria 4.0

Existem seis princípios chave princípios para o design da Indústria 4.0, os quais auxiliam as empresas na fase de identificação e implementação e que são evidentes em qualquer ambiente de Indústria 4.0 (Hermann, Pentek & Otto, 2016; Ferreira, Armellini & De Santa-Eulalia, 2020):

Interoperabilidade – Visto que o processo de produção é dinâmico e complexo, a interoperabilidade requer um ambiente completo com interação fluída e colaboração flexível entre todos os componentes. A interoperabilidade implica a capacidade de conexão, comunicação e operação entre todos os componentes em conjunto através da Internet das Coisas. Este princípio inclui os operadores humanos, as fábricas inteligentes e as tecnologias relevantes.

Virtualização – A monitorização real dos processos e máquinas ocorre no mundo físico, sendo que os dados de retorno provenientes dos sensores são relacionados por modelos virtuais ou via simulação. Os engenheiros e designers de processo podem personalizar, alterar e testar mudanças ou atualizações de forma totalmente isolada, sem afetar os processos físicos já virtualizados. Os produtores, através da configuração da Indústria 4.0, podem criar um “*Virtual Twin*” da fábrica inteligente para otimização de processos e produtos existentes. Este método permite a redução dos processos de desenvolvimento e modelação de produtos, proporcionando desta forma um processo de produção com um tempo de colocação de novos produtos no mercado mais reduzido.

Descentralização – A Indústria 4.0 oferece suporte à descentralização. Este facto permite que os diferentes sistemas da fábrica inteligente tomem decisões de forma autónoma, sem desvios em relação ao objetivo organizacional final.

Capacidade em tempo real – As valências da Indústria 4.0 têm como foco completar tudo em tempo real. Isto exige que o processo produtivo, a recolha de dados, o *feedback* e a monitorização dos processos também sejam realizados em tempo real.

Orientação de serviço - A Internet das Coisas cria serviços de consumo para os clientes. Por essa razão, os serviços internos e externos são requeridos pelas fábricas inteligentes, razão pela qual a Internet de Serviços (IoS) é um componente muito importante da Indústria 4.0, pois proporciona aos produtores a possibilidade de estabelecer um *link* direto com os consumidores, fortalecendo desta forma a sua competitividade. A IoS permite ao fabricante, através do fornecimento de produtos baseados em sensores, obter informações sobre a utilização de um determinado artigo, incluindo informações sobre o estado em que se encontra. Esta informação poderá revelar-se de grande utilidade, por exemplo, para debitar o valor referente à prestação de um serviço com base na utilização de um produto por parte de um cliente, como o caso do aluguer de artigos, ou então, possibilitar o fornecimento de serviços de manutenção proativa e preventiva (Vestin, Säfsten & Löfving, 2020).

Modularidade - A flexibilidade é outro princípio de design da Indústria 4.0, o qual é importante para permitir uma fácil adaptação das fábricas inteligentes às mudanças de circunstâncias e requisitos. Os sistemas de produção das fábricas inteligentes são modulares, ágeis e flexíveis, o que possibilita a fácil alteração do tipo de produção, favorecendo o design e a criação de novos produtos. Deste modo, os produtores podem

garantir que as linhas de produtos individuais possam ser substituídas, expandidas ou otimizadas com o mínimo de interrupção dos processos de produção.

2.1.3. Os Pilares de Avanço Tecnológico da Indústria 4.0

A evolução das tecnologias da informação e comunicação possibilitou a introdução de várias ferramentas emergentes no âmbito da Internet, em ambiente de produção industrial, de um modo especial o protocolo IPv6, que proporciona uma maior capacidade para a criação de endereços, permitindo assim a ampliação da rede, de modo a contemplar a integração de outros dispositivos inteligentes e autónomos, como o caso dos microcomputadores e os sistemas integrados. Esta evolução permitiu combinar o mundo físico com o Cíbermundo, dando origem ao sistema Ciber-físico (CPS) (Sinha & Roy, 2020).

O termo “Sistema Ciber-físico” foi introduzido pela primeira vez por Helen Gill, no ano de 2006, na *National Science Foundation* (NSF), nos Estados Unidos. Segundo Helen Gill, os CPSs são sistemas de rede de larga escala, interconectados, heterogéneos e complexos, cujas operações são monitorizadas, coordenadas, controladas e integradas via sistemas informáticos, de comunicação e outros componentes que interagem com o ambiente físico, conforme se encontra ilustrado na Figura 6 (Sinha & Roy, 2020).

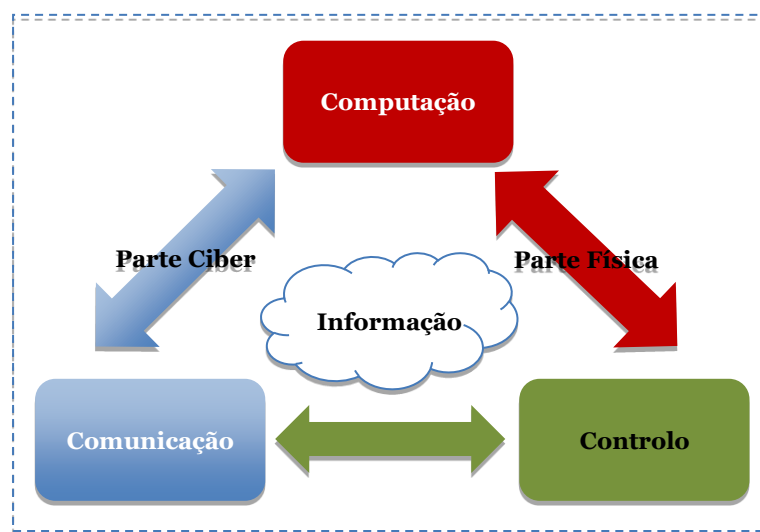


Figura 6 - Estrutura de um Sistema Ciber-físico (Sinha & Roy, 2020).

Em contraste com os sistemas integrados autónomos tradicionais, o CPS concentra-se na ligação de vários dispositivos à rede. Aqui, os processos físicos afetam o processamento de dados e vice-versa, através de sistemas de *feedback* de circuito fechado, como é possível verificar através da Figura 7 (Sinha & Roy, 2020).

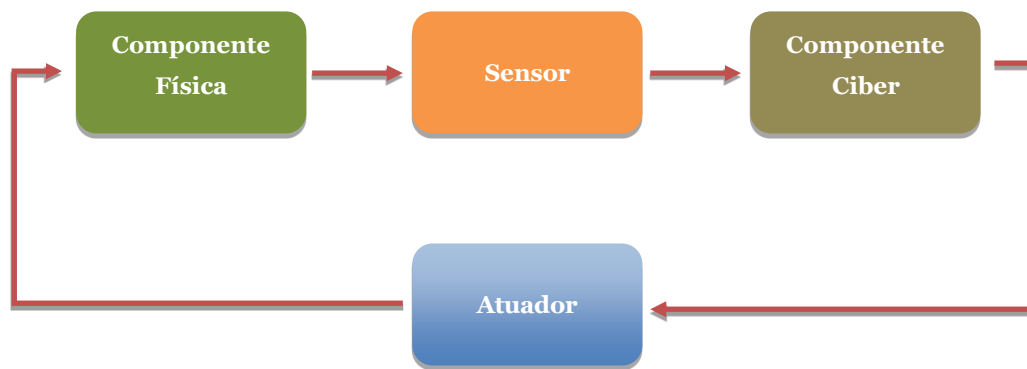


Figura 7 - Sistema Ciber-físico de controlo em rede de circuito fechado (Sinha & Roy, 2020).

Por outras palavras, o CPS é uma versão atualizada que deriva dos sistemas integrados, o qual tem a capacidade de transmitir e receber dados através de redes com ou sem fios. Nestas redes, as informações e os recursos podem ser pesquisados, acedidos, explorados e/ou restaurados, analisados de forma inteligente, usados e vinculados de forma que qualquer pessoa possa executar as tarefas em qualquer lugar e a qualquer momento e efetuar diagnósticos automatizados.

Na Indústria 4.0, o propósito dos sistemas Ciber-físicos reside no fornecimento de recursos, de forma a facilitar a assimilação da vertente física no “reino” virtual, onde os diversos sistemas integrados e interconectados em rede supervisionam e regulam as operações físicas, moldando o processamento de dados (Sawyer, Mitea & Stan, 2020).

Os sistemas Ciber-físicos são compostos por cinco níveis (Gobinath, 2019):

- O primeiro nível corresponde à conexão inteligente, a qual inclui a recolha de dados provenientes das máquinas e outros dispositivos, através de controladores, sensores e outros componentes secundários;
- O segundo nível envolve a conversão dos dados, onde os dados recebidos são convertidos em informações significativas ou utilizáveis;
- O terceiro nível diz respeito ao nível Cibernético, no qual todas as informações adquiridas são direcionadas para uma plataforma comum, na qual podem ser comparadas com outras informações recebidas, possibilitando assim a identificação de desvios e consequentemente estabelecer ações corretivas;
- O quarto nível concerne ao nível cognitivo, no qual ocorre a interação entre as máquinas e os humanos. Neste nível, as máquinas enviam várias sugestões para que o ser humano atue adequadamente, de forma a aumentar a eficiência do processo de fabrico, bem como melhorar a qualidade do produto;

- O quinto nível do CPS inclui a autoconfiguração do sistema de acordo com o ambiente, de forma a permanecer o mais otimizado possível.

Existem nove tendências tecnológicas identificadas, as quais são consideradas como os principais instrumentos para a formação da produção industrial (Figura 8).

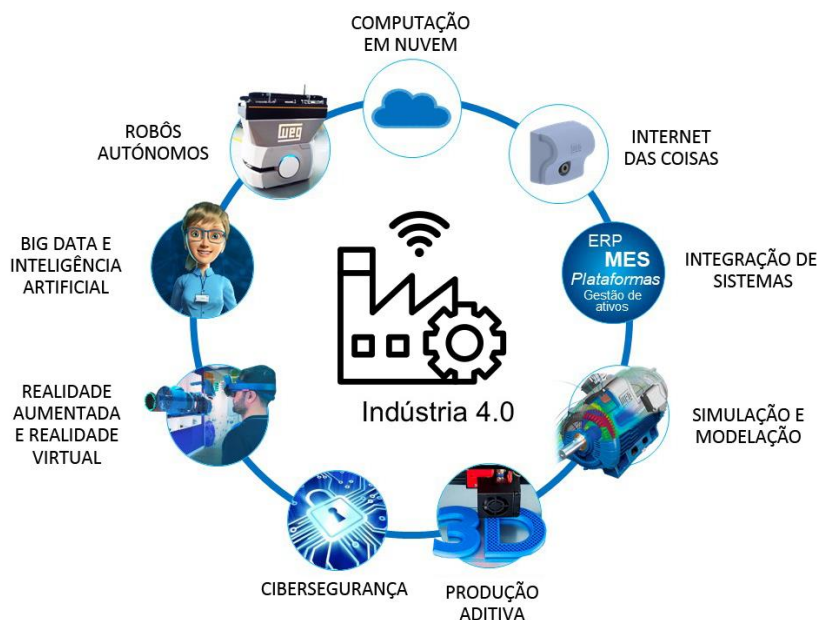


Figura 8 - Ilustração dos nove pilares da Indústria 4.0 (WEG, 2020).

Na Figura 8 encontram-se representados os nove pilares da Indústria 4.0, os quais representam as nove tecnologias interconectadas, cujo objetivo reside na transformação da produção tradicional, muitas vezes baseada em células de trabalho isoladas e otimizadas, incluindo-as num fluxo de produção totalmente integrado, automatizado e otimizado. Estas transformações conduzem a uma maior eficiência, implicando consequentemente mudanças nas habituais relações entre fornecedores, produtores e clientes, bem como entre os humanos e as máquinas (Vaidya, Ambad & Bhosle, 2018).

2.1.3.1. Big Data and Analytics

Hoje em dia, o setor industrial recebe cada vez mais uma elevada quantidade de dados provenientes de várias fontes. Existe assim, a necessidade de reunir todos os dados, agrupá-los e organizá-los de maneira coerente, de modo a possibilitar o uso das análises efetuadas para apoiar a tomada de decisão por parte da gestão. Não pode haver perda de dados, pois estes podem ser muito úteis para a otimização da qualidade da produção e do serviço, para a redução do consumo de energia e para a melhoria da eficiência no processo de produção.

Deste modo, o *Big Data and Analytics* é crucial no ambiente de Indústria 4.0, sendo caracterizado por:

- Possuir conexões que dependem dos sensores e das redes;
- Ser baseado em computação em nuvem (*Cloud computing*);
- Ser um sistema *Cyber*, que envolve modelos e capacidade de memória;
- Os conteúdos/contextos serem importantes;
- Implicar uma comunidade, ou partilha, e a colaboração entre as partes interessadas;
- Proporcionar a customização.

2.1.3.2. Os Robôs Autônomos

A tecnologia robótica tem vindo a dar uma contribuição imprescindível à indústria moderna. Atualmente esta tecnologia está a ser desenvolvida de forma intensiva devido à ascensão e popularidade da Indústria 4.0. Prevê-se que a geração de robótica 4.0 e, as tecnologias associadas, desempenharão um papel significativo na satisfação das necessidades dinâmicas do fabrico colaborativo e inteligente, no contexto da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas Industrial (Gao et al., 2020).

Assim, para que a Robótica 4.0 seja implementada mais brevemente, os sistemas robóticos deverão ser mais compatíveis, proporcionando conexões com dispositivos/máquinas/seres humanos de forma conveniente. Uma forma de compatibilizar os sistemas robóticos reside no desenvolvimentos do *Robot Operating System* (ROS), o qual apresenta um elevado potencial para superar as atuais barreiras existentes em ecossistemas que envolvem a interação entre robôs, dispositivos, máquinas e seres humanos (Gao et al., 2020).

2.1.3.3. A Produção Aditiva

A produção aditiva, como o caso da impressão 3D, permite aos fabricantes a criação de protótipos e projetos conceptuais, reduzindo significativamente o tempo e o esforço durante o projeto. A produção aditiva também permite a produção de pequenos lotes de produtos personalizados que acrescentam valor aos clientes ou utilizadores finais, reduzindo simultaneamente os custos e ineficiências de tempo para o fabricante (Gilchrist, 2016).

2.1.3.4. A Simulação e Modelação

Há alguns anos, o método de “tentativa e erro” era utilizado na otimização de processos. Atualmente, a Indústria 4.0 usa a virtualização para criar “gêmeos” digitais, os quais são usados para a realização de modelos e testes de simulação, os quais serão de grande importância na otimização da produção, bem como na qualidade do produto (Gilchrist, 2016).

A modelação e a simulação são técnicas importantes para as áreas de engenharia industrial, operações e gestão da cadeia de abastecimento (Scheidegger et al., 2018; Negahban & Smith, 2014). São técnicas que conduzem à capacitação da Indústria 4.0 para a gestão de sistemas complexos (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Ghobakhloo, 2018; Moeuf et al., 2018). Além destes aspetos, a investigação empírica de Jeong et al. (2018) e a análise de patentes efetuada por Han et al. (2018) propuseram a modelação e a simulação como tecnologias críticas para a inovação e desenvolvimento da Indústria 4.0.

Nos sistemas de fabrico e logísticos, a modelação e a simulação apresentam um conjunto de métodos e ferramentas tecnológicas que permitem testar e validar produtos, processos, projetos de sistemas, assim como prever desempenhos, de modo a possibilitar tomadas de decisão mais adequadas (Ferreira, Armellini & De Santa-Eulalia, 2020).

Para a ciência, a modelação e a simulação incluem métodos robustos que contribuem significativamente para o desenvolvimento de teorias (Davis, Eisenhardt & Bingham, 2007), que por sua vez podem ser utilizadas para diferentes finalidades, como previsões, provas, explicações, prescrições e orientações empíricas (Harrison et al., 2007).

A aplicação de tecnologias de simulação faz parte das iniciativas e estratégias dos líderes da indústria para a implementação da Indústria 4.0, como a fábrica da General Electric (GE) (Thilmany, 2017) e a fábrica digital da Siemens (Ferreira, Armellini & De Santa-Eulalia, 2020), que trata da virtualização, visualização e simulação de fábricas. A Siemens e a GE detêm diferentes patentes relacionadas a novas técnicas de simulação (Tao et al., 2019). Conforme o trabalho de Tao et al. (2019), algumas aplicações industriais incluem o uso de simulação para o planeamento, operação e manutenção de sistemas, como o caso das aplicações da Siemens. Outras aplicações incluem a capacidade de simulação para a gestão e otimização de ativos, como as aplicações desenvolvidas pela GE e as aplicações de simulação empregues pela Airbus na monitorização e otimização dos processos de produção. Além destes aspetos, a maioria dos fornecedores líderes de *software* de simulação (por exemplo, AnyLogic, MathWorks,

Siemens, Arena, Dassault Systèmes, Autodesk, Flexin, Simul8, Aspen Technology, AVEVA, Simio) estão a investir no desenvolvimento de soluções comerciais para a Indústria 4.0 (AnyLogic, 2020), acompanhando o crescente interesse das empresas em tecnologias de modelação e simulação (Daecher et al., 2018).

A Figura 9 ilustra os componentes de um sistema descritivo da Indústria 4.0 com os diferentes tipos de relacionamentos estáticos entre eles (Bersini, 2012). Conforme apresentado na Figura 9, a Indústria 4.0 pode ser descrita em termos de design e de tecnologias facilitadoras (Ghobakhloo, 2018; Hermann, Pentek & Otto, 2016), sendo que a simulação caracteriza uma ou mais tecnologias com valências de Indústria 4.0 (Ghobakhloo, 2018; Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013b), as quais podem ser usadas na avaliação de vários cenários (Gajsek et al., 2019; Houston et al., 2017; Tao et al., 2018).

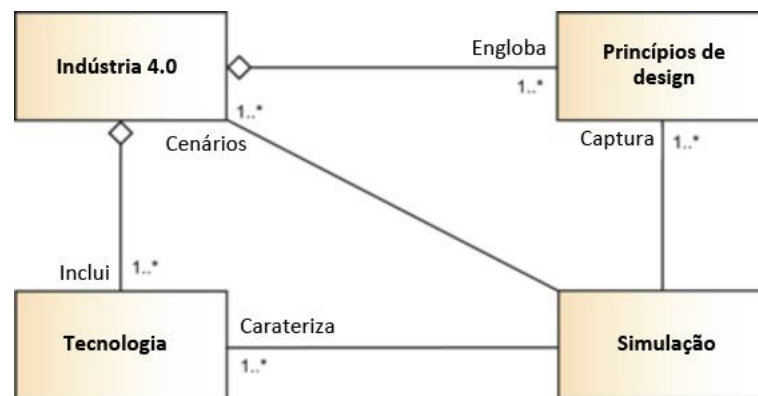


Figura 9 - Estrutura conceitual de enquadramento da simulação (Ferreira, Armellini & De Santa-Eulalia, 2020).

As técnicas de simulação têm diferentes propósitos e aplicam-se à diferentes áreas, o que pode permitir uma análise fácil da Indústria 4.0 através de diferentes perspetivas (Ferreira, Armellini & De Santa-Eulalia, 2020).

Um dos sistemas de simulação utilizados é a fábrica digital, que envolve métodos e ferramentas de simulação e visualização 3D. O principal objetivo do sistema é melhorar o planeamento integrado, avaliação e esforços de melhoria contínua de processos, estruturas e recursos da fábrica real (Kuehn, 2006).

Desta forma, a fábrica digital estabelece uma ponte entre uma fábrica real e uma cópia virtual da fábrica, ou seja, é essencialmente uma simulação da fábrica real, que incorpora dados provenientes dos sensores presentes na fábrica real em tempo real. Assim, a fábrica digital pode ser usada para a realização de simulações com uma elevada precisão nos processos de mudança e/ou alteração (Gregor, et al., 2009).

2.1.3.5. A Integração de Sistemas

As tecnologias de informação e as redes incorporadas conectam transdutores e dispositivos, os quais formam uma parte essencial da Indústria 4.0. A Internet das Coisas Industrial tornará esta conexão possível, uma vez que os transdutores e os dispositivos de campo desenhados para a IoT encontram-se munidos de capacidade de rede (ondas de rádio de baixa potência) permitindo a interação e comunicação entre si, ao mesmo tempo que se conectam a um *gateway* para um controlo e gestão de camada, tornando-se onipresente em toda a fábrica inteligente, bem como ao longo da cadeia de abastecimento (Gilchrist, 2016).

Neste contexto, a eletrónica integrada encontra-se implementada em termos de *hardware* e *software* dentro das restrições específicas do sistema, como por exemplo o consumo de energia, encomendas em tempo real e respetivo tamanho. A relevância destes aspetos reside no facto deste tipo de eletrónica constituir uma parte vital da Indústria 4.0. Os sistemas eletrónicos integrados já não dependem dos estímulos manuais externos, dado que são reativos à consciência sensorial através de CPSs e fazem parte da IoT (Sundmaeker et al., 2010).

2.1.3.6. Cloud Computing

Resumidamente, a *Cloud Computing* corresponde à entrega de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bases de dados, rede, *software*, análise e inteligência artificial, através da Internet. Desta forma a *Cloud* proporciona um modo de inovação mais rápida, recursos flexíveis e economias de escala (Microsoft, 2020).

A existência de grandes conjuntos de dados envolvidos na Indústria 4.0 implica que a partilha de dados seja imperativa, de forma a fazer proveito de todas as possibilidades dentro da cadeia de valor. No entanto, poucas fábricas têm capacidade de armazenamento suficiente para guardar e analisar a grande quantidade de dados recolhidos. Felizmente, os provedores de serviços *Cloud* têm esta capacidade e podem criar nuvens privadas adequadas ao armazenamento e processamento de dados de relativos aos processos de fabrico (Gilchrist, 2016).

Assim, os serviços *Cloud* podem ser classificados em três categorias (Fox & Hao, 2018):

- A Infraestrutura como Serviço (IaaS), que oferece aos clientes a capacidade de alugar componentes de *hardware*, como CPU, armazenamento e rede;

- A Plataforma como Serviço (PaaS), que permite que os clientes utilizem ferramentas de programação fornecidas pela *Cloud* para desenvolver as suas aplicações e implementá-las na plataforma PaaS;
- O *Software* como Serviço (SaaS), que proporciona aos clientes o acesso a aplicações como serviço.

Na Figura 10 são apresentadas as principais etapas do processo em *Cloud Computing*, onde primeiro é efetuado o *upload* as tarefas na nuvem central, depois a nuvem central procede a execução das tarefas, sendo posteriormente efetuado o envio dos resultados aos utilizadores (Asim *et al.*, 2020).

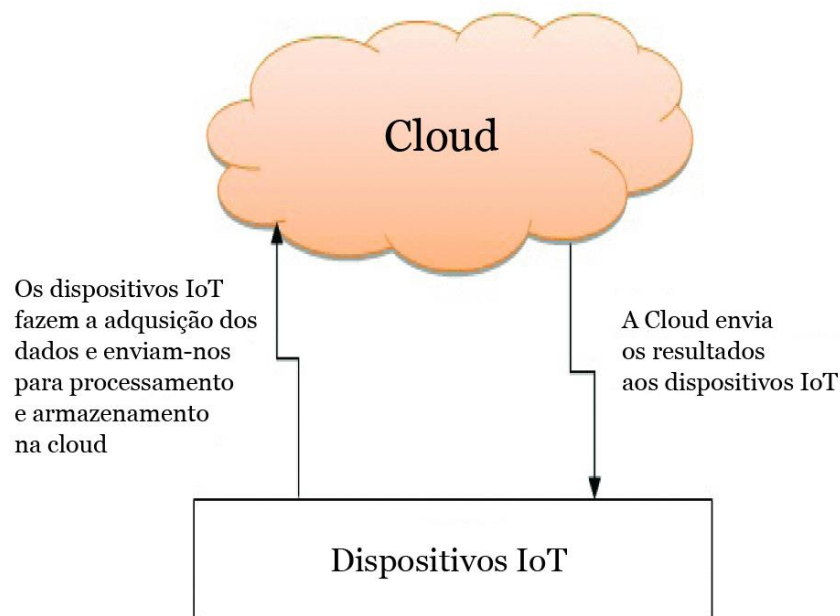


Figura 10 - Arquitetura tradicional Cloud (Singh & Dhurandher, 2020).

Por vezes, devido aos grandes volumes de dados processados na nuvem, podem ocorrer elevados níveis de latência que podem afetar o desempenho do processo produtivo, aumentando os tempos de reação. Como forma de ultrapassar esta questão, existe a possibilidade de utilizar serviços baseados em *Fog Computing* Figura 11.

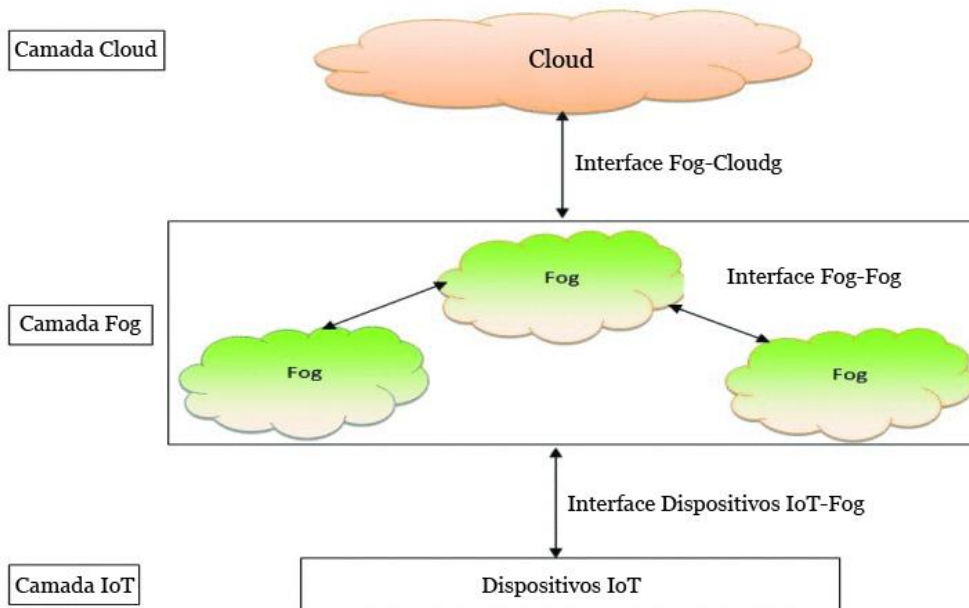


Figura 11 - Arquitetura *Fog Computing* (Singh & Dhurandher, 2020).

Através desta tecnologia, os dados que são adquiridos pelos dispositivos IoT são enviados para a *Fog*. Após a respectiva triagem, os dados são direcionados para os diferentes locais de análise (outros nós de *Fog*), de acordo com o tipo de dados e a sua criticidade (Singh & Dhurandher, 2020).

Em alternativa, podem ser usados serviços baseados em *Edge Computing*, cuja filosofia assenta numa rede de *micro-datacenters*, com topologia em malha, que processa ou armazena dados críticos localmente e envia todos os dados recebidos para um centro de dados ou para um repositório de armazenamento em *Cloud Computing* (Asim et al., 2020).

2.1.3.7. A Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) envolve a interconexão em rede de objetos do quotidiano, muitos dos quais estão equipados com inteligência omnipresente (Palmaccio, Dicuonzo & Belyaeva, 2020).

A IoT consiste em produtos inteligentes que utilizam sensores, conectividade e *software* para obter diversas informações, como por exemplo o uso e a respectiva condição, as quais podem ser usadas para melhorar a produção, utilização e eficiência de produtos e sistemas.

A IoT, em contexto industrial, é conhecida como Internet das Coisas Industrial (IIoT). O seu conceito baseia-se nos mesmos princípios da IoT, no entanto, tem como foco a conectividade e a comunicação entre máquinas e sistemas industriais. A IIoT é conhecida como um sistema de objetos inteligentes em rede, dentro de um ambiente industrial, que possibilita a integração de funções inteligentes na recolha, análise e comunicação de informações, com vista à otimização do valor global da produção (Vestin, Säfsten & Löfving, 2020).

A IIoT pode contribuir para a maximização dos processos operacionais interconectados em tempo real nas empresas. A IIoT não só proporciona às empresas capacidade de tomada de decisão rápida e flexível, como também contribui para a otimização dos seus custos operacionais. Ao alcançar a transformação digital, a tecnologia industrial IoT contribui para a obtenção, passo a passo, dos seguintes benefícios (Zhao, 2020):

- A análise preditiva automatizada;
- Melhoria da conexão entre pessoas, ativos e processos;
- O desempenho empresarial totalmente otimizado;
- A capacitação colaborativa dos recursos humanos no desempenho das operações.

Através dos sistemas integrados, a IoT aumenta a omnipresença da Internet, nomeadamente ao integrar objetos com capacidade de interação. Na indústria inteligente, a IoT lidera a base da Indústria 4.0, assim como também é líder nas áreas de transporte inteligente, da "saúde inteligente" e no desenvolvimento de cidades inteligentes (Palmaccio, Dicuonzo & Belyaeva, 2020).

As empresas têm vindo a ser influenciadas tanto na vertente da proposta de valor, tendo sido introduzidos muitos produtos e serviços baseados em IoT, como ao nível da gestão operacional, mediante importantes modificações nos sistemas de processos de negócios (Palmaccio, Dicuonzo & Belyaeva, 2020).

Por outro lado, a Internet dos Serviços (IoS) engloba uma infraestrutura que usa a Internet como meio de oferta e venda de serviços. Como resultado, os serviços tornam-se bens comercializáveis, havendo uma melhor interação, em termos de negócios, através dos denominados mercados de serviços ou *marketplaces*, nos quais os consumidores e provedores de serviços se encontram reunidos para a comercialização de serviços (Cardoso, Voigt & Winkler, 2008).

Enquanto a IoT lida com objetos tangíveis, tais como sensores e máquinas, a Internet de Serviços possui uma perspectiva mais intangível, que diz respeito à própria da área dos serviços. Assim, a IoS abrange um conjunto mais abstrato de funcionalidades, baseando-se no conceito de SOA (*Service-Oriented Architecture*), ou seja, Arquitetura Orientada para os Serviços (Reis & Gonçalves, 2018).

A SOA é um modelo lógico que reorganiza as aplicações de *software* e infraestruturas num conjunto de serviços interativos. Do ponto de vista empresarial, a SOA representa um conjunto de serviços que melhoram a capacidade de conduzir negócios com clientes e fornecedores. Do ponto de vista tecnológico, é uma filosofia de projeto caracterizada pela modularidade, separação de afetações, reutilização de serviços e composição, contemplando um novo método de programação (Reis & Gonçalves, 2018).

Deste modo, a IoS fornece uma base para os negócios e a componente técnica para estabelecer modelos de negócios avançados, onde os provedores de serviços e os consumidores formam redes de negócios para fornecimento e consumo de serviços. Dentro destas redes de negócios, as organizações trabalham em conjunto, de forma a possibilitar o fornecimento de um serviço aos consumidores. Por exemplo, uma rede de valor baseada em serviços pode incluir a pesquisa, o desenvolvimento, o design, a produção, o marketing, as vendas e a distribuição de um serviço específico. Todas estas fases funcionam de forma intercambiável, de modo a acrescentar valor ao serviço. O valor é gerado a partir do relacionamento entre a empresa, os seus clientes, os intermediários, os agregadores e os fornecedores (Cardoso, Voigt & Winkler, 2008).

Em suma, IoS proporciona a oportunidade de criar e conduzir uma nova “indústria de serviços” para a produção, mudança, adaptação, (re) venda e operação de serviços (Cardoso, Voigt & Winkler, 2008).

2.1.3.8. A Cibersegurança

De acordo com Evans (2011), na década de 2000, o contínuo aumento de dispositivos ligados à Internet exigiu conseqüentemente o aumento da quantidade de endereços de protocolo da Internet (IP), bem como o desenvolvimento de um protocolo de comunicação mais eficiente, rápido e confiável.

Este facto levou ao desenvolvimento do protocolo da Internet versão seis (IPv6) e à ampliação das tecnologias Wi-Fi. O IPv6 foi desenvolvido devido ao esgotamento dos

endereços IP no IPv4, sendo que este novo protocolo permitiu a ligação de um número muito maior de dispositivos dentro do mundo conectado (Evans, 2011).

No entanto, a dinâmica presente nos diversos cenários de comunicação através da Internet, como é o caso da crescente utilização da Internet das Coisas (IoT), desencadeou a necessidade de adaptabilidade, que poderá ser satisfeita mediante o desenvolvimento de métodos de seleção de combinações de mecanismos (como por exemplo os serviços de interconexão de sistemas abertos ou as funções de protocolo de comunicação) adequados ao contexto e condições ambientais.

Assim, os mecanismos de comunicação que são integrados em sistemas baseados em transições, ou seja, sistemas que possibilitam a transição entre mecanismos similares de modo a adaptar-se a situações contextuais dinâmicas, passam a fazer parte de um conjunto de recursos de sistema disponíveis, como as interfaces *wireless*, os vários métodos de programação e os algoritmos *task-clustering* (TC). Este tipo de sistemas, devido à sua capacidade de adaptação fundamentada na troca de mecanismos de comunicação, permite lidar com cenários de altamente dinâmicos com requisitos de qualidade rígidos, incluindo a automatização industrial interligada e os aplicativos IoT (Alt et al., 2019).

Apesar do desenvolvimento de protocolos de comunicação e de métodos de comunicação mais ágeis, graças à sua capacidade de dinamização de sistemas complexos, os sistemas industriais estão cada vez mais vulneráveis a ameaças através da Internet. Como forma de resolver esta questão, devem ser implementadas medidas de segurança Cibernética que reconheçam as novas vulnerabilidades e os desafios que integram os processos e sistemas de controlo industrial. Algumas medidas de segurança poderão passar pelo desenvolvimento de novos tipos de *firewall*, de sistemas baseados na tecnologia *Deep Learning* para a deteção de *software* malicioso, entre outros (Gilchrist, 2016).

2.1.3.9. A Realidade Aumentada e a Realidade Virtual

As empresas procuram cada vez mais reduzir as despesas gerais de manutenção e de formação de colaboradores nas áreas de produção, marketing e suporte pós-venda. Por esta razão, os fabricantes recorrem cada vez a sistemas baseados em Realidade Aumentada e ou Realidade Virtual como forma de otimizar os seus procedimentos de manutenção e, ao mesmo tempo, reduzir os custos associados à mão de obra especializada (Gilchrist, 2016).

As tecnologias envolvidas no fabrico de sistemas de visão visam revolucionar a forma de interação entre os utilizadores e o ambiente circundante. Uma das tecnologias é a *Virtual Reality* ou Realidade Virtual (VR), que estende efetivamente o campo de visão e bloqueia todo o ambiente real, oferecendo assim um ambiente virtual imersivo e independente do ambiente real do utilizador. Por outro lado, a tecnologia *Augmented Reality* ou Realidade Aumentada (AR), além proporcionar um desempenho transparente de alta qualidade, enriquece o mundo real através da sobreposição de conteúdos digitais (Zhan et al., 2020).

A VR pode ser aplicada na indústria no planeamento de processos, simulação, inspeção, verificação, entre outros, ajudando os operadores a entender melhor um determinado processo e a melhorar a capacidade de fabrico, a durabilidade e o lucro proporcionado pelo produto final. Em relação aos serviços, estes podem ser simulados e otimizados num ambiente virtual imersivo antes da execução real, evitando assim potenciais riscos para os operadores, bem como para o equipamento. A VR pode ainda contribuir para a melhoria das capacidades dos operadores e, assim, melhorar a qualidade das atividades relacionadas (Tao, Zhang & Nee, 2019).

A Realidade Aumentada pode ser aplicada na indústria, por exemplo através da sobreposição de informações virtuais em processos de produção reais. As aplicações de AR na área de serviços abrangem principalmente a manutenção, a logística e o treino de formação. Através da AR, o ambiente real pode ser ampliado com textos, rótulos, modelos e vídeos, o que conduzirá à diminuição da ocorrência de erros, a uma maior velocidade de execução e a uma melhor qualidade do processo de serviço (Tao, Zhang & Nee, 2019).

2.2. A Implementação da Indústria 4.0 e os seus Graus de Desenvolvimento

A indústria 4.0 é caracterizada por ligar pessoas, máquinas, objetos e sistemas de tecnologia da informação e comunicação (TIC) de forma inteligente, tanto a um nível horizontal, como vertical (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013a).

A Figura 12 ilustra a integração horizontal através da Indústria 4.0 e descreve a interconexão digital entre as cadeias de abastecimento e os clientes em tempo real, onde os limites horizontais dos locais de produção e das organizações começam a se extinguir à medida que mais negócios e processos de produção se desenvolvem entre eles (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020). Esta abordagem facilita a troca de dados e, conseqüentemente,

a respetiva análise, abrindo caminho para inúmeras vantagens para os parceiros da cadeia de abastecimento e para os clientes. Por exemplo, um melhor alinhamento dos processos em toda a cadeia de abastecimento pode levar a um aumento da eficiência na utilização dos recursos materiais, resultando em reduções de custos e aumentos de produtividade (Saberri & Yusuff, 2011; Müller, Kiel & Voigt, 2018).

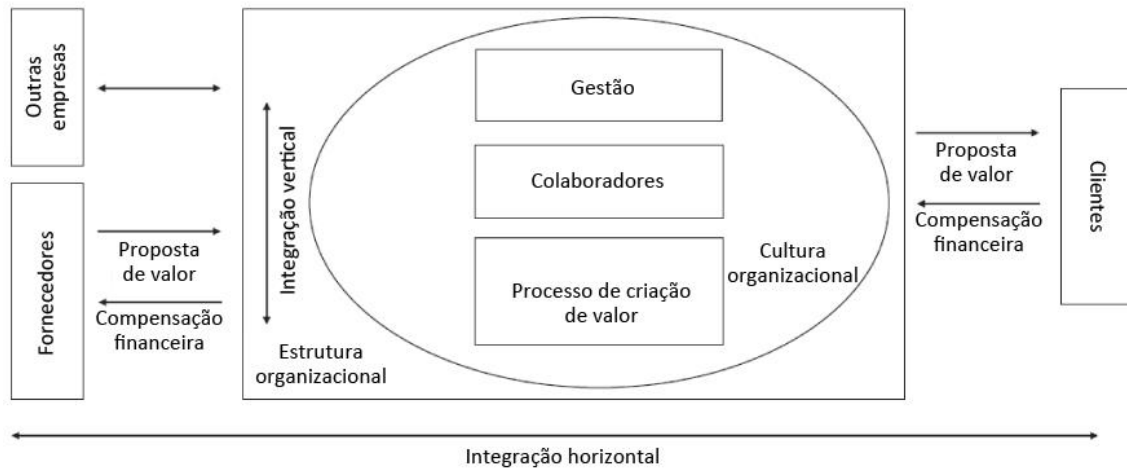


Figura 12 - Implementação da estrutura da indústria 4.0 (Veile et al., 2019).

Com a integração horizontal, os processos de criação de valor ao longo de toda a cadeia de abastecimento podem ser mais flexíveis e a tomada de decisão otimizada. Assim, a Indústria 4.0 abre caminho para o desenvolvimento e comercialização de produtos e serviços inovadores altamente personalizados, sendo que, a própria gestão da inovação passa por mudanças fundamentais, pois os dados podem fluir diretamente no sentido da utilização do produto para o desenvolvimento do produto (Yoo et al., 2012). No entanto, a partilha de dados ao longo da cadeia de abastecimento enfrenta vários desafios técnicos, acompanhados por preocupações relativamente à acessibilidade e transparência dos dados por parte dos concorrentes ou de terceiros (Kiel et al., 2017; Müller, Kiel & Voigt, 2018).

Além da integração horizontal, as camadas verticais da hierarquia de automação tendem a decompor-se, sendo ignoradas pelas novas aplicações tecnológicas (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020). Por esta razão, a integração vertical dentro de uma empresa deve ser planeada no contexto da Indústria 4.0. Isto significa que todos os departamentos independentes crescem juntos virtualmente, desde o departamento de desenvolvimento de produto, passando pela gestão de operações, até ao marketing e vendas. A distância entre o design, a produção e o consumidor tende a desaparecer graças à integração da gestão do ciclo de vida do produto (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

A redução de todas estas barreiras, possibilita a abertura da indústria para novos comportamentos e cenários difíceis de prever. Na realidade, o grau de implementação da Indústria 4.0 ainda é limitado e não há experiência sobre a implementação completa deste paradigma na totalidade de um ecossistema económico (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020).

Ainda não está claro como este modelo irá interagir com as tendências económicas geopolíticas e sociais para moldar o trabalho e empregos futuros (Fantini, Pinzone & Taisch, 2020). No entanto, tais abordagens requerem uma mudança organizacional e cultural, um pensamento interdisciplinar e a abordagem a vários desafios sociais, como a perda de empregos ou competências dentro deste processo de transformação (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013a; Kiel et al., 2017).

Os recentes avanços verificados através da revisão da literatura sugerem a inclusão do risco ergonómico no design de sistemas de montagem, uma vez que os colaboradores da linha de montagem são propensos a distúrbios músculo-esqueléticos, devido a operações extenuantes repetidas com elevada frequência. O risco ergonómico tem um impacto negativo na saúde e na qualidade de vida do trabalhador, bem como nos resultados económicos e na reputação da empresa. Os últimos desenvolvimentos na legislação em conjunto com o envelhecimento da força de trabalho nos países desenvolvidos, forcem a incluir o aspeto ergonómico no design dos sistemas de montagem (Otto & Scholl, 2011), como é possível observar através resumo das dimensões do design na Figura 13.

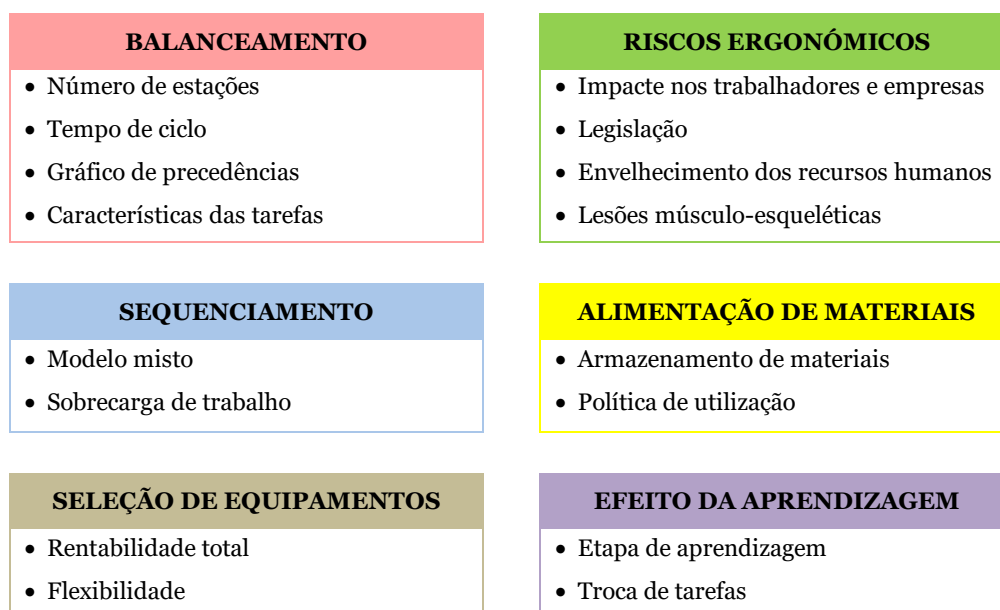


Figura 13 - Dimensões do design de um sistema de montagem (Bortolini et al., 2017).

A integração de novas tecnologias como a Internet das Coisas, *Big Data*, a otimização em tempo real, *Cloud Computing*, CPS (*Cyber-Physical Systems*), a produção aditiva, as soluções robóticas, a Realidade Aumentada e *Machine Learning* no design e gestão de sistemas de montagem conduz a uma nova geração de sistemas de montagem baseada e seis características essenciais (Figura 14): a montagem assistida, a gestão de armazenamento inteligente, o *layout* do posto de trabalho autoconfigurável, a rastreabilidade completa de produtos e processos, a personalização tardia e o sistema de controlo de montagem.



Figura 14 - Principais características de um sistema de montagem 4.0 (Bortolini et al., 2017).

De acordo com Minturn & Lomax (2018), no caso de empresas que pretendem transitar gradualmente para a Indústria 4.0, a Rexroth (grupo Bosch) sugere uma abordagem passo a passo, sendo que inicialmente devem ser estabelecidas prioridades em relação as áreas que mais beneficiarão com a digitalização. Depois, pode-se então proceder à expansão dos recursos da Indústria 4.0 com base nos recursos iniciais da empresa já digitalizados. A vantagem desta abordagem reside nas bases sólidas de tecnologia, de infraestrutura e de competências que podem ser estabelecidas, facilitando a mudança final para a chamada “Fábrica do Futuro” (*“Factory of the Future”*).

Shao et al. (2020), propuseram uma estrutura de implementação da Indústria 4.0 ao longo da cadeia de abastecimento em quatro etapas, na qual se destacam os principais facilitadores/ativadores organizacionais como a cultura, a abordagem multifuncional e a melhoria contínua.

A estrutura para a implementação da Indústria 4.0 proposta por Shao et al. (2020) é constituída por quatro etapas: a visualização, a ligação de primeiro nível, a conexão da cadeia de abastecimento e, finalmente, a etapa da cadeia de abastecimento inteligente (Figura 15).

Etapa 1 - O nível de visualização sustenta a ideia global das cadeias de abastecimento conectadas. A colaboração ao longo da cadeia e abastecimento se encontra fundamentada na confiança mútua e transparência entre as partes envolvidas, de modo a proporcionar a concretização de atividades conjuntas, como a partilha de informações, e o planeamento e desenvolvimento de produtos. Esta abordagem conduz a um nível de colaboração superior, cujo objetivo é aumentar a eficiência em toda a cadeia de valor.

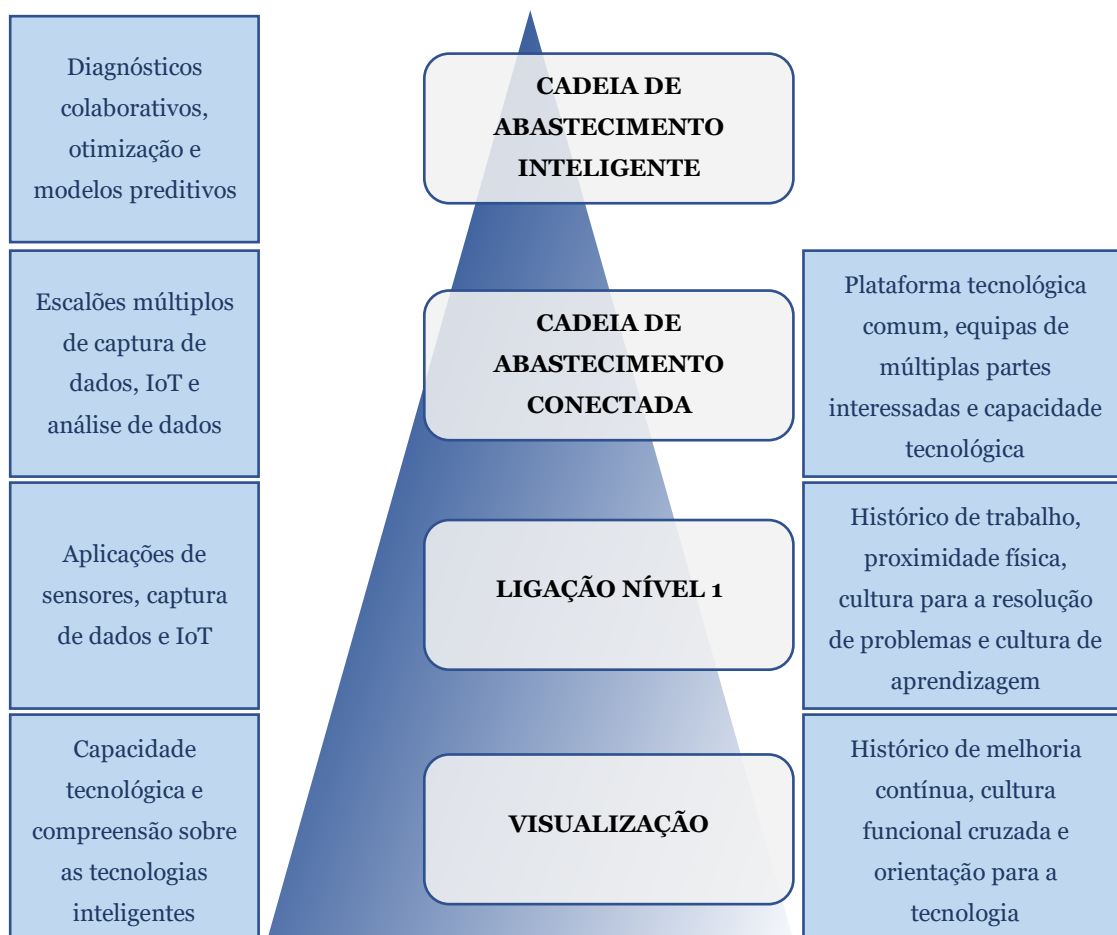


Figura 15 - Etapas para a implementação da Indústria 4.0 ao longo da cadeia de abastecimento (Shao et al., 2020).

Etapa 2 - Nas ligações de nível 1, após a visualização do *roadmap* de conexão multicamadas, é possível observar que a organização se conecta ao *roadmap* estabelecido como fornecedor imediato, com o intuito de trabalhar de forma colaborativa na exploração e estudo em profundidade dos problemas.

Etapa 3 – A cadeia de abastecimento, ligada à organização e munida de dados do fornecedor, passa a recolher os dados sobre as especificações exigidas às suas instalações. Posteriormente, deverá proceder à configuração dos equipamentos através da utilização de sensores. Esta atividade também serve para verificar eventuais problemas de processo ao nível da organização. A etapa seguinte consiste em juntar os dados internos aos dados capturados no terminal do fornecedor, possibilitando deste modo a harmonização dos dados internos com os dados que provenientes do fornecedor. O próximo passo nesta fase consiste na conexão com o terceiro parceiro na cadeia de valor.

Durante esta fase, a colaboração multicamadas, o objetivo comum e o uso de ferramentas avançadas, como as ferramentas de deteção avançada, a inteligência artificial e a estruturação de dados, permitem aos parceiros da cadeia de abastecimento juntar os dados num sistema centralizado na rede.

Etapa 4 – Corresponde à etapa final e consiste em ultimar a conexão dos dados e tornar o sistema auto adaptativo através da identificação de defeitos e da respetiva tomada de medidas corretivas. Este aspeto implica um investimento contínuo a nível tecnológico, como por exemplo investimentos em dispositivos IoT, para a troca de informações em tempo real ao longo dos membros da cadeia de abastecimento, em sensores com tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID) para o rastreio em tempo real e em sistemas de execução de produção centralizados na nuvem.

A estrutura proposta por Shao et al. (2020) fornece conhecimentos para as organizações que procuram tirar proveito das vantagens do conceito da Indústria 4.0 em todas as cadeias de abastecimento. A estrutura também destaca a importância dos elementos de relacionamento entre os membros da cadeia de abastecimento, no sucesso da adoção de iniciativas inteligentes ao longo da cadeia de abastecimento e no aproveitamento do conhecimento que reside fora das organizações.

Os estudos de Cosner, Hynds & Fوسفeld (2007); Daim & Oliver (2008); Erol, Schumacher & Sihn (2016); Phaal, Farrukh & Probert (2004a, 2004b); Toro-Jarrín, Ponce-Jaramillo & Güemes-Castorena (2016) permitiram estabelecer processos de roteiro (*roadmaps*) de tecnologia que abordam a identificação, a seleção, a aquisição, o desenvolvimento, a exploração e a proteção de tecnologias (produtos, processos e infraestruturas) necessárias para alcançar, manter, fazer crescer uma posição de mercado e desempenhar negócios compatíveis com os objetivos da empresa. Por outro lado, Sarvari et al. (2018) estabeleceram uma proposta de estrutura de um roteiro (*roadmap*) para a tecnologia de

Indústria 4.0, sendo que o “roteiro” tem como intuito permitir uma melhor compreensão dos movimentos, quais as decisões que devem ser tomadas, quem deverá tomá-las e quando. Este procedimento é aplicado na fase de projeto, através da especificação das características do trabalho em cada uma das etapas associadas. No enquadramento proposto (Figura 16) as estratégias e tecnologias-chave são definidas na primeira fase do roteiro, e subsequentemente, na segunda fase, é conduzido o desenvolvimento dos novos produtos e processos.

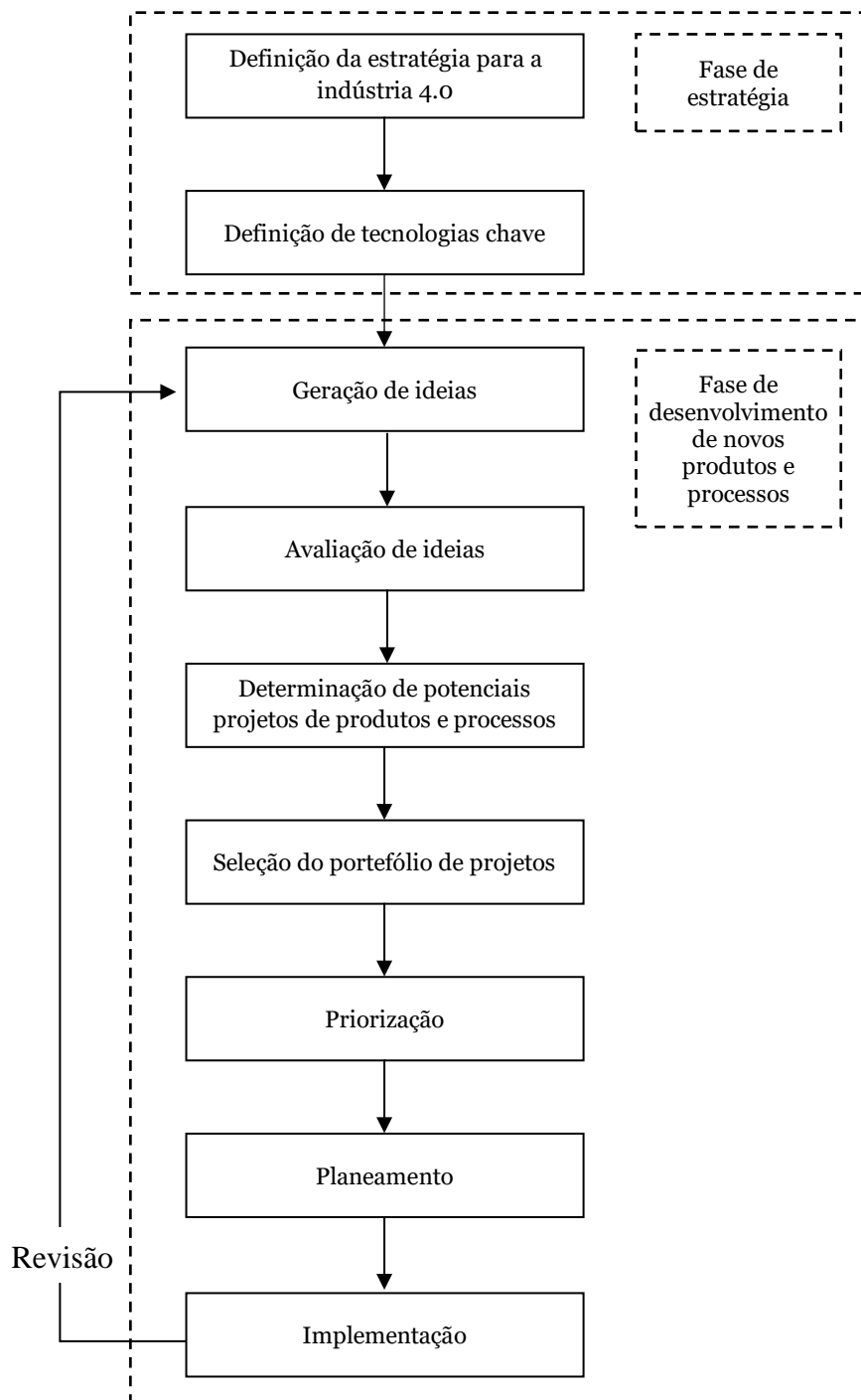


Figura 16 - Roteiro de tecnologia proposto para a Indústria 4.0 (Sarvari et al., 2018).

O *roadmap* da Indústria 4.0 dá uma visão global da situação atual da empresa e a perspectiva a ser alcançada num determinado horizonte temporal. Uma previsão genuína da Indústria 4.0 ajuda a criar ideias únicas que moldam produtos, processos e oportunidades em termos de metas e marcos definidos. O fluxo de projeto para o roteiro proposto por Sarvari et al. (2018) cobre uma ampla gama de planejamentos estratégicos para a implementação das visões definidas para facilitar os roteiros da Indústria 4.0.

Relativamente ao grau de desenvolvimento de uma organização em relação à implementação da Indústria 4.0, têm sido propostos vários modelos para a determinação do grau de maturidade de uma empresa, no qual é mensurado o progresso efetuado pela empresa relativamente ao processo de implementação da Indústria 4.0 (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo de alguns estudos sobre modelos de maturidade para a indústria 4.0.

| Modelo de maturidade | Autores | Descrição | Aplicação |
|---|-------------------------------------|--|--|
| IMPULS – Prontidão da Indústria 4.0 | (Lichtblau et al., 2015) | O modelo contém 5 etapas com 6 dimensões e 18 critérios de avaliação. Cada etapa possui uma descrição muito clara e detalhada. A avaliação tem um perfil mais técnico, sendo claro para diferentes públicos. | Direcionado para a indústria de engenharia mecânica. Apresenta um domínio técnico mais profundo. |
| Operações de autoavaliação da Indústria 4.0/Digital (PwC) | (Geissbauer, Vedso & Schrauf, 2016) | O modelo contém 4 estágios de maturidade com 7 dimensões. Apresenta a opção de medir o estado atual (AS-IS) e o estado futuro (TO-BE). As instruções após a avaliação são fornecidas para orientação do utilizador. | Modelo genérico, sendo aplicado a toda a empresa. |
| Modelo de maturidade da Indústria 4.0 | (Schumacher, Erol & Sihm, 2016) | O modelo contém 5 etapas com 9 dimensões e 62 critérios de avaliação. A classificação dos parâmetros é efetuada através de uma escala Likert de 5 pontos. Não está disponível <i>online</i> , apenas publicado estritamente no artigo. | Modelo genérico, sendo aplicado a toda a empresa. |
| SIMMI 4.0 (System Integration Maturity Model for I4.0) | (Leyh et al., 2016) | O modelo contém 5 etapas com 4 dimensões incluídas. Não está disponível <i>online</i> , apenas em artigos académicos. | O modelo é focado na área das tecnologias de informação. |

| Modelo de maturidade | Autores | Descrição | Aplicação |
|---|------------------------------------|--|--|
| Modelo de maturidade em PMEs em direção à Indústria 4.0 | (Ganzarain & Errasti, 2016) | O modelo contém 5 etapas e 3 dimensões. É mais direcionado para aplicação em Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Não está disponível <i>online</i> , apenas em artigos acadêmicos. | O modelo genérico indicado para PME. |
| Maturidade da Indústria 4.0 e modelo de prontidão | (Akdil, Ustundag & Cevikcan, 2018) | O modelo contém 4 etapas com 3 dimensões associadas a 13 campos de ação. No total, são aplicadas 65 questões a todas as áreas da empresa. Não se encontra <i>online</i> sendo necessário automatizar o processo se aplicado. | Modelo genérico, sendo aplicado a toda a empresa. |
| Modelo de maturidade para transformação digital | (Klötzer & Pflaum, 2017) | O modelo baseia-se em 5 etapas, 2 dimensões e 9 critérios. Está mais associada à área de produção e à cadeia de abastecimento das empresas. Não está disponível <i>online</i> , apenas em artigos acadêmicos. | O modelo é genérico com elementos direcionados para a produção e para a cadeia de abastecimento. |

No que se refere ao grau de prontidão de uma empresa, que corresponde a uma etapa anterior ao modelo de maturidade da Indústria 4.0, Pacchini et al. (2019) propõem um modelo baseado na estrutura da norma J4000 da *Society of Automotive Engineers* (SAE), o qual foi modificado para abranger os princípios e conceitos da Indústria 4.0. O modelo proposto compreende oito soluções tecnológicas: a Internet das Coisas, *Big Data*, *Cloud Computing*, Sistemas Ciber-físicos, Robôs Colaborativos, Produção Aditiva, Realidade Aumentada e Inteligência Artificial, sendo possível a representação do modelo através de um gráfico de radar, como é possível observar através da Figura 17.

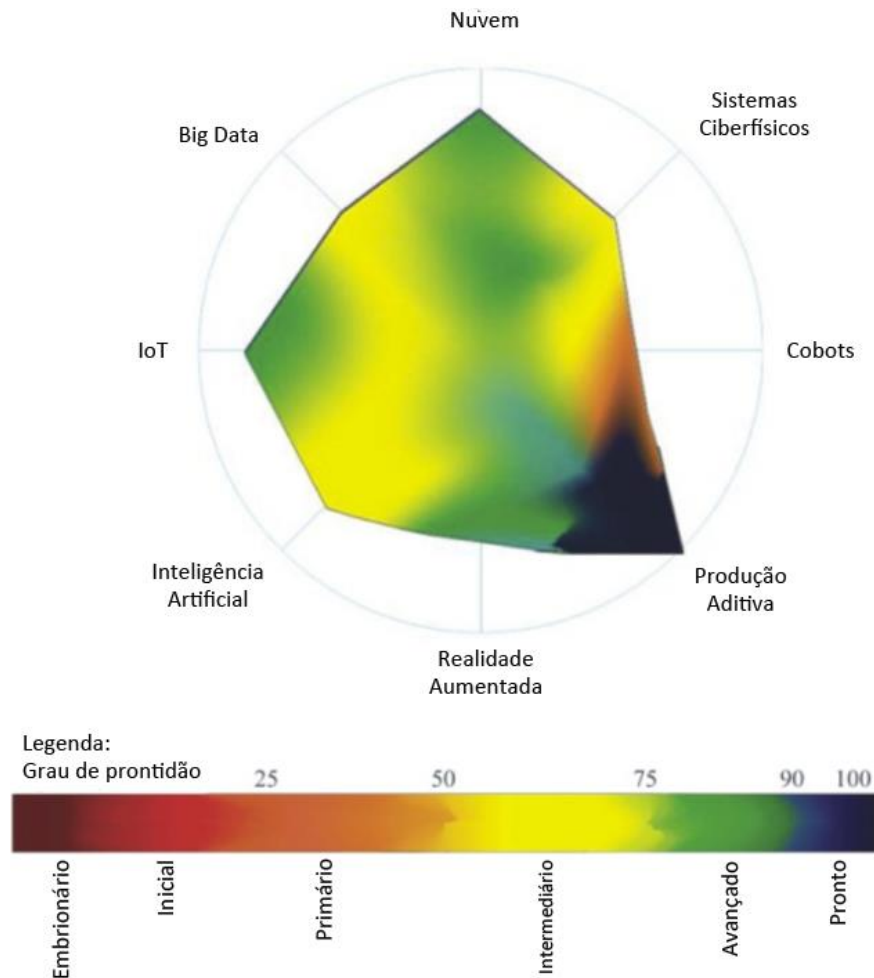


Figura 17 - Exemplo gráfico do grau de prontidão de uma fábrica (Pacchini et al., 2019).

Portanto, através da Figura 17 é possível verificar que as cores predominantes são o verde, o amarelo e o azul, o que posiciona o grau de disponibilidade desta empresa na faixa intermediária/avançada (Pacchini et al., 2019).

2.3. A Higiene e Segurança e a Indústria 4.0

Na análise das transformações que a indústria sofreu desde o século XVIII, nota-se uma coevolução da filosofia de produção e a abordagem da Segurança e Saúde no Trabalho (SST). A industrialização criou uma necessidade urgente e crescente de trabalho e conduziu ao aparecimento de condições de trabalho deploráveis, nas quais homens, mulheres e crianças arriscavam a vida e a saúde para ganhar o seu sustento. A inexperiência da força de trabalho e a ignorância dos empregadores em relação ao que agora se designa por SST inevitavelmente implicaram um elevado preço a pagar e, sob a pressão pública resultante, os legisladores foram forçados a intervir (Badri, Boudreau-Trudel & Souissi, 2018).

A evolução da área da Segurança e Saúde no Trabalho sempre acompanhou os desenvolvimentos revolucionários na indústria. A reação ao progresso tecnológico, as mudanças nos métodos de trabalho e as reais consequências destes sobre a SST têm impulsionado a implementação de soluções confiáveis e sustentáveis para os problemas encontrados. Na maioria dos países industrializados, a reatividade começa agora a ceder em prol da proatividade, tendo avançado consideravelmente nas últimas décadas, tendo beneficiado da legislação, da regulamentação e das normas que colocaram em primeiro plano o risco ocupacional e o dever de eliminar o perigo na fonte. Atualmente, a indústria entende que a saúde e a segurança dos seus trabalhadores é um elemento importante para o sucesso financeiro (Badri, Boudreau-Trudel & Souissi, 2018).

A Indústria 4.0 garante o aumento da produtividade através da integração dos sistemas digitais de produção, com análise e comunicação de todos os dados gerados num ambiente inteligente. No entanto, à medida que a Indústria 4.0 se torna cada vez mais uma realidade, é inevitável que conduza a uma nova série de mudanças de paradigma. Já se começa a notar a implementação de novos conceitos industriais baseados na descentralização da informação e da tomada de decisões. As organizações começam a avaliar as repercussões positivas na capacidade de resposta, autonomia e flexibilidade das instalações de fabrico. Novas gerações de equipamentos interconectados e autónomos, como *cobots* (robôs colaborativos), surgem cada vez mais (Beetz et al., 2015). Todos estes aspetos têm como objetivo satisfazer as necessidades humanas que não param de se diversificar (Badri, Boudreau-Trudel & Souissi, 2018).

À medida que esta tendência ganha impulso, é necessário colocar várias questões: A Segurança e Saúde no Trabalho (SST) tem tido a atenção adequada? Tendo em consideração a mudança de paradigma associado à Indústria 4.0, as consequências da SST (positivas e negativas) resultantes desta revolução industrial foram avaliadas convenientemente? As margens de lucro serão perdidas devido à proatividade? Torna-se imperativo iniciar uma reflexão no que diz respeito à integração dos princípios e normas da Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria 4.0 (Badri, Boudreau-Trudel & Souissi, 2018).

Badri, Boudreau-Trudel & Souissi (2018), concluíram que embora as publicações científicas sobre o tema Indústria 4.0 seja bastante significativo, o número de artigos que exploram a questão sobre como incorporar a SST na Indústria 4.0 é ainda reduzido, sendo que a maioria dos artigos evidencia as novas tecnologias que impulsionam esta revolução industrial, mencionando apenas de forma breve a saúde e a segurança do

trabalhador. Foi ainda verificado por Badri, Boudreau-Trudel & Souissi (2018), que os trabalhos de investigação publicados sobre a integração da Segurança e Saúde no Trabalho no contexto da Indústria 4.0 são raramente citados.

Badri, Boudreau-Trudel & Souissi (2018), salientam a preocupação premente relativamente ao aumento dos riscos no local de trabalho durante o período de transição para a Indústria 4.0, facto que poderá dever-se à produção em massa das tecnologias que impulsionam a Indústria 4.0 e as iniciativas referentes à Segurança e Saúde no Trabalho por parte dos fabricantes permanecerem negligenciadas. Como forma de ultrapassar esta barreira, os investigadores, os especialistas das diversas áreas envolvidas e os empresários terão de colaborar na implementação de medidas baseadas numa visão mais abrangente de gestão da mudança, de forma a garantir uma transição suave e segura para o novo paradigma.

2.4. A Ergonomia

A Ergonomia tornou-se um importante elemento de segurança, sendo que aproximadamente um terço do número total de queixas e das compensações dos trabalhadores envolvem lesões por esforços repetitivos, designadas por lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT). A Ergonomia é uma ciência muito abrangente, uma vez que aborda o desempenho do trabalho e a capacidade das pessoas para a realização de tarefas, incluindo as suas preferências e escolhas (Bruer, 2006).

Ergonomia provém das palavras gregas *ergon*, que significa trabalho, e *nomos*, que significa lei, ou seja, leis do trabalho (Bruer, 2006) ou, de acordo com Berlin e Adams (2017), ciências do trabalho. De acordo com Bruer (2006), a Ergonomia também pode ser definida como as relações entre as pessoas e uma variedade de objetos como equipamentos, ambientes, instalações, veículos, entre outros, relacionando também as capacidades e limitações humanas ao design de produtos, de sistemas e de ambientes.

De acordo com Panjaitan & Ali (2019), no campo da investigação, a Ergonomia encontra-se classificada essencialmente em três níveis ou tipos de abordagem: a macroergonomia, a microergonomia e a mesoergonomia, sendo que até o momento, a microergonomia e a macroergonomia encontram-se relacionadas com o design ergonómico.

Assim, a macroergonomia engloba diversas áreas, incluindo as dimensões estruturais do sistema de trabalho. Trata-se de uma abordagem bastante abrangente, pelo que deverá ser implementada em ambientes de grande dimensão, onde os sistemas de produção são

considerados como organizações do trabalho. Em desenvolvimentos subsequentes, a abordagem de design do sistema de trabalho encontra-se associada à estrutura organizacional, à interação humana e organizacional e aos aspetos motivacionais do trabalho. Nos sistemas industriais, esta abordagem é também denominada *Organizational Design* ou Desenho Organizacional (OD), e é usada no desenho de estruturas organizacionais e no relacionamentos entre os componentes dessas estruturas (Panjaitan & Ali, 2019).

A Microergonomia pode ser considerada como a Ergonomia num âmbito mais reduzido, contemplando atividades que se encontram relacionadas com a análise do trabalho ou a postura do trabalhador, estimando a produtividade, influenciando o design das ferramentas de trabalho, a fisiologia do trabalho, a biomecânica do trabalho, o ambiente físico, a antropometria, os percentis, o tempo padrão, entre outros. Assim, microergonomia consiste numa abordagem ergonómica focada em processos específicos, estando mais voltada para o projeto de sistemas de trabalho que destacam a relevância da adequação das capacidades humanas aos trabalhos/tarefas a desempenhar (Panjaitan & Ali, 2019).

A mesoergonomia encontra-se entre a microergonomia e a macroergonomia, sendo que os limites são desconhecidos. Esta abordagem abrange as relações entre os indivíduos, as organizações e os sistemas sociotécnicos. Na conceção do sistema de trabalho, o principal fator a ser considerado como centro das atenções é o fator humano. A abordagem no desenho industrial é o Desenho Integrado Humano, que utiliza todas as informações sobre o ser humano, sendo integrado como base para um desenho de sistema (Panjaitan & Ali, 2019).

Em termos de áreas de especialização, de acordo com a Associação Internacional de Ergonomia (IEA), existem três domínios largamente abrangentes na Ergonomia, os quais representam as competências mais profundas em termos de atributos humanos específicos ou características da interação humana. Os domínios de especialização na área de Ergonomia são (IEA, n.d.; Gualtieri et al., 2020a):

- **A Ergonomia Física** que se ocupa com as características anatómicas, antropométricas, fisiológicas e biomecânicas relativamente à atividade física. Os aspetos mais relevantes incluem as posturas de trabalho, o manuseamento de materiais, os movimentos repetitivos, os distúrbios músculo-esqueléticos relacionados com o trabalho, com o *layout* do local de trabalho e com a segurança e saúde. Os princípios da Ergonomia física, para além da sua aplicação no design de

locais de trabalho, são também amplamente utilizados no desenvolvimento de produtos industriais e design de produtos de consumo.

- **A Ergonomia Cognitiva** tem o seu foco de atuação nos processos mentais, como a percepção, a memória, o raciocínio e a resposta motora, uma vez que estes afetam as interações entre os seres humanos e os outros elementos de um sistema. Os aspetos mais relevantes incluem a carga de trabalho mental, a tomada de decisão, o desempenho qualificado, a interação homem-computador, a confiabilidade humana, o stress no trabalho e a formação, pois estes tópicos podem estar relacionados ao design homem-sistema.
- **A Ergonomia Organizacional** estuda a otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo as suas estruturas organizacionais, políticas e processos. Os tópicos relevantes incluem a comunicação, a gestão de recursos humanos, o design do trabalho, design de horários de trabalho, o trabalho em equipa, o design participativo, a Ergonomia comunitária, o trabalho cooperativo, os novos paradigmas do trabalho, as organizações virtuais, o teletrabalho e a gestão da qualidade.

No campo da Ergonomia, existem três principais tipos de relações, as quais estão de certa forma inter-relacionadas: o desempenho, a segurança e a saúde, e a satisfação. O desempenho tenta estender as capacidades das pessoas, de forma a melhorar a produtividade e reduzir os erros, a segurança e a saúde encontram-se inter-relacionadas e procuram minimizar os acidentes e as lesões decorrentes das limitações humanas, enquanto que a satisfação envolve o design dos objetos que as pessoas julgam confortáveis, desejáveis, convenientes e agradáveis (Bruer, 2006).

Habitualmente, a classificação da Ergonomia engloba a distinção entre Ergonomia de Conceção e de Correção (Freitas, 2019).

A Ergonomia de conceção visa a introdução de conhecimentos sobre o homem, desde a fase de projeto do posto de trabalho, do equipamento ou do sistema produtivo (Freitas, 2019).

A Ergonomia de correção tem como propósito a melhoria das condições de trabalho existentes, sendo frequentemente parcial, pois apenas permite a alteração de um ou de

alguns elementos do posto de trabalho, ou seja, não permite uma intervenção global e estruturante (Freitas, 2019).

Por outro lado, a Ergonomia pode ser classificada de acordo com o objeto de intervenção (Freitas, 2019):

- **A Ergonomia de Produção** que tem como propósito a adaptação das condições organizacionais, ambientais e inerentes ao posto de trabalho, de modo a torná-las mais ajustadas às características, capacidades e limitações dos trabalhadores.
- **A Ergonomia de Produto** encontra-se associada à conceção e design de novos produtos, acompanhando a estratégia de desenvolvimento numa perspetiva de projeto global, incluindo todas as etapas do ciclo de vida do produto: o conceito, a produção, a comercialização e utilização, bem como a reciclagem, a reutilização ou a eliminação.

Deste modo, a Ergonomia, na vertente da conceção, exige, por parte dos designers, a compreensão do comportamento humano, da fisiologia, da cinesiologia, da biomecânica e de outros campos dentro do âmbito das características humanas, de forma a proporcionar a sua aplicação, de uma forma abrangente, na criação de locais de trabalho, móveis, veículos, edifícios, equipamentos e produtos informativos para uso humano (Bruer, 2006).

Em termos históricos, existem indícios sobre a aplicação, do que hoje consideramos, como, princípios ergonómicos, a partir do ano 400 AC, mais concretamente na Grécia antiga (COEH, 2018). No entanto, foi nos anos 40, durante a Segunda Guerra Mundial, que a Ergonomia foi desenvolvida em grande medida, a partir da aviação e de outras áreas militares. As tarefas críticas ao pilotar uma aeronave exigiam informações eficazes e operações de controlo sem erros (Bruer, 2006).

Nos anos 80, a aplicação da Ergonomia ao ambiente de escritório acompanhou o crescimento dos microcomputadores e, em 1985, a Ergonomia ganhou mais atenção na segurança ocupacional devido ao aumento rápido e significativo das queixas devido às lesões músculo-esqueléticas (Bruer, 2006).

No ano 2000, a IEA decidiu fortalecer a relevância industrial da Ergonomia, destacando o facto da Ergonomia não se focar apenas no bem-estar humano, mas também na eficiência, desempenho e produtividade do trabalho de sistemas com máquinas. Havia

também a necessidade de assinalar a igualdade entre os termos Ergonomia e Fatores Humanos, já que ambos foram usados para significar preocupações semelhantes (Berlin & Adams, 2017).

A Ergonomia tornou-se um termo bastante comum e a sua aplicação continua a crescer. Deste modo, a Ergonomia, a Engenharia de Fatores Humanos e a Engenharia Humana são virtualmente as mesmas, embora algumas diferenças subtis possam ser discutíveis, por exemplo os países escandinavos e a indústria de montagem manual têm tendência a usar o termo Ergonomia, enquanto o termo Fatores Humanos é mais predominante na corrente anglo-saxónica. Por esta razão, a Associação Internacional de Ergonomia decidiu adotar uma definição que refere a Ergonomia e os Fatores Humanos como sinónimos (FEES, 2015). Assim, a Ergonomia ou Fatores Humanos é definida como sendo a disciplina científica preocupada com a compreensão das interações entre o ser humano e outros elementos de um sistema, e a respetiva profissão que aplica a teoria, os princípios, os dados e os métodos no design, com vista à otimização do bem-estar humano e o desempenho geral do sistema (Bruer, 2006; Berlin & Adams, 2017).

O ambiente de trabalho pode afetar o desempenho de um trabalhador de diferentes formas, desde danos à saúde até os efeitos que reduzem a capacidade do indivíduo para realizar uma tarefa, ou aqueles que causam insatisfação e atitudes não cooperativas (Sánchez, 2014). O âmbito da Ergonomia engloba, para além da necessidade de atender às dimensões corporais para a conceção de máquinas, aparelhos e mobiliário, também inclui exigências em termos de ambiente, de organização e de conteúdos de trabalho, pois pensar e agir de forma ergonómica implica uma consideração global das relações entre o homem e o trabalho (Freitas, 2019).

A Ergonomia preconiza de igual modo, uma ação sobre os sistemas, processos e produtos, tornando-os adequados às características do homem e ao seu modo de funcionamento, assim como uma ação sobre o homem, através da informação e da formação, de forma a dotá-lo de competências para enfrentar as transformações de trabalho associadas à alteração/evolução da tecnologia (Freitas, 2019).

Em suma, a Ergonomia não deverá exigir apenas que trabalho não seja prejudicial, mas que também seja criativo e gratificante para o desempenho (Freitas, 2019).

As consequências mais comuns provenientes das características ergonómicas adversas do trabalho são os distúrbios músculo-esqueléticos. Estes distúrbios fazem parte das

doenças profissionais mais comuns na população ativa (Schneider & Irastorza, 2010; Niu, 2010), afetando significativamente a capacidade de execução de trabalhos, reduzindo conseqüentemente a produtividade. Além disso, as evidências mostram que estes distúrbios têm um grande impacto ao nível mundial no que respeita ao absentismo e à elevada proporção de dias perdidos. Em resumo, as doenças e lesões resultantes dos riscos ergonómicos representam uma carga económica considerável para os empregadores, trabalhadores e para toda a sociedade em geral, pelo que deve ser objeto de preocupação (Sánchez, 2014).

As lesões músculo-esqueléticas estão relacionadas com os fatores de risco inerentes às condições de trabalho (posturas e movimentos, repetitividade, força exercida, vibração, temperatura, etc.), ao design do local de trabalho (ferramentas e máquinas, dimensões, distâncias, etc.), assim como à fatores individuais como a idade, o género, a condição física, etc. (Sánchez, 2014).

Os principais riscos ergonómicos no local de trabalho incluem os esforços repetidos, intensivos e prolongados, o frequente levantamento manual de cargas, as atividades de empurrar, puxar ou o transporte de objetos pesados, as posturas estáticas ou desconfortáveis, as vibrações de corpo inteiro ou transmitidas ao sistema mão braço, os ambientes térmicos inadequados e a iluminação insuficiente ou imprópria. Os riscos no local de trabalho podem ser agravados por especificidades da organização do trabalho, como a seleção inadequada do horário de trabalho e descanso, frequência e/ou horas de trabalho excessivas, alteração do trabalho, tarefas monótonas, trabalho mecanizado e trabalho pago por peça produzida (Gyula, 2014).

A desconsideração dos fatores ergonómicos pode originar doenças cumulativas decorrentes de movimentos corporais repetidos, esforços, posturas incorretas, vibrações, e movimentos incorretos. Os problemas relacionados com a Ergonomia causam conseqüentemente uma baixa produtividade, produtos de má qualidade ou ainda a insatisfação do colaborador (Gyula, 2014).

2.4.1. A Ergonomia e a Indústria 4.0

À luz da Indústria 4.0, a interação homem-robô está intimamente relacionada com a tecnologia Ciber-Física da Indústria 4.0, e é crucial uma vez que possibilita a execução de tarefas em colaboração com operadores humanos através das apropriadas configurações industriais, o que implica que o design das máquinas permita interações físicas homem-robô seguras, num ambiente de trabalho comum (Gualtieri et al., 2020b).

Com base na análise de conteúdo da literatura científica sobre a segurança e a Ergonomia na robótica colaborativa industrial, Gualtieri, Rauch & Vidoni (2020) identificaram e agruparam em categorias, *clusters* e *subclusters* as diversas áreas de investigação emergentes relacionadas com o tema Segurança no Trabalho e Ergonomia na Indústria 4.0, conforme ilustrado na Figura 18.

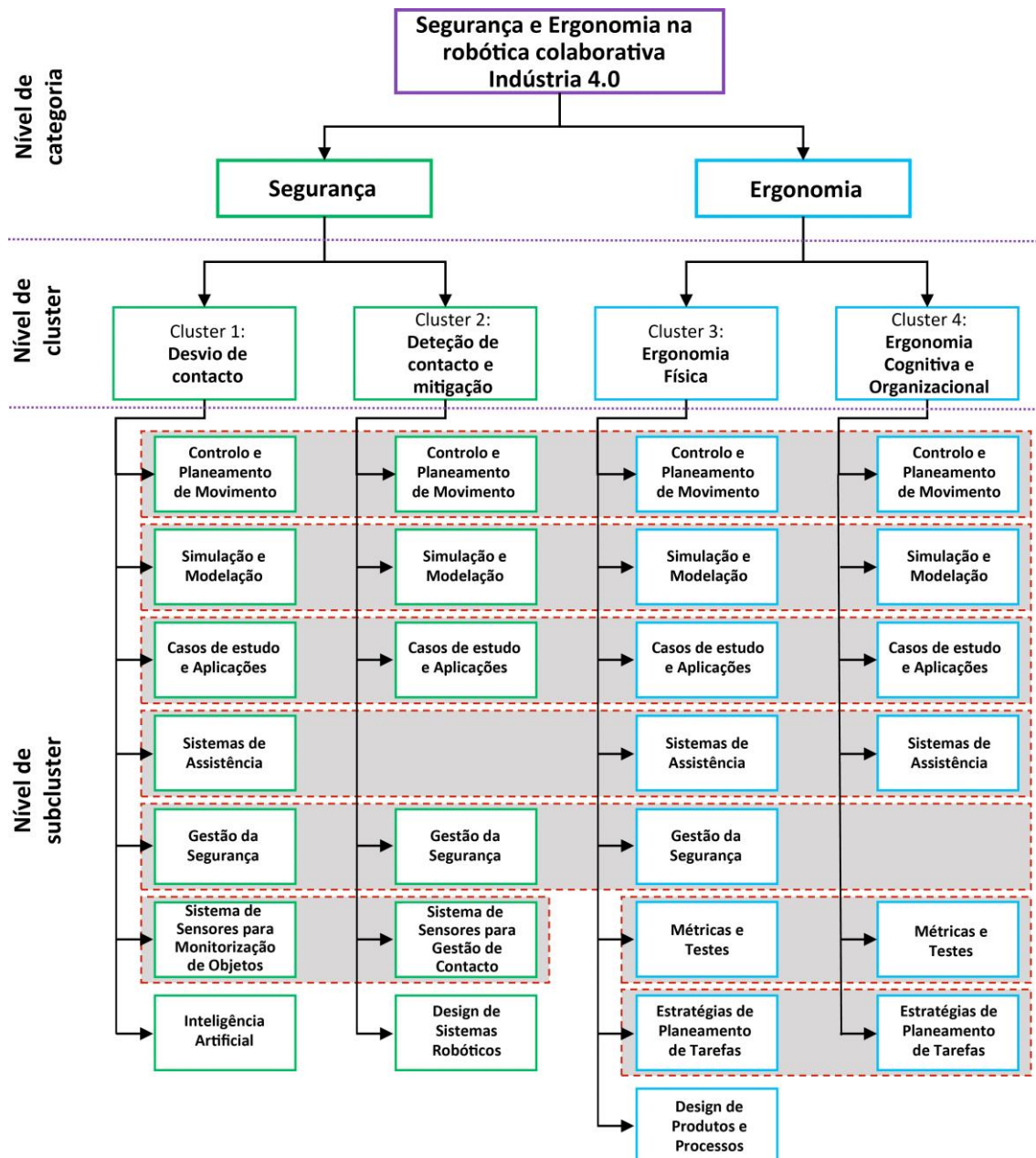


Figura 18 - Diagrama ilustrativo das categorias, clusters e subclusters das diversas linhas de investigação emergentes sobre o tema segurança e Ergonomia na robótica colaborativa industrial (Gualtieri, Rauch & Vidoni, 2020).

É de salientar que os estudos sobre o desvio, a deteção e a mitigação de contacto focam-se essencialmente no planeamento e controlo de movimento, ou seja, na determinação

de localizações e trajetórias entre humanos e robôs em ambientes colaborativos, e entre robôs em ambientes totalmente automatizados, de modo a prevenir os acidentes resultantes de colisões, garantindo assim a segurança dos operadores.

No âmbito das interações humanos-robôs industriais, a Ergonomia Física trata dos princípios de redução da carga de trabalho biomecânica das atividades, através da utilização de robôs colaborativos como ferramentas avançadas para a melhoria do bem-estar físico dos operadores. Por outro lado, a Ergonomia Cognitiva está relacionada com os princípios da aceitabilidade da interação, minimizando a sobrecarga cognitiva, o stress e o desconforto psicológico a que operadores podem ser submetidos quando trabalham em espaços colaborativos. Por outro lado, a Ergonomia Organizacional refere-se à otimização dos sistemas técnicos sociais em termos de estruturas, políticas e processos organizacionais (Gualtieri, Rauch & Vidoni, 2020).

No que diz respeito ao problema crítico nas interações homem-robô, existe a necessidade de garantir uma interação segura e ergonómica, possibilitando simultaneamente uma elevada produtividade (Figura 19). Estes requisitos obrigatórios estão estritamente relacionados com as características do produto, com o ciclo de montagem, com as necessidades psicofísicas do operador, com o recurso à sistemas robóticos e com o *layout* da área de trabalho (Gualtieri et al., 2020b).

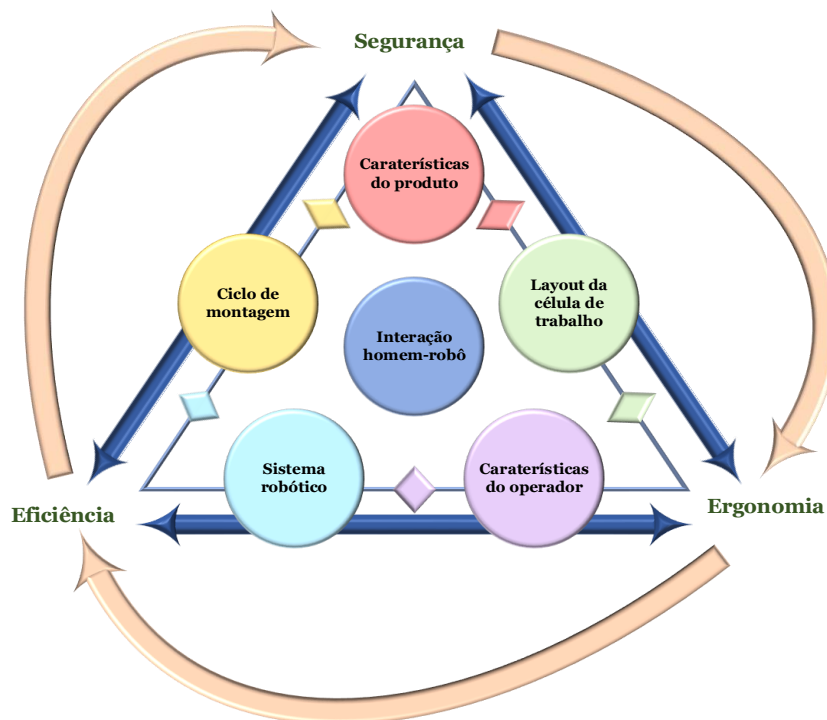


Figura 19 - Relação dos requisitos de interação homem-robô a considerar num conceito integrado de design de produto/processo (Gualtieri et al., 2020b).

A integração dos requisitos de projeto do produto e do processo em termos de segurança no trabalho e de Ergonomia deve ser combinada adequadamente com as restrições relacionadas com a eficiência da produção. Esta integração é necessária para todas as atividades do ciclo de vida do produto que potencialmente impliquem interações homem-robô (Gualtieri et al., 2020b).

Gualtieri, Monizza, Rauch, *et al.* (2020), estabeleceram pela primeira vez, diretrizes de apoio aos designers para uma melhor definição das características dos produtos, de acordo com os requisitos do processo de montagem que impliquem a interação homem-robô. Assim, de acordo com os conceitos apresentados, nos projetos devem ser implementadas as diretrizes de acordo com a seguinte ordem: segurança em primeiro lugar, Ergonomia (física e cognitiva) em segundo e a eficiência em terceiro lugar.

Por outro lado (Gualtieri et al., 2020c), contribuíram para o desenvolvimento futuro de uma metodologia simples para a avaliação das aplicações tecnológicas existentes, bem como de novas ideias de design com base no cumprimento de diferentes parâmetros contidos numa lista de verificação. Do ponto de vista da Segurança e Saúde no Trabalho, esta lista de verificação também fornece um *feedback* geral sobre as não conformidades relativamente aos requisitos essenciais e obrigatórios constantes na Diretiva de Máquinas (Diretiva n.º 2006/42/CE). É de salientar que a aplicação da metodologia de Gualtieri et al. (2020c) em Portugal, implica uma abordagem ao Decreto-lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro, relativo às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho.

Gašová, Gašo & Štefánik (2017), desenvolveram uma ferramenta inovadora baseada no conceito da Indústria 4.0, a qual consiste numa aplicação móvel que permite efetuar a avaliação das condições da área de trabalho e das posições de trabalho em ambientes com níveis de risco elevados. A aplicação foi desenvolvida com base nas normas técnicas da *International Organization for Standardization* (ISO), bem como na legislação Europeia e nacional em vigor na Croácia, sendo colocada em prática com apoio da Realidade Virtual e Aumentada. De entre os vários problemas encontrados, os mais significativos estavam relacionados com a necessidade de processamento de grandes quantidades de informação, decorrentes do resultado de avaliações e análises individuais, assim como com a partilha desses dados dentro dos departamentos e a interconexão dos sistemas de avaliação de primeiro e segundo nível (Gašová, Gašo & Štefánik, 2017).

Torna-se pertinente criar um sistema lógico complexo para a identificação e avaliação dos riscos ergonômicos. De acordo com a Figura 20, as ferramentas do primeiro, do segundo e talvez também do terceiro nível, deverão estar interligadas e todo o sistema ajustado, de forma a que durante cada mudança que ocorra no local de trabalho ou na operação de trabalho, todo o sistema de avaliação se autoconfigure e proceda à atualização dos dados de acordo com as alterações efetuadas (Bubeník & Horák, 2014).

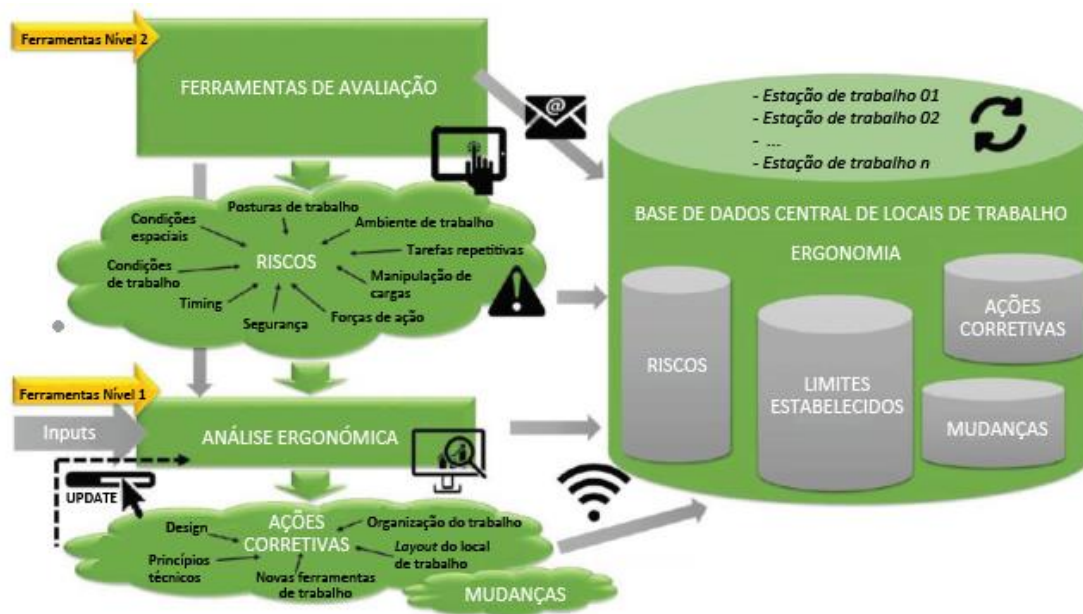


Figura 20 - Integração de ferramentas ergonômicas no universo da Indústria 4.0 (Gašová, Gašo & Štefánik, 2017).

Todo o sistema deverá estar *online*, ligado à *interface* visual da aplicação. Nesta sequência, perante alterações das condições de trabalho, os colaboradores envolvidos deverão ser informados de imediato sobre as novas condições que surgirem e sobre a sua influência nos operadores, de acordo com as análises realizadas e com os requisitos de alteração técnico-organizacional (Gašová, Gašo & Štefánik, 2017).

Num futuro sistema a ser desenvolvido, deverão ser contemplados os operadores da área produção/montagem, os processos de produção, as atividades de logística, assim como outras atividades indiretas, como a manutenção e as funções administrativas. Assim será possível, no futuro, dentro das exigências cada vez maiores de volume e diversidade de produtos e serviços, garantir um ambiente de trabalho adequado e a realização das atividades de acordo com os fundamentos da Ergonomia e da produtividade (Gašová, Gašo & Štefánik, 2017).

2.4.2. A Ergonomia e as Soluções Robóticas

A tecnologia robótica tem vindo a evoluir significativamente devido ao aparecimento e à popularidade da Indústria 4.0. De acordo com Gao et al. (2020), está previsto que a próxima geração robótica, e tecnologias associadas, desempenharão um papel mais significativo para satisfazer as necessidades dinâmicas da produção industrial colaborativa e inteligente, no contexto da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas Industrial.

De modo a contribuir para o desenvolvimento de melhores condições ao nível da Ergonomia, as soluções robóticas deverão cooperar na redução dos níveis de stress ocupacional (Unger, Markert & Müller, 2018), sendo que, de acordo com a norma ISO 6385:2016, o stress de trabalho está relacionado com as condições externas e exigências num sistema de trabalho que influenciam a carga física e/ou mental de uma pessoa, enquanto que a tensão de trabalho representa a resposta interna de um trabalhador ao ser exposto à carga de trabalho externa, dependendo das suas características individuais, tais como o tamanho corporal, a idade, capacidades, competências, etc. (ISO, 2016a).

2.4.2.1. Exosqueletos

Após a evolução da Indústria 4.0, surgiu o conceito de Operador 4.0 (O4.0), o qual considera que os trabalhadores utilizam tecnologia avançada, por exemplo exosqueletos vestíveis, os quais foram recentemente introduzidos como uma intervenção alternativa no local de trabalho (Karvouniari et al., 2018).

Romero et al. (2016), p.1, definiram o Operador 4.0 como "um operador inteligente e com competências adequadas" que realiza "trabalho auxiliado" por máquinas quando necessário. Este progresso é alcançado através de sistemas Ciber-físicos, de tecnologias avançadas de interação homem-máquina e da automatização adaptativa para "sistemas de trabalho de simbiose de automação humana" (Romero et al., 2016, p.2).

Por outro lado, (Zolotová et al., 2020) estabeleceram o termo Operador Inteligente (*Smart Operator*) como sendo um operador, que utiliza os benefícios da tecnologia para intervir no processo de produção de uma forma mais eficiente, uma vez que apenas lhe serão transmitidas as informações mais relevantes ao contexto em que o operador se encontra inserido, através do módulo de interface *Machine to People* (M2P). Assim, o operador inteligente enriquece o mundo real através da realidade virtual e aumentada, estabelece interações cognitivas através de um assistente pessoal inteligente e das redes

sociais, analisa os dados adquiridos, usa sistemas de monitorização e trabalha com robôs para obter uma vantagem adicional.

Assim, o Operador 4.0 representa um novo design e filosofia de engenharia para sistemas de produção adaptativos, onde o foco reside em tratar a automatização como um aperfeiçoamento adicional das capacidades físicas, sensoriais e cognitivas do ser humano mediante a integração do sistema Ciber-físico (Romero et al., 2016).

De acordo com Posada et al. (2018), é expectável que a tecnologia preste apoio:

- Aos operadores que executam tarefas num determinado processo/fluxo de trabalho;
- À compreensão e à tomada de decisões;
- Na aprendizagem com a atividade dos operadores, de modo a prever situações específicas, otimizar o processo e melhorar a organização da *Smart Factory*.

Com base nas atuais tecnologias, um operador poderá utilizar uma ou várias soluções disponíveis. Relativamente a este aspeto, Zolotová et al. (2020), apresentaram quatro estudos de caso que mostram a possibilidade de como implementar as tipologias de operadores 4.0 em cenários reais. De acordo com Gazzaneo, Padovano & Umbrello (2020), vários trabalhos de investigação têm vindo a desenvolver-se relativamente às tecnologias vocacionadas para utilização por parte dos operadores 4.0, desde a realidade virtual e realidade aumentada, passando pelos exosqueletos e robôs colaborativos, até ao suporte à produção via redes sociais.

A emergência do Operador 4.0 deu origem ao termo Operador Saudável 4.0 (*Healthy Operator 4.0*), o qual é caracterizado por fazer uso de soluções vestíveis inteligentes (ou seja, sistemas de monitorização vestíveis para métricas relacionadas à saúde), incluindo os recursos de análise de dados em conjunto com tecnologias avançadas de Interfaces Homem-Máquina (HMI) e Homem-Automatização (HAI), de modo que, através dos dados fisiológicos recolhidos, possam ser desenvolvidos modelos que contribuam para o impulsionamento de uma mudança positiva na melhoria da produtividade, bem-estar e medidas de segurança proactivas nos locais de trabalho inteligentes (Romero et al., 2018).

O Operador Saudável 4.0 surgiu dentro da tipologia Operador 4.0, em resposta às crescentes preocupações sobre o aumento dos níveis de stress da força de trabalho e estado de saúde psicológica. Além disso, o conceito de Operador Saudável 4.0 aborda os

potenciais novos riscos físicos presentes em ambientes de produção Ciber-físicos emergentes, os quais são superados mediante a introdução de novas tecnologias da Indústria 4.0 (por exemplo, robôs autônomos e colaborativos, realidade aumentada e realidade virtual, inteligência artificial, *Big Data Analytics*, Internet das Coisas, etc.) e pela incorporação de novos métodos de trabalho (Romero et al., 2018).

Os exosqueletos fazem parte de um tipo de tecnologia adequada para a melhoria da eficácia da produção industrial. Segundo Karvouniari et al. (2018), um exosqueleto pode ser definido como uma estrutura mecânica externa vestível que é projetada para trabalhar em conjunto com o ser humano, com o objetivo de proporcionar apoio ou otimizar as suas capacidades e reduzir potenciais riscos ergonômicos (Figura 21).

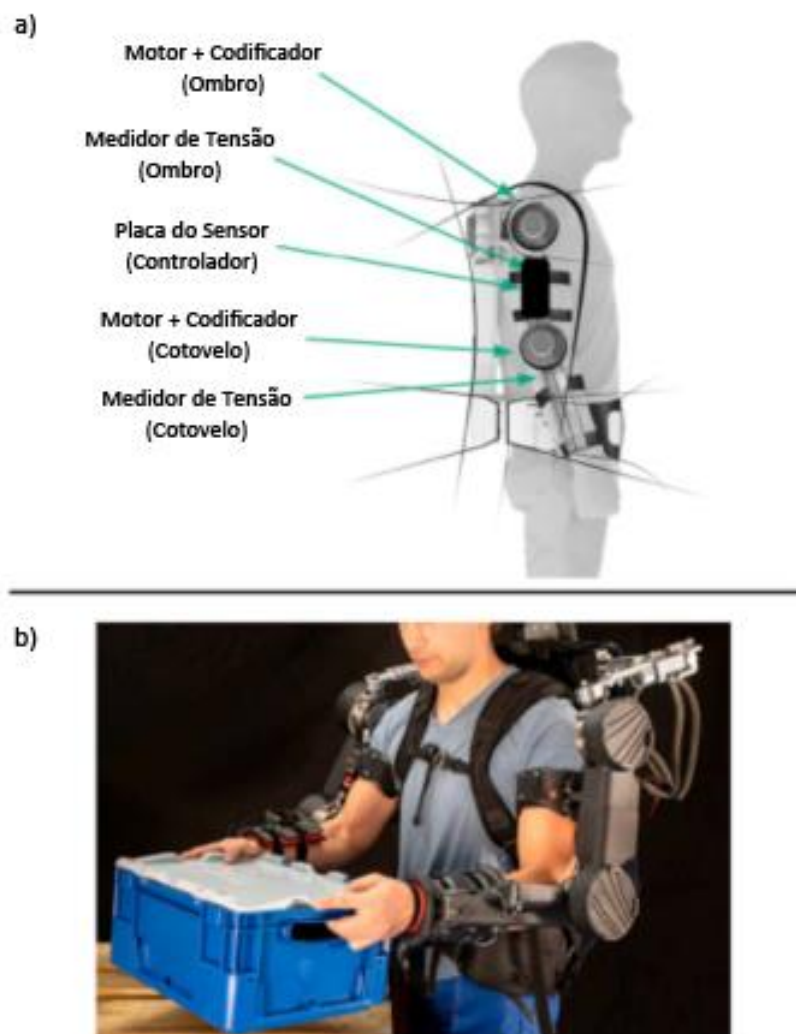


Figura 21 - a) Arquitetura eletrônica do exosqueleto modelo SEJ2.0: distribuição de sensores e atuadores, b) Modelo SEJ2.0 utilizado durante as tarefas de levantamento e transporte de cargas (Bances et al., 2020).

Os exosqueletos que formam uma cadeia cinemática em contato próximo com o corpo humano, podem fornecer suporte, rigidez, proteção ou aumento de força e/ou

sensibilidade. Podem ainda, cobrir os membros inferiores, os membros superiores ou ambos. Estes dispositivos podem ser passivos, fornecendo suporte ou proteção, ou podem ser ativos, fornecendo força adicional (Karvouniari et al., 2018).

Na indústria, os exosqueletos são predominantemente utilizados na área de produção, cujo objetivo prende-se com a redução dos riscos ergonómicos a que os trabalhadores se encontram expostos, refletindo-se conseqüentemente num aumento da produtividade e eficiência. A seleção dos exosqueletos mais adequados é normalmente efetuada de modo subjetivo, dependendo da área de trabalho, e do trabalhador. Deste modo, torna-se imperativo que a escolha da solução mais adequada seja fundamentada cientificamente, seja objetiva e tratada na forma de processo flexível (Dahmen & Constantinescu, 2020).

A Figura 22 ilustra um exemplo de um exosqueleto criado para auxiliar os membros inferiores do corpo, a cadeira *Chairless*, cujo intuito é permitir que os trabalhadores se sentem sem forçar os músculos. Trata-se de uma solução vocacionada para a execução de tarefas na posição em pé por longos períodos, como caso de uma linha de montagem de uma das fábricas da Audi (Stinson, 2015).

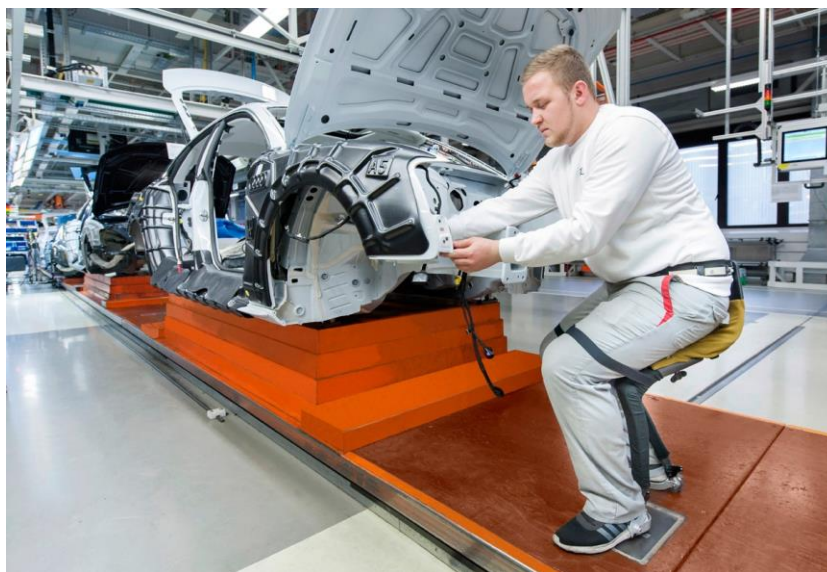


Figura 22 - Exemplo de exosqueleto utilizado para auxiliar os membros inferiores - A cadeira *Chairless* (Stinson, 2015).

O design é simples, sendo baseado numa estrutura de titânio envolve a parte de trás da perna do trabalhador (Figura 22), como uma cinta flexível, enquanto um cinto de suporte é amarrado ao redor do torso. Os trabalhadores podem ficar em pé e andar livremente, no entanto, quando se querem sentar, o colaborador carrega num botão para travar a

estrutura no ângulo desejado. O peso do corpo é transferido através da estrutura para o chão ou para os calcanhares (Stinson, 2015).

Na Figura 23 encontra-se ilustrado outro exemplo de exosqueleto, utilizado na oficina de prensas da fábrica da Audi, em Neckarsulm, o qual se destina auxiliar os membros superiores do corpo do operador.

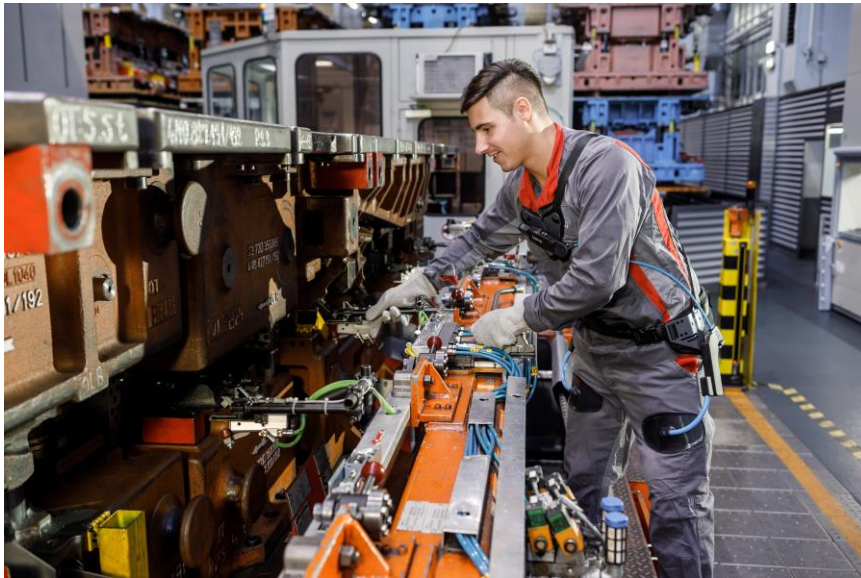


Figura 23 - Modelo de exosqueleto utilizado durante a preparação de uma prensa (Audi Mediacenter, 2017).

O exosqueleto proporciona apoio físico aos funcionários na produção e logística, incluindo o levantamento e transporte de materiais pesados. Ao preparar a prensa de transferência (Figura 23), um funcionário usa o exosqueleto na oficina de prensas da fábrica (Audi Mediacenter, 2017).

Embora vários exosqueletos para utilização em contexto laboral estejam disponíveis comercialmente, e já tenham sido introduzidos em alguns ambientes ocupacionais, tem havido poucos estudos de investigação relativamente aos benefícios, às desvantagens e às potenciais compensações relativamente à sua utilização, sendo que muitos conceitos ainda não foram testados além do contexto laboratorial (Karvouniari et al., 2018).

Relativamente aos benefícios, a Figura 24, mostra dois protótipos de exosqueletos mecânicos, cujo o objetivo é transferir parte do peso dos braços do utilizador para as ancas quando são realizadas tarefas acima do nível da cabeça. Assim, é possível obter uma redução da tensão nos músculos e das articulações da região dos ombros. É de salientar que os referidos exosqueletos são usados nos ombros, como uma mochila, e fixados ao corpo através de um cinto colocado à volta da cintura (Ridden, 2019).



Figura 24 - Colaboradores da Audi a testar exoesqueletos na realização de tarefas acima do nível da cabeça (Ridden, 2019).

No que concerne às desvantagens, de acordo com Theurel et al. (2018), embora o uso de exoesqueletos, como o caso dos sistemas vocacionados para o apoio dos membros superiores, pareça ser benéfico na redução da carga de trabalho dos músculos flexores do ombro, de um modo particular, durante as tarefas que implicam movimentos de levantar, baixar e empilhar/desempilhar caixas, os benefícios induzidos por este tipo de dispositivo proporcionam também consequências fisiológicas amplas, como o aumento da atividade muscular antagonista, o aumento das tensões posturais, a exigência cardiovascular e até mesmo as alterações na cinemática dos membros superiores. Por esta razão, é essencial haver mais desenvolvimentos tecnológicos, de forma a limitar as repercussões negativas desta categoria de dispositivo auxiliar.

Assim, a integração dos exoesqueletos em ambientes industriais apresenta grandes desafios, tal como o desenvolvimento dos próprios protótipos (Karvouniari et al., 2018).

O desenvolvimento de protótipos pode ser realizado através de uma intervenção de Ergonomia Participativa aliada a uma abordagem de *Design Thinking*. Por um lado, a Ergonomia Participativa proporciona o envolvimento ativo dos trabalhadores no processo de desenvolvimento e implementação de soluções mais adequadas, nomeadamente através da colocação em prática de sistemas em fase piloto (Figura 24), sendo que os trabalhadores se encontram numa melhor posição para identificar e analisar os problemas de uma forma mais eficaz. Deste modo, a Ergonomia Participativa é descrita como um conceito complexo e diverso, é vista como um termo genérico que abrange um conjunto de diferentes ideias e experiências, sendo frequentemente considerada, não como o objetivo propriamente dito, mas sim como um meio para atingir um determinado objetivo (Burgess-Limerick, 2018; Tappin, Vitalis & Bentley, 2016).

Por outro lado, o *Design Thinking* cujo foco reside no utilizador, que neste caso é o colaborador, tem como intuito a determinação de problemas e necessidades ocultas, envolvendo os utilizadores nos processos e sistemas em desenvolvimento (Lahiri, Cormican & Sampaio, 2021), através da criação de empatia com aqueles que experienciam a situação no seu quotidiano, recolhendo ideias sobre as suas experiências, conduzindo inclusivamente sessões de *brainstorming* para geração de ideias, as quais contribuem para a implementação de abordagens de maneira célere (Albay & Eisma, 2021).

2.4.2.2. Robôs Autónomos e Robôs Colaborativos (*Cobots*)

A utilização de robôs no processo de fabrico (Figura 25) é algo bastante frequente, sendo que estas máquinas também estão sujeitas a melhorias e evolução ao longo do tempo. Assim, existe uma forte tendência em tornar os robôs autossuficientes, autónomos e interativos, de modo que não sejam simplesmente ferramentas usadas pelos humanos, mas que sejam unidades de trabalho integradas que funcionem ao lado dos humanos (Gilchrist, 2016).

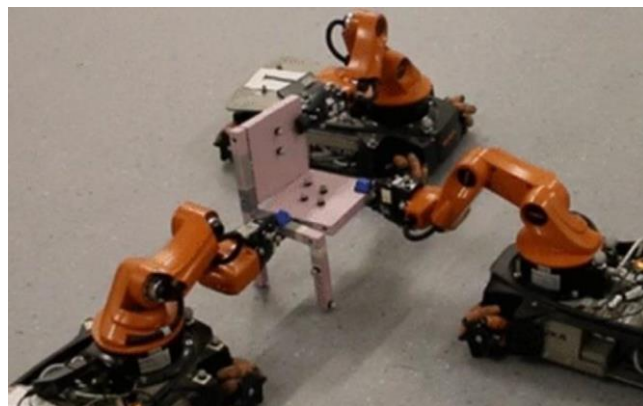


Figura 25 - Robôs autónomos configurados para a realização de montagens (Alcácer & Cruz-Machado, 2019).

Relativamente à implementação de Robôs Colaborativos ou *Cobots*, estes dispositivos proporcionam sistemas de produção mais flexíveis devido ao seu baixo custo, fácil configuração, fácil programação e segurança de utilização. Foi demonstrado que estes dispositivos também podem aumentar a produtividade e expandir a automatização para novas aplicações (Salunkhe et al., 2019). Para além destas vantagens, a maior disponibilidade de *Cobots* no mercado e o preço mais reduzido, favorecem a sua utilização na automatização de tarefas para fabrico de produtos de médio e baixo volume, sendo que o nível de automatização geralmente difere entre as diferentes etapas do sistema de produção (Fast-Berglund et al., 2016).

Os *Cobots* fazem parte de um tipo de robô que se destina a estabelecer uma interação direta com humanos, trabalhando ao seu lado sem barreiras de proteção (Figura 26). Embora a palavra “*Cobot*” tenha sido criada pelo Professor Michael Peshkin e pelo Professor J. Edward Colgate em 1999 (Colgate, Witaya & Peshkin, 1999), somente quinze anos mais tarde os *Cobots* se tornaram realmente populares.

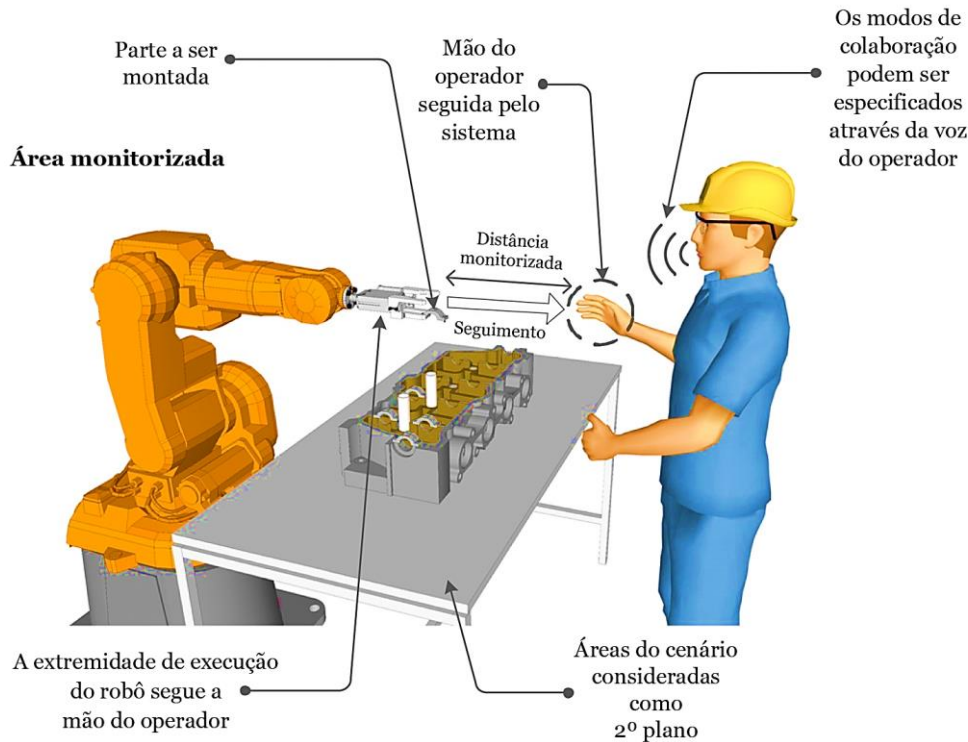


Figura 26 - Exemplo de um cenário de colaboração multimodal simbiótica humano-robô (Wang et al., 2019).

A utilização da automatização sempre contribuiu para a melhoria da qualidade e produtividade dos sistemas de produção, para a eliminação de posturas ergonômicas inadequadas por parte dos operadores humanos e para o aumento da flexibilidade, sendo que o mesmo tipo de resultado é esperado após a instalação de *Cobots* nas linhas de montagem (Salunkhe et al., 2019).

A segurança humana é um dos aspetos mais importantes a considerar em ambientes onde predominam os sistemas de interação homem-robô. Assim, um design de segurança intrínseca e funcional apropriado deve ser aplicado aos robôs colaborativos, com vista na redução dos potenciais riscos de lesão humana, no decurso da interação física homem-robô (Teixeira et al., 2019).

Torna-se pertinente a definição e desenvolvimento de uma abordagem abrangente, para a avaliação da segurança das aplicações que englobam a colaboração homem-robô que, de acordo com Teixeira et al. (2019), devem incluir:

- O cumprimento das normas de análise de risco e segurança robótica;
- A garantia da ausência de situações perigosas imprevistas durante a concepção dos sistemas, mediante uma verificação formal;
- O foco nos perigos inerentes aos comportamentos dos operadores;
- A estimativa da gravidade do perigo identificado como um valor quantificado. O risco identificado deve ser calculado com base numa análise detalhada de todo o sistema;
- A sugestão de tratamentos adequados, conhecidos como medidas de redução de risco, que diminuem o risco até um limite insignificante.

2.4.3. A Ergonomia e a Inteligência Artificial

Embora a origem da Inteligência Artificial remonte à década de 1950, quando o matemático britânico Alan Turing colocou a questão "As máquinas podem pensar?". O matemático afirmou que, para que uma máquina seja inteligente, ela precisará de "aprender com a experiência", provavelmente com as experiências a que a máquina será submetida. Em 1986, o matemático americano John McCarthy descreveu o termo Inteligência Artificial como sendo "a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes". Mais recentemente, de acordo com norma internacional (ISO/IEC 2382: 2015), a Inteligência Artificial (IA) é definida como "a capacidade de uma unidade funcional realizar funções que geralmente estão associadas à inteligência humana, como raciocínio e aprendizagem" (Anastasi, Madonna & Monica, 2021).

Por outro lado, o termo *Machine Learning* (ML) refere-se a um subcampo da Inteligência Artificial, o qual é definido como a área de estudo que oferece aos computadores a capacidade de aprender sem serem explicitamente programados. De acordo com a ISO/IEC 38505-1: 2017, *Machine Learning* é "o processo que usa algoritmos, em vez de uma codificação processual, possibilitando a aprendizagem a partir de dados existentes para prever resultados futuros". A Inteligência Artificial é uma área emergente no que respeita às aplicações industriais, sendo que as técnicas de inteligência artificial (IA) têm recebido uma crescente atenção por parte da academia e da indústria (Anastasi, Madonna & Monica, 2021).

Através da inteligência artificial é possível entender melhor os padrões à nossa volta. Assim, através de grandes conjuntos de dados, os algoritmos de *Machine Learning*, em conjunto com as técnicas estatísticas avançadas, podem encontrar padrões dentro dos conjuntos de dados complexos. Esta funcionalidade proporciona ótimas aplicações para ajudar a entender as queixas relacionadas com lesões, assim como os fatores de risco mais abrangentes em termos ergonómicos, quando se trata de dados referentes à

compensação de trabalhadores. Ciarapica e Giacchetta (2009), examinaram uma base de dados de grandes dimensões relativamente às estatísticas de lesões ocupacionais, e através da aplicação de algoritmos de *Machine Learning* foi possível comparar as características do local de trabalho e dos trabalhadores com a gravidade das lesões, com os dias perdidos e com os dados de frequência das lesões. Quando comparada a qualquer outra abordagem de previsão de lesões, a abordagem efetuada através de *Machine Learning* apresenta um nível de erro significativamente mais baixo comparativamente a outros métodos, tendo sido efetuada uma previsão ao nível da incidência de distensões, entorses e de mecanismos de lesão com uma elevada precisão (Sonne, 2021).

Relativamente ao futuro da Ergonomia, apesar de haver um caminho relativamente simples na avaliação da cinemática e das exigências posturais no local de trabalho, existe a necessidade de realizar registos das forças a partir de medidores de tensão e de escalas, tarefas estas que têm de ser efetuadas presencialmente (Sonne, 2021).

No entanto, novos trabalhos de investigação têm vindo a mostrar que parte do processo de recolha de dados relativos às forças podem ser simplificados a partir de dados obtidos a partir de vídeos. Asadi et al. (2020), examinaram uma série de esforços, através da filmagem apenas do rosto do participante. Com 90 por cento de precisão, os autores foram capazes de determinar a intensidade de uma força, de acordo com três diferentes níveis pré-definidos: nível 1 - sem força, nível 2 – aplicação de cinquenta por cento da força e nível 3 – aplicação de cem por cento da força. Embora estes resultados requeiram uma interpretação adicional, não estão muito distantes do método atual de quantificação de esforços que são frequentemente aplicados na indústria. Analogamente, outros métodos permitiram prever as forças exercidas manualmente a partir de dados antropométricos combinados com a cinemática de vídeo. Embora ambos os métodos não possuam a precisão observada presencialmente através dos medidores de força nos locais, estes métodos permitem, no entanto, a priorização da avaliação e a triagem das exigências ergonómicas (Sonne, 2021).

A inteligência artificial não visa remover o ergonomista da sua função tradicional, mas sim manifestar o seu grande potencial para melhorar a precisão e a velocidade de conclusão de tarefas ergonómicas comuns, reduzindo algumas das exigências, em termos de experiência, tornando a tomada de decisões, ao nível da Ergonomia, mais acessível e de fácil de aplicação (Sonne, 2021).

A Indústria 4.0 oferece uma oportunidade única para melhorar o processo de avaliação da exposição aos riscos, oportunidade esta que se deve essencialmente à maior precisão e fiabilidade dos sensores incorporados nos locais de trabalho. Enquanto que, os métodos atuais dependem de observações, investigações ou registos de lesões, os novos dispositivos vestíveis (como as unidades inerciais de medida e monitorização através de vídeo) podem fornecer informações valiosas sobre a magnitude, duração e padrões de exposição aos riscos. Por exemplo, unidades inerciais de medida podem fornecer a percentagem de tempo de manutenção de posturas inadequadas, bem como entradas-chave para ferramentas de avaliação de risco estabelecidas.

Em combinação com abordagens baseadas em *Machine Learning*, os dados obtidos podem ser usados para quantificar, com mais precisão, as exigências físicas de uma tarefa, como por exemplo a proporção de tempo em que o operador esteve apoiado nos joelhos, esticado ou a levantar cargas, fornecendo assim uma avaliação em termos de exigência física mais precisa usada para atribuição de tarefas (Human Factors and Ergonomics Society, 2020).

A avaliação otimizada da exposição a lesões baseada na Inteligência Artificial permite melhorias no design do trabalho, possibilitando também a incorporação de abordagens individuais para a identificação proactiva da fadiga, evitando assim a probabilidade de ocorrência de acidentes e lesões. Por exemplo, a avaliação otimizada pode fornecer uma forma aprimorada de monitorização personalizada das atividades do trabalhador em trabalhos, nos quais já tenham ocorrido lesões anteriores. A aplicação destas tecnologias da Indústria 4.0 à Ergonomia encontra-se apenas no início, sendo necessárias mais estudos de modo a alicerçar o seu desenvolvimento, usabilidade e validação (Human Factors and Ergonomics Society, 2020).

2.5. Planeamento de Tarefas em Linhas de Montagem

Desde o início do século XX, quando os engenheiros da Ford Motor Company conseguiram dividir o complexo processo de montagem em tarefas mais simples, de modo a reduzir os requisitos técnicos por parte dos trabalhadores, a linha de montagem tornou-se o principal modelo de produção industrial. Uma linha de montagem consiste em n estações de trabalho, nas quais os trabalhadores realizam algumas tarefas específicas, sendo que o problema correspondente, denominado problema de balanceamento da linha de montagem, concentra-se na alocação de um conjunto de m tarefas para essas estações de trabalho para alcançar um ou vários objetivos. Estas tarefas são caracterizadas pelos tempos de processamento determinísticos e relações de

precedência entre si (Bukchin & Raviv, 2018). A alocação destas tarefas deve ter em consideração as relações de precedência e satisfazer a limitação do tempo de ciclo determinado para cada posto de trabalho.

De forma a melhorar ainda mais a produtividade e a qualidade, algumas empresas começaram a otimizar o *layout* das linhas de montagem. Quando comparada com a linha de montagem reta simples, a linha de montagem em forma de U contém para além das estações de trabalho regulares para a execução de tarefas em ambas as sublinhas de entrada e de saída, inclui também estações de trabalho cruzadas que executam tarefas em ambas as sublinhas de entrada e de saída. De um modo particular, uma tarefa pode ser atribuída desde que os seus predecessores/sucessores imediatos tenham sido atribuídos e, como resultado, esta flexibilidade adicional oferece um nível significativamente mais elevado de produtividade (Baykasoglu & Özbakır, 2007).

Conforme mostrado na Figura 27 (a), nove tarefas com restrições de precedência precisam ser alocadas a três estações de trabalho. Um *layout* típico de uma linha em forma de U é mostrado na Figura 27 (b). Esta linha em forma de U tem nove tarefas e três estações de trabalho, onde as estações 1 e 2 são estações de trabalho cruzadas (Zhang et al., 2020).

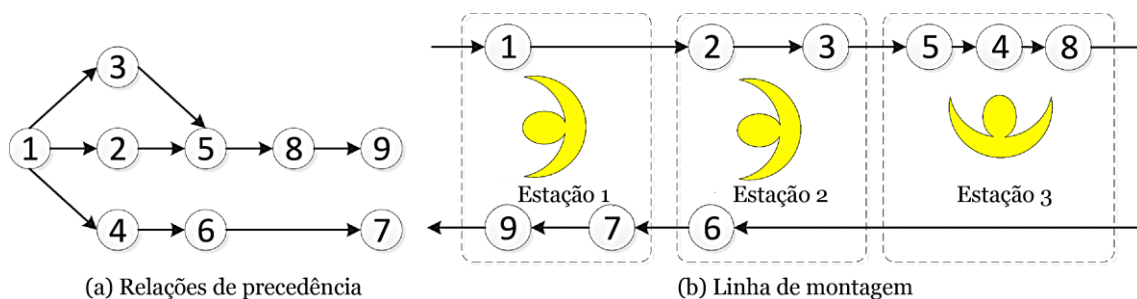


Figura 27 - *Layout* de exemplo de uma linha de montagem em forma de U (Zhang et al., 2020).

É de salientar, que o problema do balanceamento da linha de montagem em forma de U pode ser subdividido em quatro tipos (Rabbani, Kazemi & Manavizadeh, 2012). O tipo I trata da minimização do número de estações de trabalho para um determinado tempo de ciclo. O tipo II visa otimizar o tempo de ciclo para um determinado número de estações de trabalho. O tipo E maximiza a eficiência da linha quando o tempo de ciclo e o número de estações de trabalho são desconhecidos. O tipo F procura estabelecer um plano de equilíbrio viável quando o tempo de ciclo e o número de estações de trabalho são fornecidos.

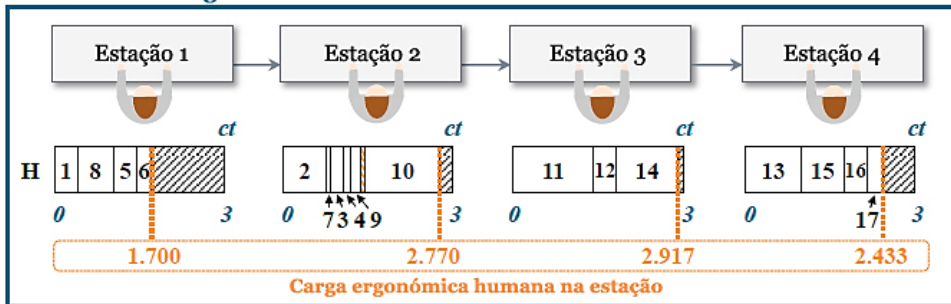
Outro aspecto a considerar são os riscos ergonômicos não verificados em condições de trabalho desfavoráveis, os quais conduzem a lesões músculo-esqueléticas nos trabalhadores. Geralmente, as condições de trabalho precárias envolvem fatores de carga de trabalho e fatores ambientais desfavoráveis (Otto & Battaia, 2017). De um modo específico, os fatores de carga de trabalho incluem o levantamento de cargas pesadas, posturas inadequadas, como ficar sentado ou em pé por longos períodos, movimentos repetitivos, enquanto que os fatores ambientais se referem à temperatura, humidade, ruído, vibrações e iluminação.

Segundo Weckenborg e Spengler (2019), continuam a persistir tarefas que apenas podem ser executadas pelo operador humano, dadas as suas capacidades de flexibilidade e adaptabilidade. Deste modo, continua a existir interesse em manter o trabalho manual, tendencialmente para implementação de sistemas colaborativos homem-robô.

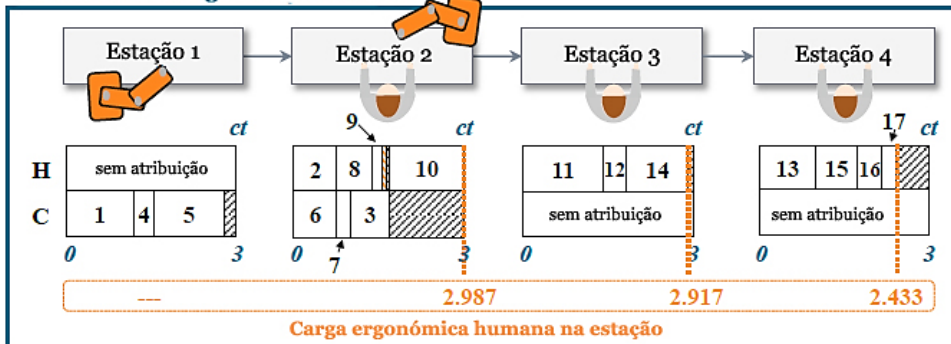
Deste modo Weckenborg e Spengler (2019), realizaram um estudo para implementação de linhas de montagem combinadas (manual e automatizada simultaneamente), de forma a incluir uma metodologia mais completa, através da incorporação da vertente associada aos riscos ergonômicos, inerentes à presença de operadores humanos, aliada ao estudo económico, de modo a proporcionar uma solução mais equilibrada, viável, sustentável e com maior aceitabilidade por parte dos recursos humanos nas organizações.

Na Figura 28, são ilustrados dois exemplos de configuração para os dois tipos de linhas de montagem: manual e colaborativa.

Linha de montagem manual



Linha de montagem colaborativa



Tempo de relaxamento Tempos ociosos

Figura 28 - Exemplo de configuração de duas linhas de montagem (Weckenborg et al., 2019).

O modelo desenvolvido por Weckenborg e Spengler (2019) foi baseado nas tendências estabelecidas em estudos anteriormente realizados por Battini et al. (2017); Kara et al. (2014); Price (1990), como o método de comparação de custos e da taxa média de trabalho dos trabalhadores com base na energia despendida nas tarefas realizadas, método este que foi criativamente utilizado como base para a determinação dos riscos ergonómicos.

Um outro fator que pode ser problemático dentro do paradigma da Indústria 4.0 é a fadiga por parte dos operadores humanos, fator este que ainda não se encontra explicitamente considerado nos estudos relacionados com o planeamento de tarefas. Deste modo, uma vez que os sistemas de trabalho na Indústria 4.0 são mais ágeis e reativos, este facto conduz à intensificação do trabalho e conseqüentemente ao aumento da fadiga global, pelo que se torna pertinente o desenvolvimento de métodos de apoio ao planeamento que possam contribuir para maximizar as entregas *Just-In-Time*, minimizar o número de peças rejeitadas devido a possíveis erros humanos, e reduzir a fadiga dos operadores (Mouayni et al., 2019).

2.6. A Interação Operador-Posto de Trabalho na Era 4.0

A interação entre um operador e o seu posto de trabalho é uma área importante para a qual os avanços tecnológicos recentes podem contribuir significativamente.

É expectável que a Indústria 4.0 mude muitos aspetos da Interface Homem-Máquina (HMI) incorporando interfaces de utilizadores inteligentes (Gorecky et al., 2014). Lucke, Constantinescu & Westkämper (2008), descreveram futuros sistemas cientes do contexto que iriam operar em *background* no posto de trabalho e intervir apenas quando surgir a necessidade, para auxiliar as pessoas e máquinas na execução de tarefas. Yang et al. (2009), afirmaram que qualquer posto de trabalho computadorizada na Era da Indústria 4.0 deveria possuir capacidades visuais e auditivas semelhantes às humanas, as quais proporcionariam facilmente a identificação dos níveis de fadiga, distração do operador (Kutila et al., 2007), atenção (Bouchner et al., 2009), confiança, stress (Healey & Picard, 2005), entre outros estados.

Estas capacidades futuras permitirão que o sistema possa rastrear e monitorizar os estados psicológicos e fisiológicos do operador e envolver-se em caso de necessidade. Em linha com esta visão, Cohen et al. (2018) sugeriram uma estrutura WOI 4.0 (*Workstation-Operator Interaction 4.0*) para um sistema de postos de trabalho que recolhe e analisa informações sobre os estados fisiológicos, emocionais e cognitivos do operador. Em paralelo, o sistema monitoriza as condições, os eventos e os processos que decorrem no posto de trabalho, assim como na área circundante. Com base nesta monitorização e análise, o sistema WOI 4.0 sugerido tem a capacidade de melhorar as medidas de produção objetivas e subjetivas (Cohen et al., 2018).

Capítulo 3:

Avaliação e Quantificação dos Riscos

Ocupacionais

Normalmente, após a realização do levantamento dos riscos associados às atividades e aos equipamentos de uma organização, é necessário proceder à avaliação e classificação dos riscos, de modo a permitir tirar conclusões sobre a necessidade de atuação nos processos. Pode-se, por exemplo, avaliar a severidade e a probabilidade de acontecer um risco e em função desta análise decidir onde atuar (Eurisko, 2011). Para tal, são utilizados modelos de avaliação de risco, os quais são classificados como qualitativos, semiquantitativos ou quantitativos (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

3.1. Os Modelos Qualitativos de Risco

Os modelos qualitativos de risco são baseados em descrições qualitativas ou subjetivas. Estes modelos definem a gravidade da consequência, a probabilidade e o nível de risco através do uso de palavras descritivas como “alto”, “médio” e “baixo”, que são avaliados de acordo com critérios qualitativos, como é possível observar através da Tabela 3 (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

Tabela 3 - Exemplo de matriz de avaliação qualitativa de risco (5x4) (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

| Probabilidade de ocorrência ou de exposição para a unidade de tempo ou atividade selecionada | ← Gravidade da lesão ou consequência da doença → | | | |
|--|--|----------|---------|--------------|
| | Insignificante | Marginal | Crítica | Catastrófica |
| Frequente | Médio | Sério | Alto | Alto |
| Provável | Médio | Sério | Alto | Alto |
| Ocasional | Baixo | Médio | Sério | Alto |
| Remoto | Baixo | Médio | Médio | Sério |
| Improvável | Baixo | Baixo | Baixo | Médio |

3.2. Os Modelos Quantitativos de Risco

Os modelos de risco quantitativos utilizam dados para definir valores da severidade das consequências e da probabilidade de ocorrência, proporcionando assim valores de nível de risco em unidades numéricas específicas. Conforme descrito na norma NP EN ISO 31010:2016, a análise quantitativa completa pode não ser possível se não houver informações ou dados suficientes sobre o sistema ou atividade a ser analisada, ou se os

esforços necessários excederem as necessidades da avaliação (ISO, 2016b). Deve-se reconhecer que mesmo com valores totalmente quantitativos, os níveis de risco calculados continuam a ser estimativas (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

3.3. Os Modelos Semiquantitativos de Risco

Os modelos de risco semiquantitativos utilizam dados qualitativos, sendo, no entanto, utilizados dados quantitativos para expressar os valores das classificações de risco utilizando uma fórmula para produzir um nível de risco ou pontuação. As pontuações de nível de risco produzidas podem ser lineares ou logarítmicas com base na fórmula selecionada. Uma das vantagens dos modelos semiquantitativos reside na precisão que pode ser dada através da adição de definições que incluem alguns intervalos numéricos para a gravidade das consequências e a probabilidade de ocorrência. A adição de intervalos numéricos contribui frequentemente para a comparação e comunicação dos níveis de risco (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

A Tabela 4, a Tabela 5, a Tabela 6 e a Tabela 7 mostram um exemplo de um modelo semiquantitativo que inclui uma matriz de risco, as descrições para fatores de risco e valoração dos risco. É de salientar que os valores atribuídos nos modelos semiquantitativos são tipicamente determinados, em grande parte, através de julgamentos e experiências “qualificadas”, sem dados quantitativos, e só têm valor quando relacionados entre si (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

Tabela 4 - Exemplo de uma matriz de avaliação qualitativa de risco (5×4) (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

| Probabilidade de ocorrência ou de exposição para a unidade de tempo ou atividade selecionada | ← Gravidade da lesão ou consequência da doença → | | | |
|--|--|----------|---------|--------------|
| | Insignificante | Marginal | Crítica | Catastrófica |
| Frequente | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Provável | 4 | 8 | 12 | 16 |
| Ocasional | 3 | 6 | 9 | 12 |
| Remoto | 2 | 4 | 6 | 8 |
| Improvável | 1 | 2 | 3 | 4 |

Tabela 5 - Descrições semiquantitativas para o exemplo de probabilidade de ocorrência (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

| Nível de risco | Probabilidade de ocorrência (P) | Descrição |
|-----------------------|--|---|
| 5 | Frequente | Quase certo de ocorrer. Ocorreu mais de uma vez nos últimos 12 meses. Existem condições para que ocorra |
| 4 | Provável | Muito provável de ocorrer. Ocorreu uma vez nos últimos 12 meses. Muitas vezes existem condições para que ocorra |
| 3 | Ocasional | Provável de ocorrer se houver condições. Ocorreu nos últimos 24 meses. Podem existir condições para que ocorra |
| 2 | Remoto | Pode ocorrer se houver condições. Ocorreu nos últimos 36 meses. Às vezes existem condições para que ocorra |
| 1 | Improvável | É improvável que ocorra. Não ocorreu nos últimos 5 anos. Raramente existem condições para que ocorra |

Tabela 6 - Descrições semiquantitativas para o exemplo de severidade da consequência (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

| Nível de risco | Severidade da consequência de ocorrência (S) | Descrição |
|-----------------------|---|---|
| 4 | Catastrófico | Uma ou mais fatalidades, múltiplas hospitalizações graves, incidente resultando em mais de \$ 250 000 |
| 3 | Crítico | Lesão ou doença incapacitante; deficiência permanente, incidente resultando em mais de \$ 50 000 |
| 2 | Marginal | Tratamento médico ou trabalho restrito, incidentes registráveis, incidente resultando em mais de \$ 1 000 |
| 1 | Baixo | Incidentes de primeiros socorros ou não tratamento, incidente resultando em menos de \$ 1 000 |

Tabela 7 - Níveis de pontuação de risco e exemplo de ação (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

| Nível de risco | Pontuação | Ação |
|-----------------------|------------------|--|
| Muito alto | 12 ou superior | Operação não permitida, ação imediata necessária |
| Alto | 8 - 10 | Ação corretiva necessária, prioridade máxima |
| Moderado | 4 - 6 | Ação corretiva sugerida |
| Baixo | 1 - 3 | Ação corretiva discricionária |

3.3.1. O Método William T. Fine e os Critérios de Avaliação

De acordo com (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016), existem 5 níveis de risco, os quais requerem diferentes modos de atuação:

- Nível 1 – Atuação não prioritária;
- Nível 2 – Intervenção a médio prazo;
- Nível 3 – Intervenção a curto prazo;
- Nível 4 – Atuação urgente;
- Nível 5 – Atuação muito urgente, requerendo medidas imediatas.

Por outro lado, o controlo da exposição a riscos ocupacionais é um método fundamental para a proteção dos colaboradores. Normalmente, é utilizada a hierarquia de controlos como forma de determinar a forma de implementar soluções de controlo mais viáveis e eficazes. Assim, segundo a norma NP ISO 45001:2019, existem cinco níveis de controlo de riscos, como é possível observar através da Figura 29.



Figura 29 - Hierarquia e medidas de controlo de riscos (NIOSH, 2015).

A ideia envolvida na representação da hierarquia reside na distribuição da eficácia em termos de proteção dos métodos, sendo que os métodos de controlo na parte superior do gráfico são potencialmente mais eficazes e proporcionam uma maior proteção do que aqueles que se encontram localizados na parte inferior. Desta forma, seguir esta hierarquia normalmente conduz à implementação de sistemas intrinsecamente mais seguros, onde os riscos são substancialmente reduzidos.

Fine (1971), utilizou um método baseado em fórmulas matemáticas como forma de expressar o controlo dos perigos, fundamentar os investimentos e justificar decisões em termos de prevenção. De acordo com o autor, o grau de perigosidade deve ser calculado em função de três fatores:

- As consequências do acidente;
- O grau de exposição ao risco,
- A probabilidade de ocorrência do acidente.

Relativamente às consequências, Fine (1971) utilizou como padrão a escala de 1 a 100, onde 1 diz respeito a lesões ligeiras e 100 a morte de vários trabalhadores, quer seja no que concerne às lesões, bem como para os danos materiais Tabela 8.

Tabela 8 - Consequências (C) face aos potenciais danos materiais associados aos riscos laborais (Freitas, 2019; Santos et al., 2018).

| Consequências (C) | Danos materiais | Fator |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Elevado número de vítimas mortais | Superiores a 1.000.000€ | 100 |
| Algumas vítimas mortais | Entre 500.000€ e 1.000.000€ | 50 |
| Acidente mortal | Entre 100.000€ e 500.000€ | 25 |
| Incapacidade permanente | Entre 1.000€ e 100.000€ | 15 |
| Incapacidade temporária | Inferior a 1.000€ | 5 |
| Lesões ligeiras | ----- | 1 |

Relativamente à exposição aos diferentes riscos laborais, a Tabela 9 mostra a correspondência dos graus de exposição aos riscos laborais com os respetivos fatores de exposição.

Tabela 9 - Exposição (E) aos riscos laborais (Freitas, 2019; Santos et al., 2018).

| Exposição (E) | Descrição | Fator |
|----------------------|---|--------------|
| Contínua | Muitas vezes por dia | 10 |
| Frequente | Uma vez por dia | 6 |
| Ocasional | Entre uma vez por semana e uma vez por mês | 3 |
| Irregular | Entre uma vez por mês e uma vez por ano | 2 |
| Raramente | Sabe-se que ocorre, mas com ínfima frequência | 1 |
| Pouco provável | Não se sabe se ocorre, mas é possível que possa acontecer | 0,5 |

Relativamente à probabilidade de ocorrência de acidentes associados aos riscos laborais, a Tabela 10 proporciona a quantificação dos vários graus de probabilidade de ocorrência.

Tabela 10 - Probabilidades (P) de ocorrência de acidentes (Freitas, 2019; Santos, Almeida, Lopes, *et al.*, 2018).

| Probabilidade (P) | Fator |
|--------------------------|--------------|
| Muito provável | 10 |
| Possível | 6 |
| Raro | 3 |
| De repetição improvável | 1 |
| Nunca aconteceu | 0,5 |
| Praticamente impossível | 0,1 |

A partir destes fatores pode ser calculado o grau de perigosidade com recurso à seguinte equação:

$$GP = C \times E \times P \quad (2)$$

Onde GP corresponde ao grau de perigosidade do Risco, C às consequências esperadas, E ao tempo de exposição do trabalhador à situação de risco e P à probabilidade de ocorrência.

Finalmente, os riscos e os graus de perigosidade podem então ser classificados de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação dos graus de Perigosidade (GP) (Freitas, 2019; Santos et al., 2018).

| Classificação do risco | Grau de Perigosidade (GP) | Atuação em relação ao risco |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| Muito alto (Grave e iminente) | Superior a 400 | Suspensão imediata da atividade perigosa |
| Alto | Entre 200 e 400 | Correção imediata |
| Notável | Entre 70 e 200 | Correção urgente |
| Moderado | Entre 20 e 70 | Não é urgente, mas tem de ser corrigido |
| Aceitável | Inferior a 20 | Pode manter-se |

Por vezes é necessário fundamentar, em termos económicos, a opção por determinada medida de prevenção, por esta razão Fine (1971) introduziu o conceito de cálculo de justificação (J) com base na seguinte equação:

$$J = \frac{\text{Consequência} \times \text{Exposição} \times \text{Probabilidade}}{\text{Fator de custo} \times \text{Grau de correção}} \quad (3)$$

Onde o fator de custo é classificado de acordo com uma escala de 0,5 a 10 e grau de correção ponderado através de uma escala de 1 a 6.

3.4. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Avaliação e Quantificação dos Riscos Ocupacionais

O método William T. Fine, por ser um método semiquantitativo objetivo e assertivo que permite a identificação das prioridades de intervenção através da identificação, hierarquização e controlo dos riscos (Freitas, 2019), será o método a utilizar na avaliação de riscos ocupacionais gerais presentes antes da aplicação do modelo de otimização de *layouts*.

Capítulo 4:

Métodos de Avaliação de Riscos Ergonómicos

Antes da realização de qualquer tipo de intervenção, quer seja uma análise, um projeto ou a avaliação de um sistema, é importante estabelecer uma estratégia de decisão sobre os métodos a usar e como se proceder à adaptação ao contexto do domínio. Os métodos de análise e avaliação raramente são usados isoladamente, sendo mais usual a aplicação de um conjunto apropriado de métodos, cuja determinação requer planeamento e preparação. Neste contexto, Stanton, Young & Harvey (2014) propuseram um modelo para o processo de seleção de métodos, conforme mostrado na Figura 30.

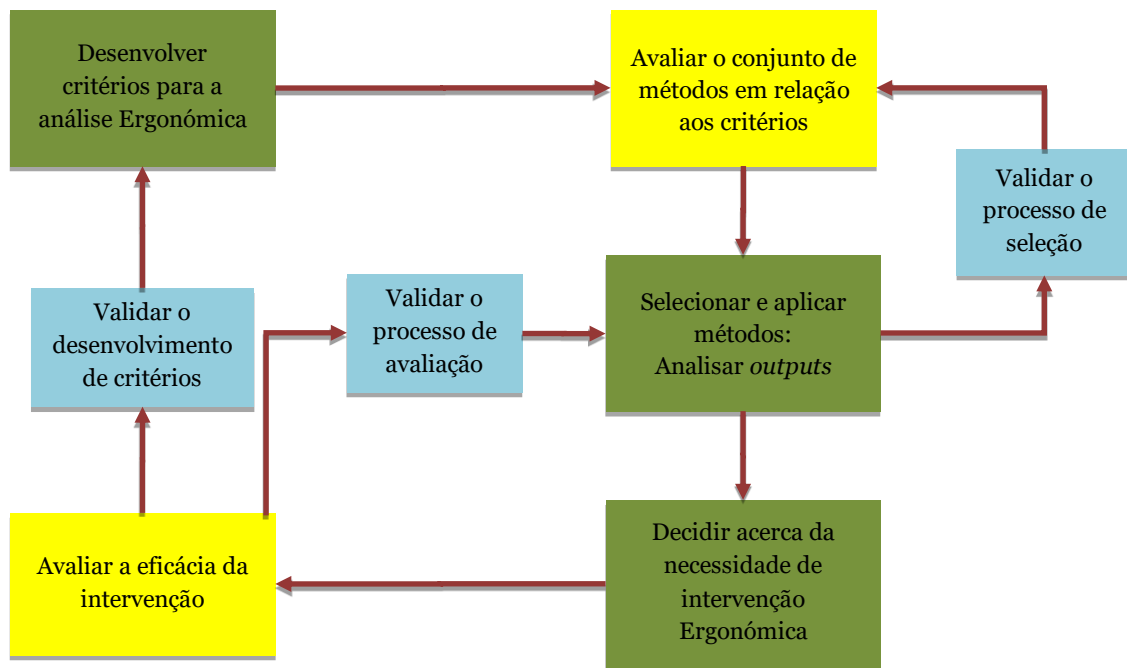


Figura 30 - Processo de Seleção de Métodos de Análise, Avaliação e Intervenção Ergonómica (Adaptado de Stanton, Young & Harvey, 2014).

De acordo com Annett & Stanton (2004), a aptidão e o cuidado são características essenciais para o desenvolvimento de uma abordagem analítica de um problema, assim como para a formulação, implementação e determinação bem sucedida de uma intervenção ergonómica. Os sistemas mais complexos podem implicar uma estratégia mais flexível na abordagem do problema, o que pode envolver uma mudança na natureza da análise e o desenvolvimento de diferentes tipos de abordagem. Por esta razão, os estudos-piloto são habitualmente úteis na definição do âmbito do problema antes da

realização de um estudo mais detalhado. Isto significa, que podem haver várias iterações no processo de desenvolvimento de critérios e seleção de métodos. Deste modo, é benéfico efetuar a seleção de métodos como uma espécie de “experiência mental”, cujo intuito é prever o tipo de saída de cada método e quais os resultados a obter, proporcionando assim um processo de decisão mais fiável acerca da inclusão de um determinado método na bateria de testes a aplicar. Embora seja importante não depender excessivamente de uma única abordagem, nem sempre existem garantias sobre a obtenção de resultados úteis, através da simples aplicação de uma série de métodos a um determinado problema.

Conforme mostra a Figura 30, a seleção de um método é um processo do tipo *closed loop* com três *loops* de *feedback*. O primeiro ciclo de *feedback* tem como objetivo validar a seleção dos métodos face os critérios de seleção. O segundo ciclo de *feedback* visa a validação dos métodos em relação à intervenção ergonómica mais adequada. O terceiro ciclo de *feedback* tem como propósito validar os critérios iniciais em relação à adequação da intervenção selecionada, pois poderão existir erros associados ao desenvolvimento dos critérios iniciais, assim como na seleção dos métodos e na adequação da intervenção. Cada etapa deve ser verificada. Deste modo, as principais etapas do processo são as seguintes (Stanton et al., 2018):

- Determinação dos critérios: consiste na identificação dos critérios de avaliação;
- Comparação dos métodos com os critérios: baseia-se na comparação do conjunto de métodos quanto à sua adequação face os critérios;
- Aplicação dos métodos: nesta etapa é efetuada a aplicação dos métodos;
- Implementação da intervenção ergonómica: nesta fase é feita a escolha e aplicação de um programa de Ergonomia;
- Avaliação da eficácia da intervenção: compreende a avaliação da mudança provocada pela intervenção.

De acordo com Wilson & Sharples (2015), é importante que a Ergonomia seja visualizada como uma abordagem ou uma filosofia, na qual as pessoas são consideradas tanto no design como na organização, ou seja, o design é feito para as pessoas. Nesta visão, a Ergonomia faz parte de um processo e, até certo ponto, de um método-meta, que proporciona a compreensão, e a correta utilização dos métodos e das técnicas.

Tendo em mente a natureza aplicada da Ergonomia, existem métodos e abordagens gerais, por exemplo a observação, a avaliação subjetiva, o registo de dados e as experiências. Estes métodos e abordagens podem ser aplicados em diversas fases do

processo de design, assim como, na criação de ferramentas específicas para utilização em casos que estejam presentes certos tipos de *inputs* com especificidades próprias para determinados processos de design. Deste modo, os métodos ergonómicos podem ser em agrupados em cinco tipos, de acordo com os dados de design básico (Wilson & Sharples, 2015):

1. Métodos para recolha de dados sobre as pessoas e as suas necessidades (por exemplo: a recolha de dados sobre as capacidades físicas, fisiológicas e psicológicas, bem como as motivações e desejos);
2. Métodos usados na análise de sistemas e design (por exemplo: a recolha de dados no sistema de design atual e proposto);
3. Métodos para avaliar o desempenho do sistema homem-máquina (por exemplo: a recolha de dados em medições quantitativas e qualitativas);
4. Métodos para avaliar as exigências e os seus efeitos sobre as pessoas (por exemplo: a recolha de dados sobre os efeitos a curto e a longo prazo sobre o bem-estar da pessoa que executa as tarefas em análise);
5. Métodos usados no desenvolvimento de um programa de gestão de Ergonomia (por exemplo: as estratégias de apoio, gestão e avaliação de intervenções ergonómicas sustentáveis).

Deste modo, e acordo com (Stanton et al., 2005), os métodos de avaliação de riscos ergonómicos encontram-se classificados em seis grupos: os Métodos Físicos, os Psicofisiológicos, os Cognitivos e Comportamentais, os Métodos de Equipa, os Ambientais e os Macroergonómicos.

Deste modo, através da Tabela 12 é possível analisar as correspondências entre os tipos de dados de design e os grupos de métodos ergonómicos.

Tabela 12 - Correspondência entre os grupos de métodos ergonómicos e os tipos de dados de design estabelecidos por Wilson e Sharples (Stanton et al., 2005; Young et al., 2015).

| Métodos ergonómicos/Tipos de dados de design | Dados sobre as pessoas e as suas necessidades | Análise de sistemas e design | Desempenho do sistema homem-máquina | Exigências e os seus efeitos sobre as pessoas | Programas de gestão de Ergonomia |
|---|--|-------------------------------------|--|--|---|
| Físicos | | | | | |
| Psicofisiológicos | | | | | |
| Cognitivos-Comportamentais | | | | | |

| Métodos ergonômicos/Tipos de dados de design | Dados sobre as pessoas e as suas necessidades | Análise de sistemas e design | Desempenho do sistema homem-máquina | Exigências e os seus efeitos sobre as pessoas | Programas de gestão de Ergonomia |
|--|---|------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| Equipa | | | | | |
| Ambientais | | | | | |
| Macroergonômicos | | | | | |

Na Tabela 12, a área em azul escuro representa uma fonte primária de dados de design, enquanto que a área a azul mais claro representa uma fonte secundária ou contributiva de dados de design.

Na sequência da contextualização do presente trabalho relativamente aos métodos de avaliação de riscos ergonômicos, de seguida são sintetizados os métodos ergonômicos mais passíveis de serem aplicáveis à temática em estudo, os Métodos Físicos e o Métodos Cognitivos e Comportamentais, sendo depois efetuadas algumas considerações gerais para os restantes métodos indicados por (Stanton et al., 2005).

4.1. Os Métodos Físicos

De acordo com Stanton et al. (2005), os métodos físicos podem ser usados para obter dados em fase de vigilância, os quais são essenciais para a gestão de riscos de lesões ao nível dos recursos humanos. Geralmente, muitas lesões músculo-esqueléticas começam com uma sensação de desconforto no trabalhador.

Quando ignorados, os fatores de risco responsáveis pelo desconforto acabarão por conduzir a um aumento da gravidade dos sintomas, sendo que o que começou como um leve desconforto tornar-se-á gradualmente mais intenso, agravando-se até serem sentidas dores. Por sua vez as dores, se não forem controladas, darão a indicação da existência de algum trauma cumulativo podendo eventualmente originar uma lesão músculo-esquelética real, como a tendinite (processo inflamatório do tendão e da sua bainha), a tenossinovite (acontece quando o tendão desenvolve um nódulo ou edema da película envolvente) ou uma lesão por compressão nervosa grave, como síndrome do túnel ou canal cárpico (ocorre na sequência da compressão do nervo mediano no túnel cárpico) (Stanton et al., 2005).

As sensações de desconforto são os primeiros sinais de alerta emitidos pelo corpo, significando que algum aspeto do trabalho deve ser alterado, sendo que o desconforto

também afetar negativamente o desempenho no trabalho, traduzindo-se numa redução da quantidade de trabalho realizado ou numa diminuição da qualidade do trabalho devido ao aumento dos erros cometidos, ou ambos (Stanton et al., 2005).

Assim, a redução dos níveis de desconforto favorece a diminuição do risco de ocorrência de lesões. Consequentemente, as mudanças nos níveis de desconforto também podem ser usadas na avaliação do grau de sucesso de um projeto relativamente a um produto ergonómico ou à implementação de um programa de intervenção ergonómica (Stanton et al., 2005).

De acordo com Gómez-Galán et al. (2020), existem vários métodos para avaliar os riscos músculo-esqueléticos. Estes podem ser classificados em três grupos principais: os métodos diretos, semidiretos e indiretos. No caso dos métodos diretos, são aqueles que implicam uma medição direta, como por exemplo a colocação de sensores no corpo dos trabalhadores de forma a possibilitar a realização de medições durante a execução das tarefas. Por outro lado, os métodos semidiretos baseiam-se na observação da tarefa durante a sua execução, sendo a análise efetuada mediante o recurso a *software*. No que concerne aos métodos indiretos, estes métodos assentam na aplicação de questionários às partes envolvidas.

Os métodos mais económicos, entre os três grupos indicados, são os indiretos, pois baseiam-se exclusivamente no preenchimento de questionários. Em contrapartida, os outros dois grupos são mais dispendiosos, na medida em que são necessárias licenças de *software*, as quais são pagas, e os sensores implicam encargos de aquisição e manutenção. Em termos de precisão, os métodos diretos são os mais precisos, pois fornecem informações virtualmente automáticas. Em relação à complexidade, os métodos direto e indireto são mais complexos, sendo que no primeiro caso, o uso de sensores pode ser um incómodo para o trabalhador e, no segundo, a posterior análise estatística pode revelar-se complexa (Gómez-Galán et al., 2020).

Assim, ao selecionar um método para um determinado estudo, é aconselhável considerar vários critérios como, o custo, a precisão necessária, a complexidade, o tempo de aplicação, entre outros, e analisar as vantagens e as desvantagens de cada um deles (Gómez-Galán et al., 2020).

Na Tabela 13 é possível observar alguns exemplos de métodos de avaliação diretos, semidiretos e indiretos.

Tabela 13 - Exemplos de métodos de avaliação diretos, semidiretos e indiretos (Gómez-Galán et al., 2020).

| Métodos | | Tipologia | | |
|--|--|-----------|------------|----------|
| | | Direto | Semidireto | Indireto |
| Sistema de Sensores | | | | |
| <i>Standardised Nordic Questionnaire</i> | | | | |
| <i>Quick Exposure Check Questionnaire</i> | | | | |
| <i>Michigan Questionnaire</i> | | | | |
| <i>Keyserling Questionnaire</i> | | | | |
| Manuseamento/ movimentação de cargas | Método KIM (<i>Key Indicator Method</i>) | | | |
| | Equação de NIOSH | | | |
| | Tabelas de Snook | | | |
| | Tabelas de Ciriello | | | |
| Movimentos repetitivos | Método RULA | | | |
| | Método PLIBEL | | | |
| | Método <i>Strain Index</i> | | | |
| | Método OCRA | | | |
| Postura sob tensão | Método REBA | | | |
| | Método OWAS | | | |

4.2. Os Métodos Cognitivos e Comportamentais

De acordo com Stanton et al. (2005), os métodos comportamentais e cognitivos têm como origem a área da psicologia. Os métodos geralmente fornecem informações sobre as percepções, processos cognitivos e respostas ou potenciais dos indivíduos. Estas informações podem ser obtidas a partir de diversas formas, incluindo através de erros humanos, de tarefas humanas, dos tempos de execução das tarefas, dos objetivos gerais e específicos, das decisões, da carga de trabalho e das preferências do utilizador (Stanton et al., 2005).

Os métodos podem ser classificados em quatro categorias: os métodos de análise geral, os métodos de análise de tarefa cognitiva, os métodos de análise e previsão de erros, os métodos de análise situacional e de carga de trabalho. De seguida é apresentada uma breve descrição dos principais métodos incluídos em cada categoria (Stanton et al., 2005).

4.2.1. Métodos de Análise de Tarefas Cognitivas

Fazem parte deste grupo quatro métodos que tratam da análise de tarefas cognitivas e da alocação da função do sistema: a análise hierárquica de tarefas, que é uma extensão da

análise hierárquica de tarefas, também aplicada na metodologia de alocação de funções; o método de decisão crítica e a análise aplicada ao trabalho cognitivo (Stanton et al., 2005).

4.2.1.1. Análise Hierárquica de Tarefas (HTA)

A Análise Hierárquica de Tarefas ou *Hierarchical Task Analysis* (HTA) foi desenvolvida pela primeira vez na década de sessenta como forma de superar as limitações dos métodos clássicos, baseados no tempo e no movimento, aplicados na análise de tarefas complexas não repetitivas com carga cognitiva. A HTA foi inicialmente desenvolvida para o controlo dos processos de formação profissional nas indústrias de aço e petroquímica, passando a ser usado, posteriormente, em diversos contextos, incluindo o design de *interfaces*, a análise de erros em tarefas executadas tanto por equipas como por indivíduos na área de produção de energia e em sistemas de comando e controlo (Annett, 2003).

Com a evolução da automatização nas práticas de trabalho industrial e com a mudança da natureza das tarefas do trabalhador, tem sido verificado que, como estas tarefas envolviam componentes cognitivos significativos (como monitorizar, antecipar, prever e tomar decisões), era necessário um método de análise e de representação desta forma de trabalho. As abordagens tradicionais tendiam a concentrar-se em aspetos observáveis de desempenho, enquanto a HTA procurava representar as metas e os planos do sistema. A análise hierárquica de tarefas descreve um sistema em termos de objetivos e submetas, com ciclos de *feedback* numa hierarquia aninhada (Annett, 2003).

A popularidade do método HTA deve-se essencialmente a dois pontos-chave: primeiro, é inerentemente flexível: a abordagem pode ser usada para descrever qualquer sistema, em segundo lugar, o método pode ser usado para múltiplas finalidades: designadamente as especificações das pessoas, os requisitos de formação, a previsão de erros, a avaliação do desempenho da equipa e o projeto do sistema. O método HTA também antecipou, em mais de 15 anos, o interesse na análise de tarefas cognitivas (Annett, 2003).

4.2.1.2. Método de Alocação de Funções

Uma extensão da HTA é apresentada na forma de uma metodologia de alocação cognitiva de funções. Numerosas abordagens foram adotadas para a alocação de funções do sistema ao longo dos anos, sendo que a principal abordagem deriva da alocação dos sub-objetivos do sistema em HTA. O método HTA tem sido usado para descrever a atividade humana, podendo ser expandido para a descrição da atividade geral do sistema, ou seja,

para ambas as atividades dos subsistemas humano e máquina (Stanton, 2006; Roth et al., 2019).

No método de alocação de função existem quatro tipos básicos de alocação de sub-objetivos: apenas humano, apenas computador, compartilhado com responsabilidade do humano, compartilhado com responsabilidade do computador. Ao aplicar o método HTA, cada uma das submetas pode ser alocada conforme for apropriado, dependendo das competências e tecnologia disponíveis. Na alocação da função do sistema, quatro critérios são aplicados: a satisfação da pessoa que faz o trabalho, o potencial para o erro humano, o potencial efeito da consciência da pessoa relativamente à situação e as implicações dos recursos da alocação. O processo deve ser iterativo e requer revisões constantes (Stanton, 2006; Roth et al., 2019).

4.2.1.3. Método de Decisão Crítica (CDM)

O Método de Decisão Crítica ou *Critical Decision Method* (CDM) é uma estratégia de eliciação de conhecimento, a qual se baseia na técnica do incidente crítico de Flanagan (1954). A técnica usa, como ponto de partida, a lembrança ou recordação de um incidente específico (Flanagan, 1954).

Assim, através de uma entrevista semiestruturada, é efetuada uma análise de incidente, sendo solicitada ao entrevistado a revisão dos pontos de decisão crítica à medida que o evento se desenrola. A investigação começa por detalhar o cronograma do incidente e, em seguida, examina os pontos de decisão ao longo desse cronograma. Uma série de questões é então apresentada, de modo a possibilitar a sondagem de cada decisão. As perguntas podem ser (Wolf, Klein & Thordsen, 1991; Harenčárová, 2015):

- Que novas informações foram apresentadas?
- Quais foram as avaliações da situação?
- Que informações foram consideradas?
- Que opções foram consideradas?
- Qual base que foi usada para selecionar a opção final?
- Quais os objetivos que deveriam ser alcançados?

A abordagem pode gerar grandes quantidades de dados que devem ser geridos com cuidado. A estrutura do questionário deve ajudar o analista a identificar conflitos e contradições entre e dentro das respostas do entrevistado. A abordagem estruturada e exaustiva é muito completa. Para ser concluído, o método de decisão crítica geralmente requer quatro ciclos de análise do evento em níveis cada vez mais profundos. Esta

metodologia inevitavelmente consome tempo, sendo que a precisão das evidências depende totalmente da memória de uma pessoa. Deste modo, correlacionar as evidências com outras fontes pode aumentar a confiança na fiabilidade dos dados (Wolf, Klein & Thordsen, 1991; Harenčárová, 2015).

4.2.1.4. Análise ao Trabalho Cognitivo

O método de Análise ao Trabalho Cognitivo ou *Cognitive Work Analysis* (CWA) foi concebido nas décadas de sessenta e setenta através do trabalho de Jens Rasmussen (Burns, 2013).

O CWA é diferente do CDM por se basear na análise de exigências e restrições inerentes ao domínio da tarefa. O método CWA tem sido normalmente usado em ambientes de controlo e comando de processos. A metodologia visa abordar o design de forma holística, tendo em consideração todos os aspetos do sistema, incluindo a estrutura organizacional, os procedimentos, o programa de formação, a automatização, o design da base de dados e os sensores (Elm et al., 2003).

A abordagem, baseada nos sistemas sociotécnico e ecológico, oferece uma vertente formativa para a área de design, o que proporciona uma melhoria considerável para o processo de design comparativamente ao ciclo iterativo de construção-teste que é frequentemente encontrado no design de *interface*. As etapas básicas do processo incluem o desenvolvimento de uma rede de abstração funcional, a determinação dos requisitos de trabalho cognitivo, a identificação dos requisitos de relacionamento de informações, a representação dos requisitos de design e a apresentação dos conceitos de design. O processo de análise é conduzido por uma avaliação abrangente do contexto e das restrições dentro das quais o trabalho deve ser executado (Elm et al., 2003).

4.2.2. Métodos de Análise de Erro

A previsão de erro humano assenta essencialmente em dois métodos: a redução sistemática de erros humanos e abordagem de previsão ou *systematic human error reduction and prediction approach* (SHERPA), e a análise de tarefas para identificação de erros ou *task analysis for error identification* (TAFEI) (Stanton et al., 2005).

O método SHERPA é baseado, em parte, na HTA como uma descrição de comportamento normativo e livre de erros. O método utiliza essa descrição como base para considerar os potenciais erros no desempenho da tarefa. A principal característica do SHERPA reside na taxonomia das tarefas e dos erros (Stanton et al., 2005).

A filosofia do método reside na ideia de que cada tarefa pode ser classificada num dos cinco tipos básicos (Stanton et al., 2005):

- Ação (por exemplo, pressionar um botão, ligar um interruptor, abrir uma porta);
- Recuperação (por exemplo, obter informações de um monitor ou papel);
- Verificação (por exemplo, realização de uma verificação processual);
- Seleção (por exemplo, escolher uma alternativa em vez de outra);
- Comunicação de informação (por exemplo, falar com a outra parte).

É de salientar que a taxonomia do erro encontra-se continuamente em revisão e em desenvolvimento (Stanton et al., 2005).

4.2.2.1. *Simulator for Human Error Probability Analysis (SHERPA)*

O método *Simulator for Human Error Probability Analysis (SHERPA)* foi desenvolvido por Embrey (1986) como uma técnica estruturada de identificação de erros humanos baseada na Análise Hierárquica de Tarefa (HTA) em conjunto com uma taxonomia de erro para a identificação de erros críveis associados às atividades humanas. A vantagem do SHERPA reside no facto de ser uma técnica estruturada e abrangente que pode ser facilmente ensinada e aplicada, sendo substancialmente mais rápida, comparativamente aos métodos de observação, apresentando uma fiabilidade aceitável (Hughes et al., 2014).

O SHERPA funciona fundamentalmente através da indicação dos modos de erro para cada etapa da tarefa, com base numa análise da atividade de trabalho. A referida indicação dos modos de erro é baseada no critério do analista, sendo necessária a presença de um especialista no assunto para validação. Outra vantagem está relacionada com a diversidade do campo de aplicação industrial numa ampla gama de tarefas, incluindo tarefas de sala de controlo, de manutenção, de transporte e de comando e controlo. As investigações que comparam o SHERPA com outras metodologias de identificação de erro humano sugerem que o SHERPA possui um melhor desempenho do que a maioria dos outros métodos (Hughes et al., 2014).

4.2.2.2. *Task Analysis for Error Identification (TAFEI)*

A análise de tarefas para identificação de erros (TAFEI) é um método de identificação de erros baseado na teoria das interações homem-produto denominadas rotinas regráveis. As rotinas regráveis são transitórias, tornando-se completamente

sobrescritas ou modificadas. A partir da teoria das interações homem-produto, foi desenvolvido o método TAFEI para prever, representar e analisar o diálogo entre as pessoas e os produtos (Kuang et al., 2009).

O método TAFEI consiste em três componentes principais: a análise hierárquica de tarefas (HTA), os diagramas de espaço de estado ou *state-space diagrams* (SSDs) e as matrizes de transição. Em termos de procedimento, o TAFEI engloba três etapas principais: em primeiro lugar, é usada a HTA para a descrição da atividade humana, depois são utilizados os SSDs para descrever os estados da máquina e, em seguida, são construídos os diagramas TAFEI através do mapeamento da HTA nos SSDs. Na última etapa, é feita a projeção da matriz de transição para exibir as transições de estado durante o uso da máquina. Deste modo, o TAFEI visa auxiliar o projeto de artefactos, ilustrando quando uma transição de estado é possível, mas indesejável (ou seja, ilegal). Assim, ao tornar todas as transições ilegais em impossíveis será possível potenciar o esforço cooperativo aquando da utilização da máquina (Kuang et al., 2009).

O modelo de fluxo de tarefas é usado como parte de um protótipo de procedimento analítico para avaliar um produto virtual. A investigação de validação conduziu à conclusão de que a modelação é razoavelmente realista e o método TAFEI supera as avaliações heurísticas (Baber & Stanton, 2002).

Os métodos SHERPA e TAFEI diferem na forma como funcionam. O primeiro é um método de previsão de erro divergente: funciona mediante a associação até dez modos de erro a cada ação. Enquanto o segundo, é uma técnica convergente de previsão de erros, que funciona através da identificação das possíveis transições entre os diferentes estados de um dispositivo e utiliza a descrição normativa do comportamento (fornecida pelo HTA) para identificar ações potencialmente erróneas (Baber & Stanton, 2002).

4.2.3. Métodos de Análise Situacional e de Carga de Trabalho

A carga de trabalho mental é definida como um conceito multidimensional que incorpora as exigências da tarefa e o desempenho em conjunto com as competências e a atenção do operador. Tanto a sobrecarga como a subcarga mental estão associadas a decréscimos no desempenho, sendo que o design da tarefa tem o desafio de manter a carga de trabalho dentro de uma zona de desempenho ideal, onde a carga de trabalho não é nem demasiado elevada nem muito baixa. As medidas de carga de trabalho mental incluem medidas de desempenho de tarefas primárias e secundárias, assim como medidas fisiológicas e medidas subjetivas (Young et al., 2015).

Existem quatro métodos que se encontram relacionados com a carga de trabalho mental, com a modelação do tempo da tarefa e com a consciência situacional. Os referidos métodos incluem o índice de carga de tarefas da NASA (*NASA Task Load Index*) e a técnica de avaliação da percepção da situação, o modelo de partilha de tempo de vários recursos, a análise do caminho crítico e a técnica de avaliação global da percepção da situação (Stanton et al., 2005).

Há uma variedade de métodos disponíveis para medir a carga de trabalho mental, sendo de destacar que se trata de campo cada vez mais importante, com mais ênfase nas exigências de tarefas cognitivas (Stanton et al., 2005).

4.2.3.1. NASA Task Load Index

É uma ferramenta subjetiva de avaliação de carga de trabalho mental usada para medir a carga de trabalho mental ou *mental workload* (MWL) do participante durante o desempenho da tarefa. O NASA TLX é uma ferramenta de classificação multidimensional usada para proporcionar uma classificação da carga de trabalho geral com base numa média ponderada de seis classificações de subescala de carga de trabalho. O TLX usa as seguintes subescalas (NASA, 2020):

1. Exigência mental: corresponde à exigência mental e atividade perceptiva que foram necessárias (por exemplo, para pensar, decidir, calcular, lembrar, olhar, pesquisar, etc.);
2. Exigência física: a quantidade de atividade física necessária, inclusivamente os movimentos de empurrar, puxar, girar, controlar, ativar, etc.;
3. Exigência temporal: a pressão sentida, em termos de tempo, devido à taxa ou ritmo em que as tarefas ou elementos da tarefa ocorreram;
4. Esforço: o empenho necessário para trabalhar (mental e fisicamente) para atingir o seu nível de desempenho;
5. Desempenho: o grau de sucesso em cumprir as metas da tarefa estabelecidas pelo analista (ou pela própria pessoa);
6. Nível de frustração; o grau de insegurança, desanimação, irritação, stress e aborrecimento versus segurança, satisfação, relaxação e complacência sentido durante a tarefa.

Cada subescala é apresentada aos participantes durante ou após o ensaio experimental, sendo-lhes solicitada a classificação da sua pontuação numa escala de intervalo que varia de baixo a alto (escala entre 1 - 20). O TLX também engloba um procedimento de comparações emparelhadas. Isto envolve apresentar 15 combinações de pares aos

participantes e pedir-lhes que selecionem a escala de cada par que tem o maior efeito na carga de trabalho durante a tarefa em análise. Este procedimento é responsável por duas potenciais fontes de variabilidade entre os avaliadores; as diferenças na definição da carga de trabalho entre os avaliadores e também as diferenças entre fontes de carga de trabalho entre as tarefas (NASA, 1986).

4.2.3.2. O método mmCPA

O método de análise de caminho crítico multimodal ou multimodal *critical path analysis* (mmCPA) tem as suas raízes em duas tradições: é baseado na literatura relacionada com a gestão de projetos, sendo que a multimodalidade das pessoas é baseada na literatura relativa aos fatores humanos (Lockyer & Gordon, 2005).

Os métodos tradicionais para modelar o tempo de resposta humana são limitados porque não representam multimodalidade. Por exemplo, o método do modelo *Keystroke-level* (KLM), ou de nível de pressão de tecla, oferece um método aditivo simples para calcular os tempos de resposta em tarefas com computador. O modelo procura decompor a atividade humana em tarefas unitárias e atribuir tempos padrão a cada uma dessas tarefas. O tempo de transação é calculado somando todos os tempos (Baber & Mellor, 2001).

O método KLM representa uma abordagem particular para a interação computador-homem ou *human-computer interaction* (HCI), que pode ser pensada como uma redução de recursos humanos em prol de sistemas de engenharia, ou seja, com ações padronizadas e previsíveis que podem ser atribuídas a tempos padrão. No entanto, esta abordagem tradicional não tem em consideração a teoria dos recursos de atenção múltipla, que propõe que as tarefas podem ser realizadas em paralelo se utilizarem modalidades diferentes e se utilizarem diferentes recursos. Existe uma diferença fundamental no desempenho entre as tarefas realizadas em paralelo e as realizadas em série. Se duas ou mais tarefas ocupam a mesma modalidade, então deverão ser realizadas em série, mas se ocupam modalidades diferentes, poderão ser realizadas em paralelo (Baber & Mellor, 2001).

A abordagem utilizada no mmCPA visa modelar o tempo da tarefa com uma maior precisão, comparativamente ao modelo KLM (Baber & Mellor, 2001).

Situation Awareness Global Assessment Technique

A Técnica de Avaliação Global de Consciencialização da Situação ou *Situation Awareness Global Assessment Technique* (SAGAT) foi inicialmente aplicada nas áreas militar e aeronáutica. Trata-se de uma ferramenta de medição da Consciencialização da Situação, ou *Situation Awareness* (SA), a qual atua de forma direta e objetiva (Dishman et al., 2020).

De acordo com Endsley (2000), a SA reflete até que ponto o operador sabe o que está a acontecer no seu ambiente, sendo o resultado de vários processos mentais, designadamente a atenção, a perceção, a memória e a expectativa.

A SAGAT mede três níveis de consciência, ou seja, a perceção de elementos, a compreensão da situação e a previsão do estado futuro, através da apresentação de perguntas abertas de memorização (*recall-probe questions*) quando a tarefa é interrompida. Os inquéritos de memorização (*recall probes*) são desenvolvidas através de uma técnica do tipo HTA, de forma que os objetivos do operador possam ser extraídos. Assim, podem ser desenvolvidas as questões para cada um dos três níveis de consciência. No caso da simulação de uma tarefa, a técnica requer a paragem da simulação enquanto as questões são apresentadas. Este processo é realizado várias vezes em pontos aleatórios ao longo da sessão experimental (de Winter et al., 2019; Endsley, 1988).

Multiple Resources Time-Sharing Model

O modelo de partilha de tempo de recursos múltiplos ou *Multiple Resources Time-Sharing Model* (MRTSM) foi desenvolvido a partir da teoria de recursos múltiplos de Wickens em 1992, através de uma abordagem prática para prever a carga de trabalho em situações onde várias tarefas são realizadas simultaneamente (Wickens, 2008).

O modelo estabelece a distinção entre modalidades percetivas, etapas de processamento, códigos de processamento e respostas. A metodologia para prever o desempenho de várias tarefas pode ser usada para avaliação heurística e computacional, sendo possível prever a sobrecarga. Este facto proporciona uma extensão considerável da teoria de múltiplos recursos, tornando-a numa metodologia de previsão. Na sua forma atual, o método não é capaz de prever subcarga mental nas tarefas (Wickens, 2008).

4.3. Os Métodos Psicofisiológicos

Os métodos psicofisiológicos baseiam-se em diversos métodos de medição de parâmetros fisiológicos, usados na área médica, os quais são aplicados à área dos Fatores Humanos e Ergonomia para estudar a relação dos operadores nos locais de trabalho com carga de trabalho ou, mais especificamente, com a carga de trabalho mental. O grupo dos métodos psicofisiológicos englobam os métodos apresentados de seguida (Stanton et al., 2005).

4.3.1. Medição Eletrodérmica

Conhecida desde o final do século XIX, a atividade eletrodérmica é uma das medidas periféricas mais utilizadas na avaliação psicofisiológica, tendo como base biológica a atividade das glândulas sudoríparas écrinas (Vila, 2004), cujas funções consistem na secreção do suor e na participação na termorregulação corporal (Baker & Wolfe, 2020). Contrariamente às glândulas apócrinas, as glândulas écrinas são pequenas, são formadas por uma estrutura tubular de cerca de 3 a 5 mm de comprimento (Figura 31), encontram-se localizadas na derme profunda e estão distribuídas pela maior parte da superfície corporal.

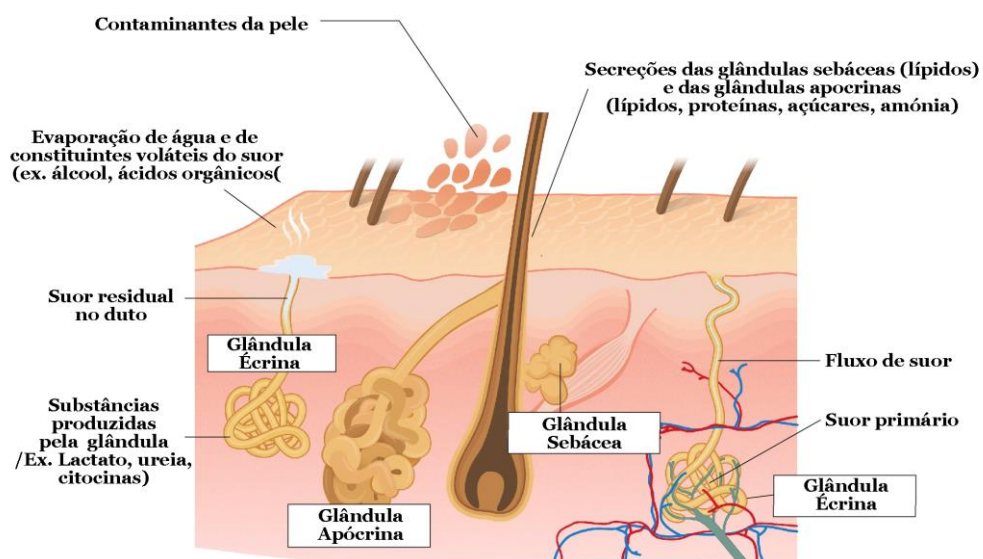


Figura 31 - Visão geral das atividades das glândulas sudoríparas écrinas e apócrinas numa secção de pele (Baker & Wolfe, 2020).

A Medição Eletrodérmica (Figura 32) é utilizada para investigar as respostas de orientação e a sua habituação, de forma a proporcionar o estudo do condicionamento autónomo, para a determinação da capacidade de processamento de informação necessária durante uma tarefa, assim como para a determinação do nível de excitação/stress, especialmente em situações que implicam emoções negativas. Também

é utilizado para a medição da carga de trabalho e da tensão mental, especificamente a tensão emocional. Os aumentos de certos tipos de atividade eletrodérmica indicam prontidão para a ação (Stanton et al., 2005).

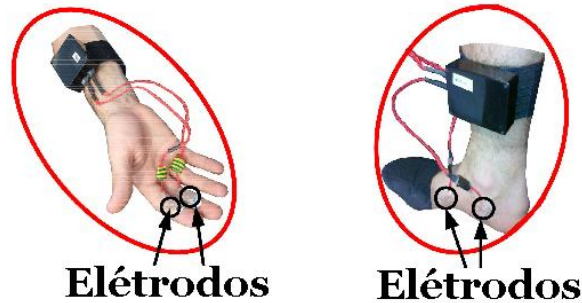


Figura 32 - Medição dos sinais de atividade eletrodérmica (Kappeler-Setz et al., 2013).

4.3.2. A Eletromiografia (EMG)

O método baseia-se na monitorização da função muscular através da análise dos sinais elétricos emitidos durante as contrações musculares (Figura 33). Por não ser um método invasivo, a EMG é usada frequentemente tanto na Ergonomia como na área de investigação de Segurança e Saúde no Trabalho, permitindo a realização de medições do esforço físico durante os movimentos, bem como as reações fisiológicas causadas pelos processos mentalmente controlados (Stanton et al., 2005; Vila, 2004).

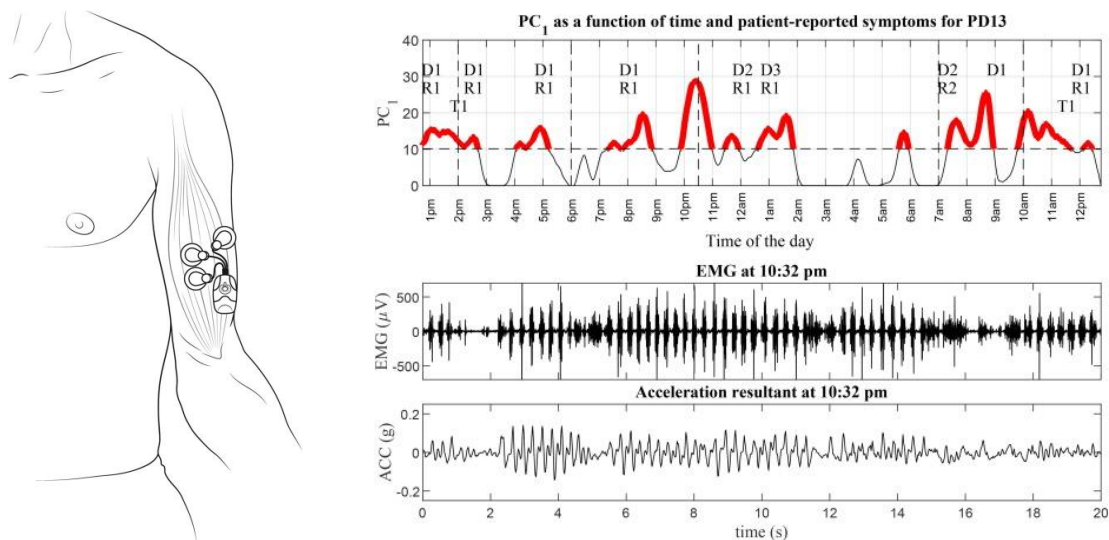


Figura 33 - Configuração de medição composta por uma unidade de medição e três elttodos de superfície e respetiva eletromiografia (Rissanen et al., 2021).

4.3.3. Esforço Mental Estimado Através da Frequência Cardíaca e da Variabilidade da Frequência Cardíaca

Neste método, a frequência cardíaca é o tópico central. A frequência cardíaca é medida através de um eletrocardiograma (ECG), que reflete a atividade (elétrica) do coração. Para a avaliação do esforço mental, o ECG em si não é de interesse; em vez disso, o tempo de duração entre os batimentos cardíacos é a informação mais importante (Stanton et al., 2005).

Durante o desempenho da tarefa, os operadores precisam despende esforço (mental), o que geralmente se reflete no aumento da frequência cardíaca e na diminuição da variabilidade da frequência cardíaca, quando comparado com situações de repouso (Stanton et al., 2005).

O padrão geral de resposta cardiovascular, que é encontrado em muitos estudos de esforço mental, pode ser caracterizado por um aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial e uma diminuição da variabilidade da frequência cardíaca e da pressão arterial em todas as bandas de frequência. Este padrão é comparável a uma reação de defesa e é predominantemente encontrado em estudos de laboratório usando tarefas de curta duração que requerem operações mentais desafiantes (Stanton et al., 2005).

De acordo com Vila (2004), o significado psicológico da frequência cardíaca pode ter duas interpretações principais: as interpretações cognitivas e as motivacionais.

A interpretação cognitiva assume que as mudanças cardíacas em resposta a estímulos externos ou internos refletem os mecanismos de atenção e percepção, que visam facilitar (desaceleração da frequência cardíaca) ou inibir (aceleração da frequência cardíaca) o processamento sensorial (Vila, 2004).

Por outro lado, a interpretação motivacional assume que as alterações cardíacas refletem mecanismos metabólicos que visam fornecer energia para comportamentos adaptativos, ou seja, caso se trate de um comportamento passivo, a resposta cardíaca corresponderá a uma desaceleração da frequência cardíaca. Em contrapartida, se o comportamento for ativo física ou psicologicamente, a resposta cardíaca corresponderá a uma aceleração da frequência cardíaca (Vila, 2004).

4.3.4. Os Métodos de Eletroencefalografia (EEG) com Registo Ambulatório e de Sonolência

A atividade elétrica gerada pela ação em massa dos neurónios nas estruturas do córtex e do mesencéfalo é medida por eletroencefalografia. Uma vez que as correntes elétricas geram campos magnéticos, estes campos podem ser medidos por magnetoencefalografia (Breakwell et al., 2006).

Os métodos EEG descrevem a técnica para deteção de estados de hipovigilância (menor atenção ao mundo externo), ou mesmo sonolência, através da gravação do EEG (e electrooculograma) ambulatorial, permitindo ao investigador efetuar medições da sonolência e sono manifestados segundo a segundo. A técnica de medição é relativamente antiga, muito utilizada, fiável e bem aceite pela comunidade de científica (Stanton et al., 2005).

4.3.5. Avaliação da Função Cerebral e Cronometria Mental com Relação a Potenciais Eventos (ERP)

Este tipo de avaliação descreve a cronometria mental usando o potencial relacionado ao evento ou *event-related potential* (ERP), que é uma série transitória de oscilações de voltagem no cérebro que podem ser registadas a partir do couro cabeludo em resposta a estímulos e respostas discretas (Stanton et al., 2005).

Alguns componentes do ERP, geralmente definidos em termos de polaridade e latência em relação a estímulos ou respostas discretas, foram encontrados para refletir uma série de processos perceptivos, cognitivos e motores distintos, revelando-se úteis na decomposição dos requisitos de processamento de tarefas complexas (Stanton et al., 2005).

Os ERPs são usados para estudar aspetos relacionados com a cognição que são relevantes para os Fatores Humanos e para a investigação ergonómica, incluindo tópicos como vigilância, carga de trabalho mental, fadiga, ajuda adaptativa, efeitos de stress na cognição e automatização (Stanton et al., 2005).

4.3.6. Monitorização do Estado de Alerta Através do Fecho das Pálpebras

Certas técnicas de psicofisiologia ocular foram identificadas devido ao seu potencial na deteção de mudanças, minuto a minuto, na sonolência e hipovigilância, mudanças estas que estão associadas a lapsos de atenção e diminuição do estado de alerta durante o

desempenho de funções. Uma das técnicas está relacionada com a lentidão do fecho da pálpebra, referido como percentagem de fecho ou *percentage of closure* (PERCLOS). Esta técnica, que está a ser usada cada vez mais, e correlaciona-se com os lapsos no desempenho da vigilância visual, revelando-se útil na monitorização dos operadores no seu ambiente de trabalho (por exemplo, motoristas profissionais) (Stanton et al., 2005).

4.3.7. Medição da Respiração em Fatores Humanos Aplicados e Pesquisa de Ergonomia

Na avaliação da capacidade respiratória são efetuadas medições do processo de respiração e de troca gasosa. De um modo mais específico, a oximetria determina os níveis de oxigênio (O₂) no sangue arterial e a capnometria infravermelha determina os níveis de dióxido de carbono (CO₂) no pulmão, sendo que a frequência e a profundidade de respiração abdominal e torácica também podem ser medidas (Breakwell et al., 2006).

Deste modo, a avaliação respiratória é um recurso potencialmente poderoso, pois encontra-se intimamente relacionado a uma variedade de dimensões psicológicas funcionais importantes, incluindo requisitos de resposta e padrões de avaliação. As medidas respiratórias também podem fornecer informações suplementares valiosas para medidas alternativas (medidas subjetivas e outras medidas relativas à carga de trabalho do operador) e nos casos em que o ambiente da tarefa é um ambiente com stress ou potencialmente perigoso (Stanton et al., 2005).

4.3.8. Avaliação de riscos ergonómicos baseada no dispêndio de energia metabólica

O método de avaliação de riscos ergonómicos baseado no dispêndio de energia metabólica foi introduzido por Garg, Chaffin & Herrin (1978). Este método baseia-se na avaliação do gasto energético durante a execução de determinadas operações padrão, em função do consumo de oxigénio.

Deste modo, o consumo metabólico médio total é determinado pela soma dos consumos de energia para cada movimento que compõe o trabalho e para a manutenção das posturas corporais, sendo em média sobre o tempo total de trabalho. Esta fórmula parte do pressuposto de que um trabalho pode ser dividido em atividades mais simples, e que cada uma das atividades tem um custo metabólico associado, o qual pode ser determinado.

De acordo com Garg, Chaffin & Herrin (1978), o gasto energético metabólico é influenciado por diversos fatores, tais como: o gênero, o peso corporal, o peso da carga, as alturas verticais ao baixar/levantar, os movimentos laterais dos braços no plano horizontal, a velocidade ao caminhar e transportar cargas, as posturas e o tempo de duração do trabalho.

A simplicidade do método tem permitido uma ampla aplicação em diversos setores, como médico, militar e industrial. As fórmulas de cálculo introduzidas por Garg, Chaffin & Herrin (1978) permitem estimar o gasto energético de cada execução de uma única tarefa, como por exemplo baixar ou levantar um objeto, transportar um objeto a uma certa distância, caminhar ou ficar em pé numa posição estática, entre outras tarefas (Battini et al., 2016).

4.4. Métodos Ergonômicos Integrados com as Tecnologias da Indústria 4.0 na Avaliação de Riscos

Dada a variedade de processos e ambientes industriais, torna-se difícil definir uma estrutura multifuncional para orientar as intervenções ergonômicas necessárias para o controle dos diversos fatores de risco, nomeadamente no que concerne à minimização de riscos de lesões músculo-esqueléticas. Esta dificuldade é ainda mais acentuada pela frequente introdução de novas tecnologias, como o caso dos *Cobots*, tornando-se mais complexa com a introdução da Indústria 4.0, dada a diversidade de fatores de risco associados a este novo paradigma industrial. Deste modo, através da realização de uma pesquisa bibliográfica sobre a aplicação de métodos de avaliação ergonômicos na atualidade, foram encontrados diversos estudos, nos quais foram utilizadas diversas metodologias para a avaliação de riscos em diferentes contextos, os quais se encontram sintetizados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo dos métodos de avaliação ergonômicos aplicados na atualidade.

| Métodos/ Modelos | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Fatores de Risco |
|---|---------------------------------------|--|---|-----------------------------|
| <p>Inteligência Artificial</p> <p>Mecanismo de Inferência <i>Fuzzy</i> ou <i>Fuzzy Inference Engine</i> (IE) com incorporação de regras baseadas nas <i>checklists</i> de avaliação de corpo inteiro mais relevantes, de acordo com os métodos RULA, REBA e OCRA.</p> | (Savino, Battini & Riccio, 2017) | <p>Desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação postural de corpo inteiro baseada em <i>Fuzzy Logic</i>, desenvolvida dentro de um Mecanismo de Inferência <i>Fuzzy</i>, contendo as principais regras de avaliação das <i>checklists</i> de avaliação de corpo inteiro mais relevantes, de acordo com os métodos RULA, REBA e OCRA.</p> | <p>O desenvolvimento de um sistema protótipo baseado em <i>Fuzzy Inference Engine</i> para avaliação postural, proporcionou uma nova forma de obter resultados relevantes, através de uma abordagem baseada na aplicação da inteligência artificial na área da Ergonomia.</p> | Físicos |
| <p>Métodos Antropométricos incorporados na Inteligência Artificial</p> <p>Estimativa de medidas antropométricas através de regressões por <i>Machine Learning</i></p> | (Rativa, Fernandes & Roque, 2018) | <p>Estudo sobre a aplicação de diferentes modelos de <i>Machine Learning</i> para a estimativa da altura e do peso a partir de medidas antropométricas. Foram usados vários métodos, como a regressão vetorial de suporte, o processo gaussiano e as redes neurais artificiais.</p> | <p>Os valores previstos são significativamente mais precisos do que os obtidos através de regressões lineares convencionais. A análise do modelo de <i>Machine Learning</i> cria oportunidades para as aplicações antropométricas na indústria, na tecnologia têxtil e área da segurança e saúde.</p> | Físicos |
| <p>Algoritmo de classificação</p> <p>Árvore de decisão¹</p> <p>Os movimentos foram definidos através de um acelerómetro triaxial (<i>ActivPAL monitor</i>)</p> | (Anderson et al., 2019) | <p>Definição e diferenciação de diversas atividades baseadas no trabalho "em pé", tal como ficar em pé estaticamente, efetuar deslocamento de pesos, arrastar os pés, caminhar e estar sentado. Os dados são registados através de um <i>activPal monitor</i> colocado nas ancas dos participantes.</p> | <p>O método permite classificar e diferenciar, com uma precisão de 93,3 - 96,8%, as atividades: sentar, ficar em pé, transferir peso, arrastar os pés e caminhar.</p> | Físicos |

¹ O método consiste num grande número de árvores de decisão individuais, que operam como um conjunto. Cada árvore individual, na "floresta" aleatória, exhibe uma previsão de classe, sendo que a classe com mais votos torna-se a previsão do modelo geral (Anderson et al., 2019).

| Métodos/ Modelos | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Fatores de Risco |
|---|---------------------------------------|---|---|-----------------------------|
| <p>Algoritmo de classificação baseado em <i>Machine Learning</i></p> <p><i>Random-Forest</i> ou Floresta Aleatória²</p> | (Hosseinian et al., 2019) | O estudo visa classificar as atividades de manuseamento manual de materiais: quatro atividades estáticas e sete atividades dinâmicas | Permite comparar as atividades físicas classificadas com a análise de tarefa baseada em vídeo com uma precisão de 89% a 96,5%. | Físicos |
| <p>Métodos OWAS, RULA, OCRA e NIOSH. Para comparação, foi aplicado o Questionário Nórdico Músculo-Esquelético (NMQ).</p> | (Rosado et al., 2020) | Análise de riscos de lesão músculo-esquelética, no setor de estampagem de uma fábrica. Para a análise ergonômica, foi feita a medição do tempo e do número de movimentos por ciclo. Foi realizada a análise do posto de trabalho e equipamentos, tendo sido efetuada a avaliação postural e riscos com os métodos OWAS, RULA, OCRA e NIOSH. Para comparação, foi aplicado o NMQ a 100% dos trabalhadores. | O NMQ permitiu ratificar o resultado do método RULA, referente às regiões do corpo mais prejudicadas pelas tarefas. Foi verificado que os métodos são complementares, permitindo determinar o motivo da gravidade da atividade. | Físicos |
| <p>Abordagem ergonômica multi-método, baseada em vários métodos validados, como o (RULA) e o método desenvolvido pelo Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) e o <i>Key Indicator Method for assessing physical workload during Manual Handling Operations</i> (KIM-MHO)</p> | (Colim et al., 2020) | A partir da caracterização inicial do problema, em termos de riscos ergonômicos mais significativos, e através da aplicação de três métodos de avaliação: o RULA, o FIOH e o KIM-MHO; foram detetadas as áreas e tarefas que podem ser otimizadas através da incorporação de Cobots, | A abordagem contempla o redesenho do processo e alocação de tarefas do posto de trabalho futura, sendo possível estabelecer os requisitos necessários para a criação de uma célula de trabalho colaborativa. | Físicos |

² A floresta aleatória é um algoritmo de *Machine Learning*. A “floresta” que é criada corresponde a um conjunto de árvores de decisão, geralmente treinadas com o método “*bagging*”. A ideia geral do método de *bagging* é que uma combinação de modelos de aprendizagem aumenta a eficácia do resultado geral (Hosseinian et al., 2019).

| Métodos/ Modelos | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Fatores de Risco |
|---|---------------------------------|--|---|---------------------|
| <p>Método de avaliação ergonômica de riscos, com cálculo automático das pontuações do RULA a partir de fotografias ou vídeo digital usando visão computacional e <i>Machine Learning</i></p> | <p>(Fernández et al., 2020)</p> | <p>Desenvolvimento de um método avaliação ergonômica de riscos, com o cálculo automático das pontuações do RULA a partir de fotografias ou vídeo digital usando visão computacional e <i>Machine Learning</i>, com o <i>workflow</i> de processamento que usa redes neurais de código aberto para detetar os esqueletos dos trabalhadores.</p> | <p>O método permite a realização de avaliações não supervisionadas, incluindo vários trabalhadores simultaneamente, mesmo sob condições de visualização abaixo do ideal (por exemplo: iluminação deficiente, oclusões e visualizações de câmara instáveis), sendo que as posições e ângulos das articulações do corpo são inferidos, de acordo com a pontuação do método RULA são calculadas.</p> | <p>Físicos</p> |
| <p>Monitorização através de sensores. Medições fisiológicas. Sensores vestíveis exemplificados por monitores baseados em acelerometria de corrente, referido como sistemas de "sensor vestível de monitorização de parâmetro único" ou "<i>single-parameter monitoring wearable sensor</i>" (SPMWS)</p> | <p>(Lee et al., 2017)</p> | <p>Comparação das medições do acelerómetro do sensor com um sistema SPMWS de referência, com um acelerómetro. Comparação das avaliações de postura efetuadas através gravações de vídeo para a determinar a qualidade das medições de flexão torácica efetuadas através dos sistemas.</p> | <p>O estudo sugere que os <i>multi-parameter monitoring wearable sensors</i> (MPMWS) colocados nos membros superiores são potencialmente aceitáveis para tarefas lentas em posturas não neutras em comparação com o SPMWS na postura simétrica de eixo único. Os sensores vestíveis são muito promissores para futuros estudos ergonómicos.</p> | <p>Físicos</p> |

| Métodos/ Modelos | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Fatores de Risco |
|--|--|--|--|---------------------------------|
| <p>Método Psicofisiológico Eletromiografia</p> <p>Sistema EMG de superfície com sistema de sensores</p> | (Claudon et al., 2020) | Investigação do impacto da estimulação restritiva e flexível durante a montagem de produtos customizados entre grupos de participantes mais jovens e mais velhos. | <p>Constatação de que a existência de mais folgas temporais, podem contribuir para a diminuição das cargas biomecânicas.</p> <p>Foi possível caracterizar os efeitos da idade sobre o desempenho no trabalho.</p> | Físicos |
| <p>Método Psicofisiológico</p> <p>Avaliações de desconforto percebido (RPDs) e eletromiografia (EMG)</p> | (Rashed et al., 2014) | Avaliação do potencial de um braço mecânico e de um colete exosquelético como dispositivo de assistência/auxiliar vestível (WADE) para a execução de trabalhos acima do nível da cabeça. Os participantes efetuaram 10 minutos de trabalho simulado intermitente, com diferentes cargas e com e sem utilização do WADE | <p>Através da recolha de informações/opiniões por parte dos participantes, foi constatado o bom nível de aceitação em relação à utilização do WADE, apesar de alguns relatos de constrangimentos em relação certos tipos de movimentos do tronco em relação à pelve.</p> <p>O uso de um braço mecânico e de um colete exosquelético (WADE) mostrou-se eficaz, no caso de tarefas intermitentes realizadas acima do nível da cabeça, em termos de redução das exigências físicas nas extremidades superiores.</p> | Físicos |
| <p>Método cognitivo</p> <p>Método Psicofisiológico Eletromiografia</p> <p>Sistema EEG de eletrodo seco único</p> | (Iqbal, Srinivasan & Srinivasan, 2020) | Avaliação do potencial do EEG (medições fisiológicas) para medição da carga de trabalho cognitiva de operadores humanos na sala de controlo dos processos químicos. | A metodologia proposta permite identificar as semelhanças e incompatibilidades entre o modelo mental dos operadores e o comportamento real do processo durante situações anormais. | Organizacionais e Psicossociais |

| Métodos/ Modelos | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Fatores de Risco |
|---|---------------------------------------|---|---|--|
| Método Cognitivo Inteligência artificial <i>Deep-Learned</i> baseado num Sistema de informação de Ergonomia de Cultura | (Vasilyev, Gromyko & Anosov, 2019) | Investigação e comparação de diferentes áreas de conhecimento que sofrem constantes problemas cognitivos, educacionais e intelectuais. | A tecnologia contribui permitindo a autoformação da dupla hélice da consciência para solucionar o problema de universalidades. | Organizacionai s e Psicossociais |
| Método Macroergonómico Entrevista aos participantes | (Maurtua et al., 2017) | Medição da confiança dos trabalhadores na colaboração homem-robô em áreas sem vedação de proteção, bem como a avaliação da aceitação dos diferentes mecanismos de interação entre robôs e seres humanos. | A percepção da confiança na estratégia de segurança foi globalmente positiva. Permite aferir o grau de aceitação por parte dos colaboradores em trabalhar em ambientes colaborativos, bem como, a aceitação de mecanismos de interação baseados em gestos e em sistemas mão-guia. | Organizacionai s e Psicossociais |
| Método Microergonómico Método de avaliação baseado no movimento dos olhos do utilizador e na manipulação interativa | (Zhang et al., 2019) | Identificação e prevenção de problemas ergonómicos cognitivos com base na ação do usuário e no modelo cognitivo e estabelecer a relação entre os problemas ergonómicos cognitivos e os dados medidos continuamente em tempo real. | Através de testes de tarefas, foi possível propor um método de medição com base no movimento dos olhos do utilizador e manipulação interativa, classificar os erros do utilizador, verificar a eficácia da classificação. | Organizacionai s e Psicossociais |
| Método Psicossocial <i>Copenhagen Psychosocial Questionnaire</i> (COPSOQ) | (Cheng, Pien & Cheng, 2021) | O estudo teve como objetivo examinar a associação da probabilidade de automatização das tarefas ou trabalho com o stress e saúde do trabalhador | O método permite determinar o nível de stress dos trabalhadores, com base na probabilidade de automatização das tarefas, trabalho ou posto de trabalho | Psicossociais |

Através da pesquisa bibliográfica efetuada, que se encontra resumida na Tabela 14, verifica-se a existência de métodos/modelos predominantemente mais aplicados para cada um dos tipos fatores de risco. Em relação à avaliação de riscos físicos, existe uma

predominância para a aplicação dos métodos RULA, REBA, OCRA e OWAS, bem como a aplicação de métodos psicofisiológicos baseados em Eletromiografia, verificando-se, no entanto, um maior foco na aplicação do método RULA.

Em trabalhos mais recentes, relacionados com os métodos de avaliação de riscos físicos, começam a surgir métodos referência (RULA, REBA, OCRA, OWAS, etc.) aliados à Inteligência Artificial, designadamente ao desenvolvimento em *Machine Learning*.

No que concerne aos fatores de risco organizacionais e psicossociais, existe um maior foco na aplicação de métodos de avaliação cognitivos e Macroergonómicos, baseados fundamentalmente em questionários/Inquéritos e entrevistas, verificando-se também, em alguns trabalhos de investigação mais atuais, a incorporação da Inteligência Artificial. Por outro lado, relativamente a avaliação de riscos psicossociais, destaca-se o *Copenhagen Psychosocial Questionnaire* (COPSOQ), que é um método largamente utilizado na avaliação de uma ampla variedade de riscos psicossociais.

4.5. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Avaliação de Riscos Ergonómicos

De acordo com a Human Factors and Ergonomics Society (2020), atualmente, é dada pouca ênfase ao desenvolvimento e utilização das novas tecnologias para a otimização e adequação das tarefas à capacidade do trabalhador, de acordo com o grau de exigência das tarefas. Além disso, existe uma série de questões sociotécnicas associadas à introdução da Indústria 4.0, incluindo a sua aceitabilidade por parte dos trabalhadores, sendo que questões respeitantes ao conforto, à confiança, à segurança dos dados, à privacidade e às mudanças nas interações sociais no trabalho são fatores relevantes para o sucesso da sua implementação. É necessária a realização de mais trabalhos de investigação para determinar a evidência da capacidade da Indústria 4.0 no apoio à prevenção de lesões, na criação de modelos de risco validados e na precisão das medições obtidas através destas tecnologias, e criar métodos eficazes para integrá-los de maneira aceitável para os trabalhadores.

O método a utilizar na avaliação de riscos ergonómicos presentes antes da aplicação dos modelos de otimização será baseado no dispêndio de energia metabólica, visto tratar-se de uma técnica de aplicação mais rápida que proporciona resultados mais objetivos e com maior reprodutibilidade, comparativamente aos métodos OCRA, NIOSH, OWAS, RULA (Battini et al., 2016; Hills, Mokhtar & Byrne, 2014).

Com vista em alcançar o objetivo geral do presente estudo, a revisão bibliográfica efetuada neste capítulo incidiu sobre o objetivo específico respeitante à realização de uma avaliação de riscos ergonómicos às tecnologias a implementar, sendo que a metodologia a desenvolver na próxima etapa, de teor mais prático, será baseada em duas etapas, as quais correspondem aos seguintes métodos cognitivos:

- Primeira etapa: Análise Hierárquica de Tarefas (HTA);
- Segunda etapa: NASA *Task Load Index* (NASA TLX).

Capítulo 5:

Métodos de Otimização para a Prevenção de Riscos Ergonômicos

Os métodos de otimização podem ser usados para conceber decisões ou previsões eficazes numa variedade de contextos, por exemplo, desde o planeamento da produção até os projetos de engenharia e finanças. Em termos simplificados, o processo de tomada de decisão começa com a fase de construção de um modelo matemático adequado para um problema concreto, seguido por uma fase onde o modelo é resolvido através de algoritmos numéricos adequados. Um modelo de otimização normalmente requer a especificação de um critério quantitativo objetivo para a decisão, o qual se deseja maximizar (ou, alternativamente, um critério que se deseja minimizar, por exemplo o custo), bem como a especificação de restrições, representando os limites físicos das ações de decisão, como orçamentos de recursos, requisitos de design, entre outros. Um design ideal é aquele que fornece o melhor valor objetivo possível, enquanto satisfaz todas as restrições do problema (Calafiore & Ghaoui, 2014).

No presente estudo, como já foi referido, pretende-se efetuar o desenvolvimento e aplicação de três métodos de otimização que permitam implementar tecnologias e dispositivos da Indústria 4.0, de modo a eliminar/minimizar os riscos ergonômicos. Os métodos contemplarão as três seguintes vertentes: o design/organização de *layouts* de linhas de produção e o planeamento de tarefas, incluindo a possibilidade de rotatividade de tarefas e otimização da postura dos colaboradores ao longo da linha de produção e a seleção de ferramentas da Indústria 4.0 para minimização dos riscos ergonômicos.

5.1. Métodos de Otimização de *Layouts* de Linhas de Produção

O *layout* de uma fábrica é o fator decisivo em termos de níveis de produção, de eficiência e até mesmo para a sustentabilidade da empresa. Independentemente do tipo de *layout* a implementar, estes são normalmente projetados com o intuito de otimizar as condições da área de trabalho e proporcionar uma boa *performance* aliada à minimização das perdas de produção (Gayam, Shanmuganandam & Vinodh, 2020).

A resolução da maioria dos problemas de *layout* de linhas de montagem aplica algoritmos de decomposição, algoritmos de múltiplos estágios, algoritmos genéticos e outras técnicas (Qattawi & Chalil Madathil, 2019).

Através de uma pesquisa bibliográfica sobre a otimização de *layouts* de linhas de produção, foram encontrados diversos estudos, nos quais foram utilizadas diversas metodologias para a resolução de problemas nesta vertente, os quais se encontram sintetizados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo de alguns estudos sobre métodos para otimização de *layouts* de áreas de produção.

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonômica |
|--|-----------------------------------|--|---|--|
| Algoritmos genéticos | (Hu et al., 2011) | Aplicação de algoritmos genéticos para a resolução de problemas de criação e avaliação de sequências de montagem tendo em consideração as restrições geométricas da montagem e outros aspetos de otimização, e otimização do planeamento da sequência de montagem. | Permite encontrar as sequências de montagem ótimas, desenvolver sistemas de planeamento e avaliação de sequências de montagem auxiliado por computador (ASPEN) considerando todos os componentes do modelo de um produto. | Não |
| Duas versões do algoritmo de otimização de colónia de formigas (ACF), versão básica e a versão aumentada | (Xie et al., 2015) | Método de otimização de <i>layouts</i> para linhas de montagem/fixação de peças, com base em métodos de otimização contínua. | Possibilita obter o <i>layout</i> ideal para processos de fixação de acessórios que satisfaçam o valor mínimo da função objetivo. | Não |
| Algoritmo genético | (RazaviAlavi & AbouRizk, 2017) | Modelo integrado que usa a simulação para estimar o custo do <i>layout</i> , tendo em consideração as restrições para a distância necessária para segurança ou acessibilidade entre as instalações. | O modelo permite o uso de distribuição de probabilidade triangular para incorporar dados imprecisos. | Não |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonômica |
|---|-----------------------------------|--|---|--|
| Algoritmo exponencial para NP <i>Hard Problem</i> | (Qattawi & Chalil Madathil, 2019) | Sugestão de método para o design de linhas de montagem para a indústria automóvel que integram abordagens de produção Lean e algoritmos de balanceamento de linha (ALB). | Permite a atribuição de tarefas às estações, proporcionando um <i>takt time</i> reduzido, gerando o mínimo de estações necessárias. | Não |
| Programação Linear Inteira Mista | (Finco et al., 2019) | Propõem um novo modelo para comparar os custos totais de uma linha de montagem com e sem a integração da ISO 5349-1, norma europeia que define o limite de exposição à vibração dos trabalhadores. | Através do modelo é possível definir o número de estações de trabalho, o <i>takt time</i> e atribuição de tarefas e ferramentas que respeitem a minimização de todo o custo do projeto. | Não |
| Desenvolvimento de modelo matemático | (Weckenborg & Spengler, 2019) | Desenvolvimento de modelo matemático para otimização de uma linha de montagem colaborativa tendo em consideração os riscos ergonômicos. | Possibilita a determinação da melhor configuração de linhas de montagem, de forma a aliar a minimização de riscos ergonômicos com a relação custo-eficiência de produção. | Sim |
| Formalismo de modelação grafo-evento | (Tiacci, 2020) | Apresentação de um modelo grafo-evento, onde os nós representam eventos, os quais especificam as ações (mudanças no estado do sistema) que são executadas quando o evento ocorre. | Adequado para representar modelos de simulação de eventos discretos, desenvolvidos através de abordagens orientadas para objetos, denominados gráfico de evento objeto-orientado. | Não |
| Algoritmo genético | (Chen et al., 2020) | Proposta de método para definir o design ideal para um sistema de distribuição num centro de distribuição logística. | Permite maximizar a capacidade de um sistema de distribuição com múltiplas estações de carregamento, com a presença de atalhos para aumento da capacidade. | Não |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonómica |
|--|-----------------------------------|---|--|--|
| Algoritmo de estimativa de tabela de pesquisa rápida (FLUTE <i>Algorithm</i>) | (Wang et al., 2020) | Proposta de método de design de <i>layout</i> para um parque industrial baseado num novo algoritmo de arranjo, tendo em consideração a rede de tubos e as fontes de risco múltiplo. | Possibilita encontrar a melhor ligação de rede de tubagem com os custos mais baixos. | Não |

Mediante a pesquisa bibliográfica efetuada que se encontra resumida na Tabela 15, verifica-se que existe uma predominância para a aplicação do algoritmo genético para a resolução deste tipo de problemas. Quanto à consideração dos riscos ergonómicos, de entre os estudos indicados, apenas um inclui a vertente ergonómica.

5.2. Métodos de Otimização de Processos de Planeamento de Tarefas

Os sistemas de fabrico avançados ocupam gradualmente uma posição dominante devido à tendência de socialização organizacional (Cheng et al., 2019).

Os requisitos de customização de pequenos lotes de produtos e lotes únicos têm trazido grandes desafios para as atividades produtivas e operacionais das empresas. Ao mesmo tempo, esta tendência potenciou o desenvolvimento dos sistemas de produção tradicionais para a obtenção de sistemas de produção mais avançados, designadamente através da decomposição de determinadas tarefas, do aproveitamento total dos recursos de produção distribuídos e da adoção de formas mais flexíveis para satisfazer as especificidades das tarefas de produção, cada vez mais personalizadas, dinâmicas, incertas e múltiplas (Cheng et al., 2019).

Como a maioria das fábricas tradicionais são projetadas para produção em massa, o que implica uma baixa flexibilidade em termos de ajuste às mudanças de requisitos, estas empresas necessitam de abandonar os típicos padrões de alocação que são relativamente maduros e procurar o desenvolvimento de novos métodos (Cheng et al., 2019).

Uma série de modelos de fabrico baseados em tarefas e recursos de produção têm sido tendencialmente propostos para abranger a propensão de desenvolvimento e a dinâmica dos requisitos, de um modo especial nos últimos anos, muitos planos estratégicos nacionais são apresentados, por exemplo, Indústria 4.0 (Cheng et al., 2019).

De acordo com Cheng et al. (2019), o desenvolvimento de novos tipos de produção inteligente, como a Indústria 4.0, assim como as estratégias propostas por diferentes países indicam que o sistema de produção com foco no cliente passou a ser a principal tendência nos últimos anos, visto que dada a sua capacidade de distribuição de tarefas e estabelecer uma boa correspondência entre oferta-procura, tornou-se num sistema eficaz para a resolução de problemas de procura personalizada e socializada.

Na produção focada no cliente, as tarefas devem ser decompostas e distribuídas de maneira eficaz. A alocação inteligente de tarefas, em conjunto com a alocação de recursos de produção, é a chave para uma melhor correspondência entre a oferta e a procura de serviços de produção. Como resultado, é necessário focar na prática do processo de alocação inteligente de tarefas, de modo a proporcionar uma resposta rápida às mudanças do mercado e equilibrar a relação entre a oferta e a procura para otimizar o processo de fabrico (Cheng et al., 2019).

Para além do foco no cliente, a produção deve contemplar os aspetos ergonómicos, de modo a contribuir para a minimização dos respetivos riscos. De acordo com Dalle Mura & Dini (2019) a Ergonomia é uma área essencial na resolução de problemas relacionados com as linhas de montagem, tanto pelos efeitos que pode ter na produtividade, como nas questões relacionadas com o fator humano. A realização frequente de movimentos repetitivos e o manuseio de componentes pesados estão entre os principais fatores que caracterizam o processo de montagem, podendo resultar numa sobrecarga para o trabalhador. Uma distribuição adequada das operações de montagem, assim como das cargas relativas de trabalho numa linha de produção pode melhorar substancialmente os aspetos ergonómicos, de acordo com as características antropométricas e fisiológicas do trabalhador (Dalle Mura & Dini, 2019).

Os algoritmos fazem parte de uma importante ferramenta de suporte para modelação e simulação de alocação de tarefas de produção. Devido às diferentes características dos sistemas, o destaque dos processos de alocação varia entre si, conduzindo a uma grande diferença em relação à seleção do algoritmo a aplicar (Cheng et al., 2019).

Os algoritmos que são frequentemente usados incluem métodos de otimização por enxame de partículas, algoritmos de *Annealing* simulado, algoritmos genéticos, algoritmos *fuzzy*, etc., sendo que algumas técnicas como *Machine Learning* e *Soft Computing* também são frequentemente usadas para a alocação de tarefas (Cheng et al., 2019).

No âmbito da otimização da alocação de tarefas de produção, foram efetuados diversos estudos com base em diversas metodologias, os quais se encontram resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - Resumo de alguns estudos sobre modelos elaborados para a otimização da alocação de tarefas de produção.

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonómica |
|---|-----------------------------------|---|---|--|
| Desenvolvimento do algoritmo de otimização da colónia de formigas (Base inicial) | (Sendova-Franks & Franks, 1993) | Estudo prático experimental com o objetivo de efetuar a alocação de tarefas numa colónia de formigas da espécie <i>Leptothorax unifasciatus</i> , com o intuito de desenvolver um algoritmo que mostre como a procura de trabalho pode ser um mecanismo eficiente e flexível para a divisão do trabalho em insetos sociais. | É possível a alocação de tarefas em colónias de formigas em ambientes variáveis (um estudo de polietismo temporal: experimental). O algoritmo obtido pode ser transposto para outras situações, inclusivamente para a otimização de tarefas em ambiente industrial. | Não |
| Método de <i>Soft Computing para construção de inteligência artificial de nova geração (processamento de informação semelhante ao humano)</i> | (Dote & Ovaska, 2001) | Proposta de um novo esquema de contratação de tarefas para a produção multiagente através do método de <i>Soft Computing</i> . | Possibilita a melhoria da tolerância para casos de imprecisão e incerteza, de modo a proporcionar robustez, tratabilidade e baixos custos. | Não |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente ergonómica |
|---|-----------------------------------|---|---|--|
| Algoritmo baseado em <i>Annealing</i> simulado | (Venkataramanaiah, 2008) | Proposta de um algoritmo baseado em <i>Annealing</i> simulado para a resolução de um problema de planeamento em sistemas de produção celular baseado em linhas de fluxo, no qual alguns produtos não requerem processamento em certas máquinas. | Permite estabelecer sequenciamentos otimizados, diminuindo o tempo de fluxo e os custos. | Não |
| Algoritmo de otimização de colónia de formigas e algoritmo genético | (Taghavifard, 2012) | Proposta para a resolução de problema de planeamento num sistema de células de produção, com tempo de configuração dependente da sequência. | Favorece a minimização do ciclo de produção considerando a família de peças na linha de fluxo da célula de produção. A minimização do ciclo de produção proporciona o aumento da capacidade de produção e a velocidade dos sistemas de fabrico. | Não |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente ergonómica |
|--|-----------------------------------|---|---|--|
| Otimização multiobjectivo de colónia de formigas ou Sistema de colónia de formigas baseado em Pareto | (Xu, Chen & Li, 2013) | É proposta uma abordagem de planeamento baseada na estrutura de uma otimização de colónia de formigas de múltiplos objetivos para resolver o problema alvo. Foi empregue um mecanismo de que considerou três decisões (a formação de lote, a atribuição de máquina e o sequenciamento de lote) simultaneamente de modo a obter uma solução viável que explore todo o espaço da solução. | O estudo permite minimizar o critério duplo de intervalo de produção e atraso máximo num conjunto de máquinas de processamento em lote idênticas e dispostas em paralelo. Cada máquina pode processar vários trabalhos simultaneamente, desde que a capacidade da máquina não seja excedida | Não |
| Algoritmo genético | (Baykasoğlu & Özbakır, 2015) | Proposta de uma nova abordagem para equilibrar linhas de montagem simples. | Possibilita a descoberta das regras alocação de tarefas, aumentar a velocidade e a precisão do balanceamento da linha de montagem. | Não |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente ergonómica |
|--|-----------------------------------|--|---|--|
| Algoritmo meta-heurístico GRASP (<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>) | (Pata & Moura, 2016) | Proposta de um conjunto de abordagens heurísticas para a resolução de um problema, com base na aplicação de metaheurísticas não populacional, resultando numa metaheurística híbrida que apresente a melhor solução de afetação de acordo com vários parâmetros definidos. | O planeamento e organização de trabalho, pode ser efetuado com as afetações mais apropriadas entre os recursos humanos e técnicos, de acordo com as características que os definem individualmente, minimizando as lesões músculo-Esqueléticas. | Sim |
| Algoritmo de colónia de abelhas artificial otimizado | (Zhou <i>et al.</i> , 2018) | Proposta de um algoritmo de colónia de abelhas artificial otimizado, através da adoção de um tipo de mecanismo sinérgico, nova estratégia e esquema de computação | Admite a otimização simultânea de vários critérios em conflito durante a composição do serviço e seleção ideal em sistemas <i>Cloud manufacturing</i> ³ , incluindo a otimização da compensação em relação à qualidade dos serviços compostos, tratando-se de uma questão chave na implementação bem-sucedida das tarefas de produção. | Sim |

³ Modelo em rede orientado para os serviços de produção industrial, o qual foi adaptado a partir do modelo *Cloud Computing* e da Internet das Coisas, e aplicado na área da produção. Através deste modelo os consumidores estão autorizados a selecionar, configurar e utilizar os recursos, de acordo com as suas encomendas, de modo a completar as tarefas de produção personalizada (He & Xu, 2015).

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente ergonómica |
|--|-----------------------------------|--|--|--|
| Algoritmo Genético Híbrido | (Weckenborg et al., 2019) | Apresentam um método baseado em formulação de programação inteira mista para o balanceamento e programação de linhas de montagem com robôs colaborativos. | O modelo permite tomar decisões quanto à atribuição de robôs colaborativos às estações de trabalho, assim como em relação à distribuição da carga de trabalho entre os trabalhadores e os parceiros robóticos, visando minimizar o tempo de ciclo. | Não |
| Algoritmo meta-heurístico GRASP (<i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>) | (Mouayni et al., 2019) | Proposta de um novo modelo de programação inteira para o planeamento de tarefas tendo em consideração a fadiga e a confiabilidade do trabalhador. | Pode ser usado em tempo real para dar apoio ao sistema de execução de fabrico na Indústria 4.0, de modo a alcançar planeamentos de tarefas eficientes e seguros. | Sim |
| Algoritmo Genético e Algoritmo de Otimização da Colónia de Formigas | (Demir & Erden, 2020) | Proposta de dois métodos meta-heurísticos para resolver o planeamento de processo integrado dinâmico, programação e problema de atribuição de data de vencimento em que os trabalhos são enviados ao chão de fábrica aleatoriamente. | Permite encontrar a melhor combinação de regras para o planeamento, atribuição, prazo e rotatividade de todos os trabalhos, com o objetivo de minimizar a antecipação excessiva, os atrasos e os prazos para cada trabalho. | Não |

Através da análise bibliográfica apresentada na Tabela 16, verifica-se que a maioria dos estudos encontrados não contempla a componente relacionada com os riscos ergonómicos. Quanto aos métodos de resolução dos problemas, é possível constatar que

existe uma predominância para a utilização dos algoritmos genético e de otimização da colônia de formigas, sendo que de acordo com Demir e Erden (2020) o algoritmo de otimização da colônia de formigas supera o algoritmo genético neste tipo de problemas.

5.3. Métodos de Apoio à Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0

O intenso ambiente competitivo provoca mudanças nos conceitos de gestão empresarial, este facto obriga as empresas a identificar e aplicar estratégias num esforço para rentabilizar os recursos de produção de forma mais eficiente. De forma a proporcionar sustentabilidade, as empresas passam a estabelecer estratégias baseadas no preço, na qualidade, na produtividade, na resposta rápida, na gestão ambiental, na diversidade e flexibilidade de produtos, passando a usar estas estratégias como armas competitivas (Bahadir & Satoglu, 2012).

A aplicação de tecnologias avançadas em sistemas de produção tornou-se essencial. Os sistemas robóticos que consistem em vários subsistemas integrados têm uma estrutura complexa, e devido a essa estrutura, a seleção, por exemplo, de um braço robótico adequado, que é uma das etapas do projeto de sistemas robóticos, é uma questão difícil e importante. Portanto, a determinação do braço robótico industrial mais adequado para um sistema de produção requer uma metodologia científica e sistemática (Bahadir & Satoglu, 2012).

Com o intuito de sintetizar a revisão bibliográfica efetuada, de forma a revelar o estado da arte no âmbito dos métodos de apoio à decisão para a seleção de soluções robóticas ou ferramentas da Indústria 4.0, foi elaborada a Tabela 17, a qual permite comparar as diversas metodologias desenvolvidas pelos diversos autores.

Tabela 17 - Resumo de alguns estudos sobre modelos elaborados para a apoio na seleção de ferramentas da indústria 4.0.

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonómica |
|---|-----------------------------------|---|---|--|
| Metodologia baseada design axiomático | (Bahadir & Satoglu, 2012) | Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão para selecionar a solução robótica mais para adequada para um projeto. | Obtenção de processos de tomada de decisão mais consistentes. | Não |
| Método baseado lógica difusa (<i>Fuzzy Logic</i>) | (Sahu et al., 2015) | Proposta de introdução de alguns parâmetros qualitativos para a seleção das melhores soluções robóticas móveis, através da utilização um procedimento passo a passo para avaliação de robôs móveis com base em vários parâmetros. | Permite determinar a proximidade do robô de acordo com a sua capacidade. | Não |
| Análise de aceitabilidade multicritério estocástica | (Fu et al., 2019) | Sugestão de uma metodologia para a tomada de decisão em grupo para encontrar soluções relativamente ao problema de seleção de robôs mediante a utilização de critérios múltiplos. | Permite incorporar na análise as opiniões de todo o comité ou grupo de especialistas com diferentes conhecimentos e interesses. | Não |
| Método baseado lógica difusa (<i>Fuzzy Logic</i>) | (Wilms et al., 2019) | Proposta de método de apoio à decisão para aplicação na seleção de sistemas robóticos específicos para implementação na indústria de fabrico de ferramentas e matrizes. | Permite estabelecer e avaliar a viabilidade e eficiência económica. | Não, mas pode ser incluída |

| Modelo/Algoritmo | Referências Bibliográficas | Descrição | Contribuição | Inclusão da Componente Ergonômica |
|--|--|--|--|-----------------------------------|
| Soluções de armazenamento LMD (<i>Last Mile Delivery</i>) e MIA (<i>Meet In Aisle</i>) | (Ghelichi & Kilaru, 2020) | Proposta de dois modelos analíticos para a seleção de soluções a utilizar na separação de pedidos de encomenda em centros de distribuição através de AMR (<i>Autonomous Mobile Robots</i>). | Permite o cálculo dos custos totais de implementação das soluções robóticas, com estimava do número de AMRs e o número de <i>pickers</i> humanos necessários nas soluções robóticas, bem como o número de recursos humanos necessários, tendo em consideração a configuração do armazém, as políticas de armazenamento, os requisitos de transferência, o número de zonas, os requisitos do sistema. | Não |
| Método baseado em lógica difusa BWM (<i>Best-Worst method</i>) e PROMETHEE (<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluations</i>) | (Nasrollahi, Ramezani & Sadraei, 2020) | Sugestão de metodologia para resolver o problema de seleção adequada de robôs industriais usando dois métodos apropriados para tomadas de decisão multicritério (MCDM), usando os critérios de ponderação e de classificação de alternativas de decisão, respetivamente. | Utiliza uma formulação matemática relativamente simples e operações diretas. É capaz de resolver problemas de decisão multiatributos complexos, incorporando fatores quantitativos e qualitativos. O modelo pode ser usado para apoio à tomada de decisões noutras áreas. | Não, mas pode ser incluída |

Mediante a análise bibliográfica efetuada sobre o tema métodos de apoio à decisão para a seleção de ferramentas da indústria 4.0 (Tabela 17), verifica-se que nenhum dos estudos encontrados contempla a componente relacionada com os riscos ergonômicos, sendo, no entanto, possível a incorporação desta vertente na sua maioria.

Quanto aos métodos de resolução dos problemas, é possível constatar que existe uma predominância para a utilização do método baseado lógica difusa (*Fuzzy Logic*).

5.4. Nota Conclusiva sobre os Métodos de Apoio à Decisão para a Prevenção de Riscos Ergonómicos

Conforme foi descrito por diversos autores, como Kadir, Broberg & Conceição (2019); Weckenborg & Spengler (2019), entre outros, a Ergonomia aplicada à Indústria 4.0 é um tema que ainda foi pouco desenvolvido, por um lado por ser um assunto relativamente novo, e por outro, devido às prioridades estabelecidas pelas organizações, às quais recaem, de uma forma geral, no aumento da eficiência do sistema produtivo, na análise e redução de encargos e no desenvolvimento de novas tecnologias mais abrangentes.

De acordo com o objetivo geral do presente estudo, o qual visa criar um método de apoio à decisão que permita a integração de ferramentas da Indústria 4.0 na indústria portuguesa, sob a perspetiva dos riscos ergonómicos, a revisão bibliográfica efetuada neste capítulo incidiu sobre os objetivos específicos referentes à metodologia a utilizar na próxima etapa, designadamente os métodos de otimização: de *layouts* de linhas de produção, e de planeamento e rotatividade de tarefas; assim como o método para seleção de ferramentas da Indústria 4.0. Assim, os métodos a desenvolver na próxima etapa, de teor mais prático, são os seguintes:

Para otimização de *layouts* de linhas de produção, o método de apoio à decisão a desenvolver será baseado na aplicação de um algoritmo genético, por ser um método mais versátil e abrangente, proporcionado um processo com efeito aleatório (Sariff & Buniyamin, 2010). Deste modo, a aplicação deste algoritmo permitirá explorar diversas alternativas de forma não condicionada.

No que respeita à otimização de processos de planeamento de tarefas, a metodologia de apoio à decisão será fundamentada na utilização do algoritmo de otimização da colónia de formigas, por se tratar de uma técnica é eficaz e eficiente para lidar com convergências prematuras ou pouco exploradas, as quais são as principais desvantagens dos métodos meta-heurísticos que têm atraído uma crescente atenção por parte dos investigadores (Geng, Weng & Liu, 2011).

Relativamente à seleção de ferramentas da Indústria 4.0, o método de apoio à decisão a utilizar basear-se-á no do desenvolvimento de uma metodologia assente na lógica difusa (*fuzzy logic*), visto que o seu bom desempenho se deve aos limites de decisão “fuzzificados”, resultando numa média ponderada das regras de decisão (Leondes, 1996). Deste modo, este método proporciona a possibilidade de efetuar uma análise

multicritério tanto em modo qualitativo como quantitativo (Mrówczyńska et al., 2020), revelando-se útil no âmbito desta aplicação.

Capítulo 6:

A Indústria Portuguesa e os Acidentes

Laborais

Este capítulo encontra-se organizado em duas secções, sendo que a primeira secção visa caracterizar, de forma sucinta, o tecido empresarial em Portugal, de modo a destacar os setores com maior impacto económico e social. Na segunda secção, é efetuado o enquadramento dos setores industriais de acordo com a respetiva sinistralidade laboral.

6.1. Caracterização do Tecido Empresarial Português

Em 2019, existiam em Portugal 1.335.006 empresas, das quais 66,5% eram empresas individuais e 33,5% sociedades, tendo-se verificado um aumento de 1,3% das empresas individuais e 2,1% das sociedades face ao ano de 2018 (INE, 2021). A Tabela 18 mostra a evolução do número de empresas desde o ano 2008 até o ano de 2019.

Tabela 18 - Evolução do número de empresas por sector de atividade económica entre os anos 2008 e 2019 (PORDATA, 2021; INE, 2021).

| Anos | Sectores de atividade económica | | | | | | |
|------|--|-----------------------|----------------------------|--|---|------------|---------------------------|
| | Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca | Indústrias extrativas | Indústrias transformadoras | Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio | Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição | Construção | Transportes e armazenagem |
| 2019 | 130 350 | 1 020 | 68 831 | 4501 | 1304 | 90 430 | 31331 |
| 2018 | 132 887 | 1 022 | 68 214 | 4365 | 1280 | 85 311 | 25592 |
| 2017 | 132 928 | 1 062 | 67 555 | 4062 | 1219 | 81 629 | 22841 |
| 2016 | 132 844 | 1 045 | 66 953 | 3977 | 1229 | 78 866 | 21799 |
| 2015 | 133 427 | 1 066 | 66 729 | 1209 | 1262 | 77 906 | 21638 |
| 2014 | 128 765 | 1 102 | 66 201 | 941 | 1252 | 77 844 | 21876 |
| 2013 | 107 974 | 1 157 | 66 423 | 925 | 1224 | 81 335 | 22396 |
| 2012 | 56 468 | 1 176 | 67 485 | 888 | 1199 | 87 592 | 22882 |
| 2011 | 56 559 | 1 261 | 70 625 | 801 | 1172 | 97 980 | 23750 |
| 2010 | 53 798 | 1 323 | 72 273 | 745 | 1098 | 105 463 | 24156 |
| 2009 | 55 097 | 1 423 | 77 278 | 714 | 1107 | 116 686 | 25095 |
| 2008 | 56 716 | 1 490 | 81 387 | 678 | 1083 | 125 045 | 25985 |

Na Tabela 18 é possível verificar um aumento do número de empresas ao longo dos anos, com exceção dos setores da agricultura, pesca e afins, bem como as indústrias extrativas, nas quais houve um decréscimo entre os anos de 2017 e 2019. É de salientar que o setor que inclui o maior número de empresas é o setor da agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca, seguido pelo setor da construção e posteriormente pelas indústrias transformadoras.

Relativamente à evolução do número de empresas ao longo dos últimos anos, é possível constatar, através da Tabela 19 que, de um modo geral, houve uma constante tendência para o aumento generalizado do número de empresas, o qual foi interrompido devido à crise económica que, entretanto, surgiu no ano de 2008, verificando-se uma recuperação na tendência de crescimento a partir do ano 2013 até 2019, sendo mais acentuada no caso das grandes empresas.

Tabela 19 - Evolução do número de empresas de acordo com a respetiva dimensão entre os anos 2004 e 2019 (PORDATA, 2021).

| Anos | Nº Total de empresas | Dimensão | | | |
|------|----------------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | Empresas PME | Crescimento anual | Empresas Grandes | Crescimento anual |
| 2019 | 1 335 006 | 1 333 649 | 3,06% | 1 357 | 7,53% |
| 2018 | 1 295 299 | 1 294 037 | 2,76% | 1 262 | 4,99% |
| 2017 | 1 260 436 | 1 259 234 | 3,80% | 1 202 | 9,37% |
| 2016 | 1 214 206 | 1 213 107 | 2,78% | 1 099 | 2,23% |
| 2015 | 1 181 406 | 1 180 331 | 2,99% | 1 075 | 3,86% |
| 2014 | 1 147 154 | 1 146 119 | 2,48% | 1 035 | 1,47% |
| 2013 | 1 119 447 | 1 118 427 | 3,00% | 1 020 | -0,10% |
| 2012 | 1 086 915 | 1 085 894 | -4,34% | 1 021 | -7,43% |
| 2011 | 1 136 256 | 1 135 153 | -2,74% | 1 103 | 0,55% |
| 2010 | 1 168 265 | 1 167 168 | -4,53% | 1 097 | 0,64% |
| 2009 | 1 223 578 | 1 222 488 | -3,00% | 1 090 | -5,22% |
| 2008 | 1 261 452 | 1 260 302 | 2,18% | 1 150 | -4,25% |
| 2007 | 1 234 633 | 1 233 432 | 5,32% | 1 201 | 6,66% |
| 2006 | 1 172 219 | 1 171 093 | 1,79% | 1 126 | 2,83% |
| 2005 | 1 151 610 | 1 150 515 | 3,25% | 1 095 | -0,64% |
| 2004 | 1 115 456 | 1 114 354 | ----- | 1 102 | ----- |

No que concerne à distribuição das empresas no território português, através da Figura 34, é possível verificar uma maior concentração de empresas na área Metropolitana de Lisboa (29,01%), seguindo-se a Região Norte (33,84%) e a Região Centro, com uma proporção de 20,41% das empresas a nível nacional.

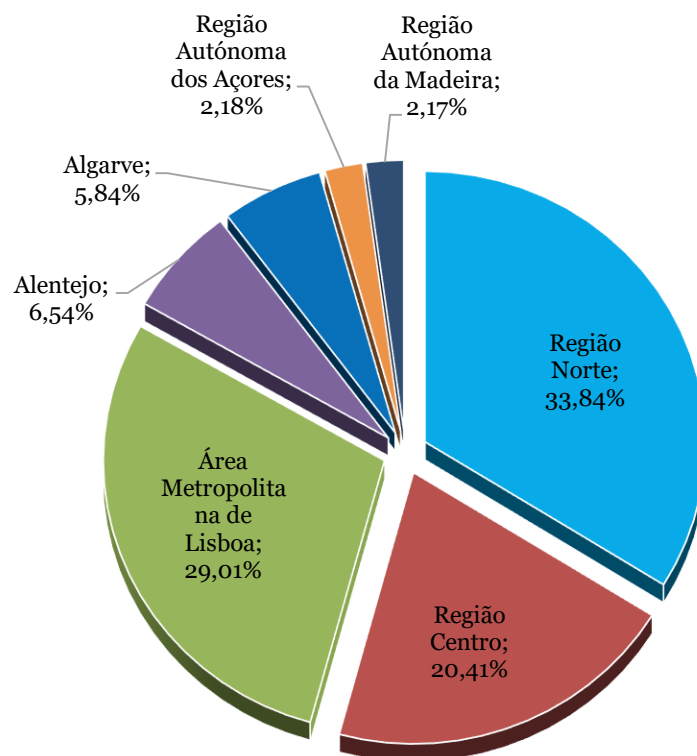


Figura 34 - Distribuição das empresas por localização geográfica em Portugal no ano 2019 (INE, 2021).

Em relação à proporção das empresas em termos de dimensão, conforme apresentado na Figura 35, observa-se a predominância das microempresas em 96,01%.

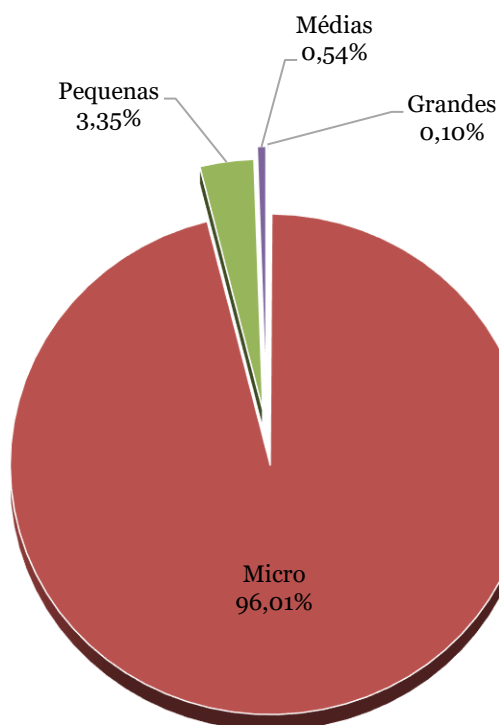


Figura 35 - Dimensão das empresas em Portugal no ano 2019 (INE, 2021).

Quanto à dimensão das empresas que operam no território português, a Tabela 20 mostra que a maioria das empresas micro, pequenas e médias se encontram localizadas na Região Norte, enquanto que em relação às grandes empresas, estas estão localizadas preferencialmente na área Metropolitana de Lisboa, embora o seu número seja significativamente inferior comparativamente às restantes dimensões.

Tabela 20 - Proporção das empresas em Portugal de acordo com a dimensão no ano 2019 (INE, 2021).

| Localização Geográfica | Dimensão das empresas | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | Micro (até 10 colaboradores) | Pequenas (de 10 a 49 colaboradores) | Médias (de 50 a 250 colaboradores) | Grandes (mais de 250 colaboradores) |
| Região Norte | 32,32% | 1,29% | 0,20% | 0,026% |
| Região Centro | 19,63% | 0,66% | 0,10% | 0,015% |
| Área Metropolitana de Lisboa | 27,90% | 0,89% | 0,17% | 0,048% |
| Alentejo | 6,32% | 0,18% | 0,03% | 0,004% |
| Algarve | 5,64% | 0,18% | 0,02% | 0,002% |
| Região Autónoma dos Açores | 2,11% | 0,07% | 0,01% | 0,001% |
| Região Autónoma da Madeira | 2,09% | 0,07% | 0,01% | 0,002% |

Em termos de setor de atividade, de acordo com a Tabela 21, as empresas apresentam uma maior representatividade na Região Norte, com a exceção das empresas dos setores da indústria extrativa e da eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio, cujo número é ligeiramente superior na Região Centro.

Tabela 21 - Distribuição da indústria em Portugal de acordo com a atividade económica no ano 2019 (INE, 2021).

| Localização Geográfica | Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca | Indústrias extrativas | Indústrias transformadoras | Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio | Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição | Construção |
|------------------------------|--|-----------------------|----------------------------|--|---|---------------|
| Região Norte | 53 164 | 303 | 33 728 | 1 352 | 423 | 31 342 |
| Área Metropolitana do Porto | 6 997 | 38 | 14 636 | 496 | 219 | 11 593 |
| Região Centro | 30 548 | 375 | 16 742 | 1 693 | 339 | 24 045 |
| Área Metropolitana de Lisboa | 8 235 | 85 | 10 426 | 886 | 331 | 20 757 |
| Alentejo | 20 189 | 191 | 4 120 | 292 | 100 | 4 719 |
| Algarve | 6 089 | 40 | 1 991 | 200 | 61 | 6 562 |
| Região Autónoma dos Açores | 7 373 | 12 | 1 107 | 6 | 28 | 1 699 |
| Região Autónoma da Madeira | 4 752 | 14 | 717 | 72 | 22 | 1 306 |
| Total | 130 350 | 1 020 | 68 831 | 4 501 | 1 304 | 90 430 |

Tendo em consideração que o Valor Acrescentado Bruto (VAB) é um indicador da produtividade das empresas e da riqueza gerada no decurso do exercício, e o volume de negócios um indicador da rentabilidade e representatividade das empresas para a economia, através da Tabela 22, verifica-se que as indústrias transformadoras apresentam um maior volume de negócios anual, embora possuam um VAB mais baixo (24,29%) comparativamente às restantes secções de atividade económica.

Tabela 22 – Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por secção de atividade económica no ano 2019 (INE, 2021).

| Secção | Atividade económica | Volume de negócios (€) | Taxa de valor acrescentado bruto (%) |
|--------------|---|------------------------|--------------------------------------|
| C | Indústrias transformadoras | 97 238 809 037 | 24,29 |
| F | Construção | 23 256 151 001 | 33,68 |
| H | Transportes e armazenagem | 23 096 710 802 | 33,59 |
| D | Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio | 21 378 887 154 | 35,29 |
| A | Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca | 7 814 829 485 | 28,95 |
| E | Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição | 3 616 748 157 | 44,31 |
| B | Indústrias extrativas | 1 160 888 632 | 39,64 |
| Total | | 412 640 613 433 | 37,38 |

Quanto às Empresas por divisão de atividade económica dentro do setor das indústrias transformadoras, através da Tabela 23 observa-se um maior destaque para as indústrias alimentares, as quais apresentam um maior volume de negócios e uma maior taxa de valor acrescentado bruto, seguidas pela atividade de fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis.

Tabela 23 - Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por divisão de atividade económica dentro do setor indústrias transformadoras no ano 2019 (INE, 2021).

| Divisão da CAE | Atividade económica | Volume de negócios (€) | Taxa de valor acrescentado bruto (%) |
|----------------|---|------------------------|--------------------------------------|
| 10 | Indústrias alimentares | 13 994 121 605 | 20,28 |
| 29 | Fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis | 11 277 042 394 | 15,28 |
| 19 | Fabricação de coque, produtos petrolíferos refinados e de aglomerados de combustíveis | 8 104 958 718 | 4,42 |
| 25 | Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos | 7 573 028 480 | 36,34 |

| Divisão da CAE | Atividade económica | Volume de negócios (€) | Taxa de valor acrescentado bruto (%) |
|-----------------------|---|-------------------------------|---|
| 20 | Fabricação de produtos químicos e de fibras sintéticas ou artificiais, exceto produtos farmacêuticos | 5 055 482 156 | 16,57 |
| 22 | Fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas | 4 724 290 325 | 31,19 |
| 23 | Fabricação de outros produtos minerais não metálicos | 4 646 046 335 | 35,36 |
| 17 | Fabricação de pasta, de papel, de cartão e seus artigos | 4 473 366 126 | 22,24 |
| 14 | Indústria do vestuário | 3 984 630 657 | 34,46 |
| 13 | Fabricação de têxteis | 3 697 928 515 | 30,47 |
| 11 | Indústria das bebidas | 3 565 713 797 | 27,33 |
| 16 | Indústrias da madeira e da cortiça e suas obras, exceto mobiliário; Fabricação de obras de cestaria e de espartaria | 3 529 924 932 | 24,45 |
| 24 | Indústrias metalúrgicas de base | 2 960 128 535 | 16 |
| 28 | Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e. | 2 805 938 601 | 33,49 |
| 27 | Fabricação de equipamento elétrico | 2 761 076 385 | 25,38 |
| 26 | Fabricação de equipamentos informáticos, equipamento para comunicações e produtos eletrónicos e óticos | 2 746 697 722 | 18,08 |
| 15 | Indústria do couro e dos produtos do couro | 2 605 194 115 | 32,29 |
| 33 | Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos | 2 056 176 939 | 43,63 |
| 31 | Fabrico de mobiliário e de colchões | 2 001 427 004 | 35,28 |
| 21 | Fabricação de produtos farmacêuticos de base e de preparações farmacêuticas | 1 451 724 163 | 40,28 |
| 18 | Impressão e reprodução de suportes gravados | 1 034 966 282 | 41,75 |
| 32 | Outras indústrias transformadoras | 1 028 122 194 | 37,63 |
| 30 | Fabricação de outro equipamento de transporte | 991 121 078 | 21,54 |
| 12 | Indústria do tabaco | 169 701 979 | 64,42 |
| Total | | 97 238 809 037 | 24,29 |

Na Tabela 24 apresenta-se a lista de atividades económicas mais representativas para a economia portuguesa, cujos volumes de negócios se encontram acima dos mil milhões de euros anuais. É de salientar que embora a divisão referente às indústrias alimentares represente um maior peso para a economia nacional (Tabela 23), após uma análise detalhada das subclasses de atividades, verifica-se que a subclasse fabricação de produtos petrolíferos refinados é a que apresenta o maior volume de negócios, tornando-se assim no grupo com maior relevância. Além da referida subclasse, através da Tabela 24 é ainda possível observar as cinco subclasses economicamente mais representativas ao nível do país, representando volumes de negócios anuais superiores a dois mil milhões de euros, sendo que neste conjunto de subclasses encontra-se incluída a atividade de produção de vinhos comuns e licorosos, a qual possui naturalmente uma relação direta com o setor agrícola, designadamente com a viticultura, posicionando-se

assim no quinto lugar das atividades economicamente mais importantes em Portugal no ano 2019.

Tabela 24 - Volume de negócios e taxa de valor acrescentado bruto (€) das empresas por subclasse de atividade económica no ano 2019 (INE, 2021).

| Subclasse da CAE | Atividade económica | Volume de negócios (€) |
|------------------|---|------------------------|
| 19201 | Fabricação de produtos petrolíferos refinados | 8 052 139 070 |
| 29320 | Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis | 5 218 250 926 |
| 29100 | Fabricação de veículos automóveis | 4 870 033 878 |
| 14131 | Confeção de outro vestuário exterior em série | 2 710 669 852 |
| 11021 | Produção de vinhos comuns e licorosos | 1 766 274 050 |
| 01210 | Viticultura | 491 819 929 |
| 11021 + 01210 | Produção de vinhos comuns e licorosos + Viticultura | 2 258 093 979 |
| 26400 | Fabricação de recetores de rádio e de televisão e bens de consumo similares | 1 911 873 658 |
| 25110 | Fabricação de estruturas de construções metálicas | 1 659 248 617 |
| 17110 | Fabricação de pasta (papel) | 1 613 719 026 |
| 20160 | Fabricação de matérias plásticas sob formas primárias | 1 531 726 592 |
| 17120 | Fabricação de papel e de cartão (exceto canelado) | 1 528 069 403 |
| 10912 | Fabricação de alimentos para animais de criação (exceto para aquicultura) | 1 440 024 328 |
| 10510 | Indústrias do leite e derivados | 1 471 238 402 |
| 22292 | Fabricação de outros artigos de plástico | 1 431 665 578 |
| 25120 | Fabricação de portas, janelas e elementos similares em metal | 1 301 468 827 |
| 24100 | Siderurgia e fabricação de ferro-ligas | 1 166 219 801 |
| 10711 | Panificação | 1 146 024 013 |
| 22210 | Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico | 1 108 186 212 |

Deste modo, através da Figura 36 é apresentada a dedução das relações entre a secção, divisão, grupo, classe e subclasse da atividade económica escolhida para o desenvolvimento dos métodos de apoio à decisão que permita a integração de ferramentas da Indústria 4.0, sob a perspetiva dos riscos ergonómicos, sendo uma das atividades económicas mais relevantes em termos de rentabilidade económica em Portugal, para além da sua larga existência e forte tradição no país.

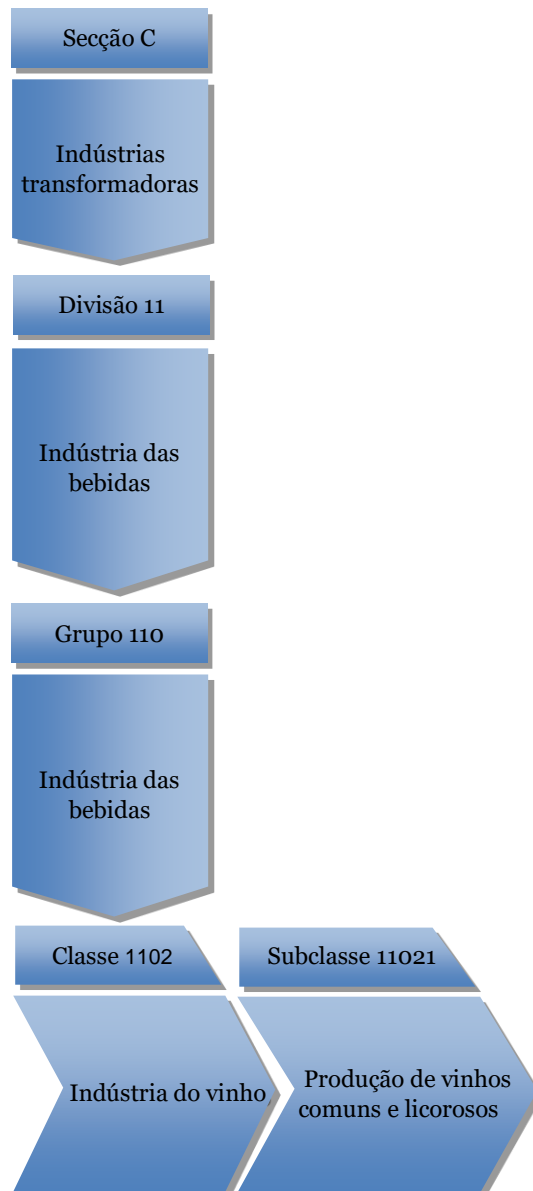


Figura 36 - Estrutura da CAE da atividade económica escolhida para abordagem mais relevantes (INE, 2007).

Deste modo, a CAE 11021 compreende a produção de vinhos de mesa e vinhos (independentemente do teor alcoólico) com denominação de origem (V.Q.P.R.D.: Vinho de Qualidade Produzido em Região Determinada) a partir de uvas, de vinhos licorosos (abafados, moscatel, etc.) e licorosos com denominação de origem (V.L.Q.P.R.D.: Vinho Licoroso de Qualidade Produzido em Região Determinada.) ou puros (Porto, Madeira, etc.). Inclui a mistura, a purificação e o engarrafamento de vinhos. No entanto, não inclui atividades de (INE, 2021):

- Engarrafamento e acondicionamento sem transformação, associados ao comércio (CAE 46341);
- Embalagem de vinhos por terceiros (CAE 82922).

6.2. A Sinistralidade Laboral

Os acidentes de trabalho são considerados como uma disfunção da relação Homem-Trabalho numa ótica reativa acarretando consequências nefastas do ponto de vista humano e material, com custos significativos quer diretos, quer indiretos, incluindo repercussões irreversíveis para o sinistrado, implicando a sua desvinculação progressiva do contexto socioprofissional e o seu refúgio numa esfera de perda de autoestima e de valorização tanto a nível pessoal como profissional (Tavares, 2020).

A grande maioria das causas dos acidentes de trabalho consubstancia-se em três níveis interdependentes (Figura 37), no entanto, com características diferenciadas e muito próprias (Tavares, 2020).

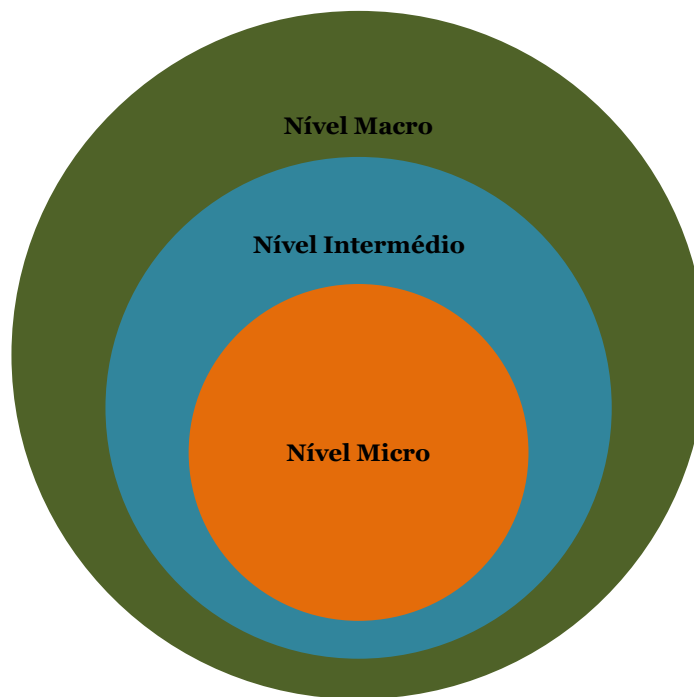


Figura 37 - Níveis da maioria das causas dos acidentes de trabalho (Tavares, 2020).

O nível Macro engloba (Tavares, 2020):

- O Sistema de gestão de estratégica da organização;
- A cultura de segurança e saúde;
- O sistema de gestão de recursos humanos;
- O estilo de liderança e comunicação;
- A política de formação profissional e desenvolvimento humano;
- O clima organizacional.

O nível Intermédio inclui (Tavares, 2020):

- As condições materiais e contextuais onde o trabalho é efetuado;
- A supervisão dos trabalhadores;
- As manutenções periódicas;
- O desgaste das ferramentas, máquinas e outros equipamentos de trabalho;
- Os materiais adequados à função;
- As normas, procedimentos e instruções de trabalho, etc.

O nível Micro baseia-se em algumas características dos trabalhadores, nomeadamente (Tavares, 2020):

- A personalidade;
- O temperamento e carácter;
- A aptidão (habilidade) para a função;
- O conhecimento da função;
- A confiança e motivação;
- As condições físicas, fisiológicas e psicológicas;
- A capacidade de trabalho sob pressão;
- A gestão do stress profissional;
- A habilitação profissional;
- A formação técnica, entre outras.

Num sentido figurativo, o nível macro é como a “motherboard” do sistema de gestão da Segurança e Saúde no Trabalho e, cabe a este patamar o proporcionar uma cultura de segurança implícita dentro da organização, criando estratégias de prevenção e proteção em todos os níveis de ação (Tavares, 2020).

Em contrapartida, é nos níveis intermédio e micro que são originadas a maioria das falhas e não conformidades resultantes do incumprimento relativamente à segurança e à saúde, sendo denominada por causas básicas dos acidentes laborais, as quais estão na génese das condições inseguras e dos comportamentos de risco, sendo nestes dois níveis que recaem a quase totalidade dos incidentes e acidentes de trabalho (Tavares, 2020).

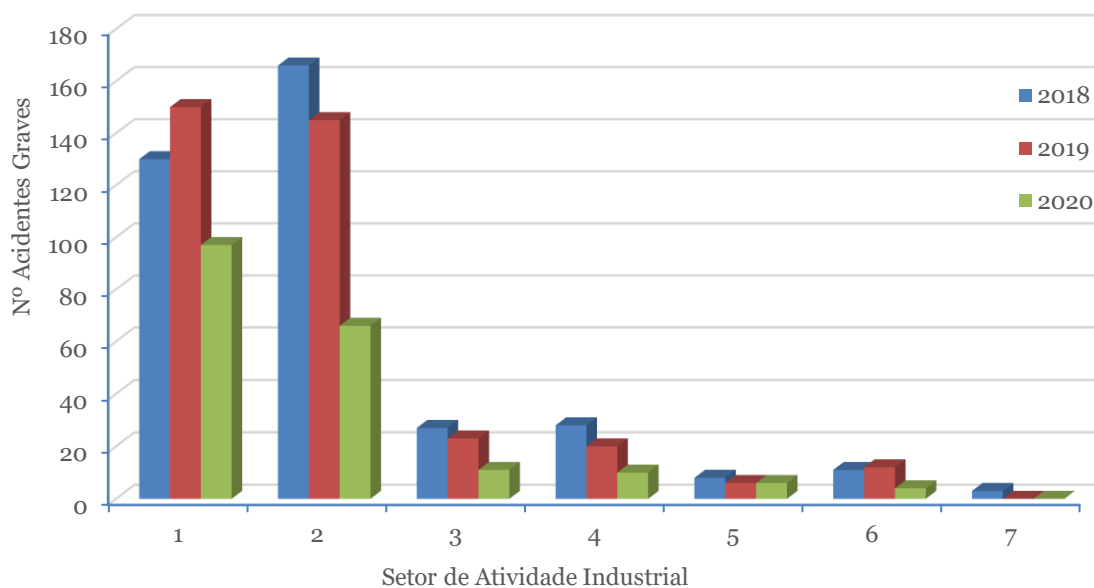
Assim, nesta secção será efetuada uma síntese no que concerne aos acidentes de trabalho, mortais e não mortais, com base na sua evolução, estatística por sector e dentro de cada sector, segundo a natureza/tipo de lesão e a parte do corpo atingida.

6.2.1. Os Acidentes de Trabalho

Uma vez que os acidentes de trabalho são desagregados em acidentes mortais, não mortais e acidentes de trabalho que evidenciem uma situação particularmente grave (ACT, 2015; OIT, 2016), nesta subsecção apresenta-se a caracterização dos principais setores da indústria portuguesa em termos de sinistralidade laboral, tendo em consideração a estatística dos acidentes graves e mortais comunicados à ACT nos últimos anos.

6.2.1.1. Os Acidentes de Trabalho Graves

Os acidentes de trabalho graves são aqueles que provocam lesões físicas graves, as quais implicam a necessidade de tratamento médico, ao longo dos anos. Tem-se verificado um decréscimo deste tipo de acidentes em todos os setores industriais, com exceção das áreas da construção e da captação, tratamento e distribuição de água, saneamento e afins, as quais apresentam o maior número de acidentes graves no ano de 2019, como é possível constatar através da Figura 38. Através da mesma figura, pode-se ainda observar que são os setores da construção e da indústria transformadora os que apresentam um maior número de casos de acidentes graves (ACT, 2021).



Legenda:

- 1 - Construção
- 2 - Indústrias Transformadoras
- 3 - Transportes e Armazenagem
- 4 - Agricultura, Produção Animal, Caça, Floresta e Pesca
- 5 - Captação, Tratamento e Distribuição de Água; Saneamento, Gestão de Resíduos e Despoluição
- 6 - Indústrias Extrativas
- 7 - Eletricidade, Gás, Vapor, Água Quente e Fria e Ar Frio

Figura 38 - Evolução do número de acidentes graves por setor de atividade industrial (2018-2020) (ACT, 2021).

Relativamente aos tipos de lesão grave mais frequentes destacam-se, por ordem decrescente de ocorrência, as fraturas, as lesões múltiplas e as amputações, verificando-se a recorrência significativa deste tipo de lesões desde o ano de 2018 até ano de 2020 (Tabela 25). Verifica-se ainda que no caso das fraturas, embora o seu número tenha vindo a diminuir ao longo do tempo, a sua proporção aumentou consideravelmente no ano de 2020 (ACT, 2021).

Tabela 25 - Evolução dos tipos de lesão inerentes aos acidentes graves (2018-2020) (ACT, 2021).

| Tipo de lesão | Número de lesões e proporção | | |
|--|------------------------------|--------------|--------------|
| | 2018 | 2019 | 2020 |
| Fraturas | 203 (38,45%) | 201 (19,31%) | 117 (46,06%) |
| Lesões múltiplas | 66 (12,50%) | 628 (60,33%) | 36 (14,17%) |
| Amputações (perda de partes do corpo) | 103 (19,51%) | 74 (7,11%) | 31 (12,20%) |
| Feridas e lesões superficiais | 46 (8,71%) | 31 (2,98%) | 24 (9,45%) |
| Queimaduras, escaldaduras, congelação | 36 (6,82%) | 33 (3,17%) | 12 (4,72%) |
| Outras lesões especificadas não incluídas noutras rubricas | 20 (3,79%) | 33 (3,17%) | 10 (3,94%) |
| Concussões e lesões internas | 21 (3,98%) | 23 (2,21%) | 9 (3,54%) |
| Tipo de lesão desconhecido ou não especificado | 8 (1,52%) | 5 (0,48%) | 6 (2,36%) |
| Deslocações, entorses e distensões | 16 (3,03%) | 6 (0,58%) | 5 (1,97%) |
| Choque | 4 (0,76%) | 7 (0,67%) | 4 (1,57%) |
| Efeitos de temperaturas extremas, luz e radiações | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Envenenamento (intoxicações), infeções | 1 (0,19%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Efeitos de ruído, vibrações e pressão | 1 (0,19%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Afogamento e asfixia | 3 (0,57%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |

Quanto às partes do corpo mais atingidas, de acordo com a Tabela 26, no período em análise evidenciaram-se, de um modo geral, as extremidades superiores (com uma maior incidência) e as inferiores, sendo que, embora o seu número tenha diminuído em 2020, a sua proporção permanece significativamente elevada comparativamente às restantes situações (ACT, 2021).

Tabela 26 - Síntese das principais partes do corpo atingidas nos acidentes graves (2018-2020) (ACT, 2021).

| Parte Corpo Atingida | Número de ocorrências e proporção | | |
|---|-----------------------------------|--------------|-------------|
| | 2018 | 2019 | 2020 |
| Extremidades superiores, não especificadas | 203 (38,45%) | 146 (14,02%) | 89 (35,04%) |
| Extremidades inferiores, não especificadas | 104 (19,70%) | 106 (10,18%) | 61 (24,02%) |
| Corpo inteiro e múltiplas partes, não especificado | 60 (11,36%) | 65 (6,24%) | 28 (11,02%) |
| Outras partes do corpo atingidas, não especificadas | 38 (7,20%) | 28 (2,69%) | 27 (10,63%) |
| Cabeça, não especificado | 47 (8,90%) | 56 (5,38%) | 18 (7,09%) |
| Costas, incluindo espinha e vértebras | 33 (6,25%) | 43 (4,13%) | 17 (6,69%) |
| Parte do corpo atingida, outra ou não especificado | 16 (3,03%) | 11 (1,06%) | 14 (5,51%) |
| Tórax e órgãos torácicos, não especificados | 20 (3,79%) | 13 (1,25%) | 8 (3,15%) |
| Pescoço, incluindo espinha e vértebras do pescoço | 7 (1,33%) | 3 (0,29%) | 1 (0,39%) |

No que concerne aos agentes materiais envolvidos nos acidentes de trabalho graves, destacam-se, de um modo geral, as máquinas e os equipamentos portáteis/móveis e fixos, verificando-se um decréscimo em relação ao número de acidentes envolvendo estas máquinas ou equipamentos, sofrendo novamente um aumento significativo em 2020, refletindo-se também em termos de proporção relativamente aos restantes agentes (Tabela 27) (ACT, 2021).

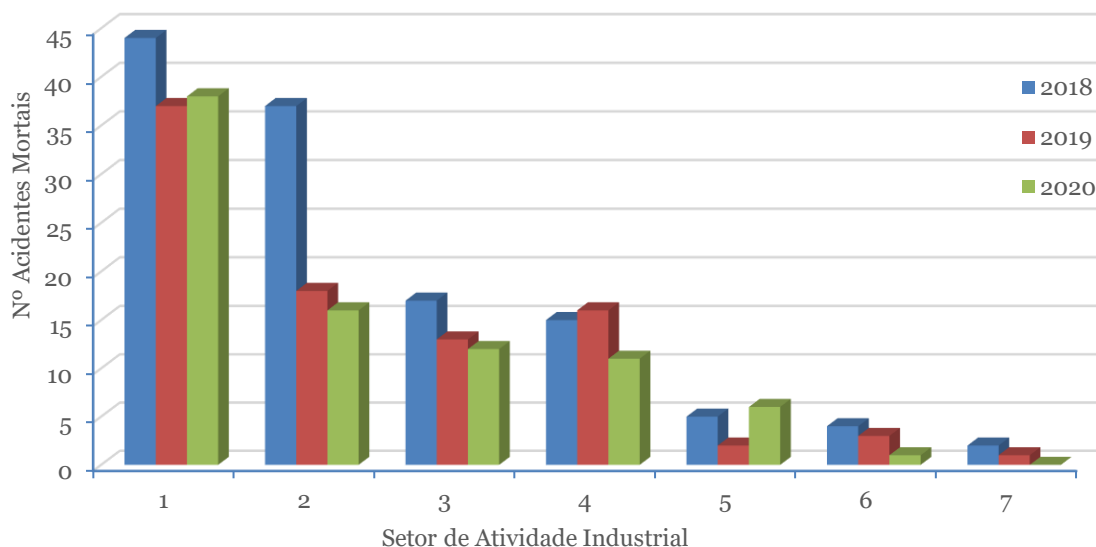
Tabela 27 - Principais agentes materiais envolvidos nos acidentes graves (2018-2020) (ACT, 2021).

| Agente Material | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|--------------|-------------|-------------|
| Máquinas e equipamentos - Portáteis ou móveis | 115 (21,78%) | 103 (9,89%) | 49 (19,29%) |
| Máquinas e equipamentos - Fixos | 126 (23,86%) | 77 (7,40%) | 45 (17,72%) |
| Edifícios, construções, superfícies, acima do solo (interior ou exterior) | 66 (12,50%) | 81 (7,78%) | 37 (14,57%) |
| Dispositivos de transporte e de armazenamento | 29 (5,49%) | 26 (2,50%) | 18 (7,09%) |
| Materiais, objetos, produtos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras | 25 (4,73%) | 37 (3,55%) | 16 (6,30%) |
| Edifícios, construções, superfícies, ao nível do solo (interior ou exterior, fixos ou móveis, temporários ou não) | 21 (3,98%) | 20 (1,92%) | 16 (6,30%) |
| Veículos terrestres | 18 (3,41%) | 19 (1,83%) | 12 (4,72%) |
| Edifícios, construções, superfícies, abaixo do solo (interior ou exterior) | 7 (1,33%) | 3 (0,29%) | 9 (3,54%) |
| Nenhum agente material ou nenhuma informação | 13 (2,46%) | 10 (0,96%) | 7 (2,76%) |

| Agente Material | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Ferramentas manuais - não motorizadas | 8 (1,52%) | 9 (0,86%) | 7 (2,76%) |
| Ferramentas sustidas ou conduzidas manualmente - mecânicas | 7 (1,33%) | 6 (0,58%) | 6 (2,36%) |
| Motores, dispositivos de transmissão e de armazenamento de energia | 10 (1,89%) | 10 (0,96%) | 3 (1,18%) |
| Outros veículos de transporte | 5 (0,95%) | 5 (0,48%) | 3 (1,18%) |
| Organismos vivos e seres humanos | 5 (0,95%) | 3 (0,29%) | 3 (1,18%) |
| Dispositivos de distribuição de matéria, de alimentação, canalizações | 7 (1,33%) | 11 (1,06%) | 2 (0,79%) |
| Resíduos diversos | 7 (1,33%) | 5 (0,48%) | 2 (0,79%) |
| Dispositivos e equipamentos de segurança | 4 (0,76%) | 9 (0,86%) | 1 (0,39%) |
| Substâncias químicas explosivas, radioativas, biológicas | 6 (1,14%) | 6 (0,58%) | 1 (0,39%) |
| Equipamentos de escritório e pessoais, material de desporto, armas, equipamento doméstico | 1 (0,19%) | 0 (0,00%) | 1 (0,39%) |
| Ferramentas manuais - sem especificações quanto à motorização | 4 (0,76%) | 3 (0,29%) | 0 (0,00%) |
| Fenómenos físicos e elementos naturais | 3 (0,57%) | 2 (0,19%) | 0 (0,00%) |

6.2.1.2. Os Acidentes de Trabalho Mortais

De acordo com o conceito de acidente de trabalho mortal, ou seja, se a vítima morrer dentro de um ano após a ocorrência, verifica-se um decréscimo deste tipo de acidentes ao longo dos três últimos anos em todos os setores industriais, com exceção das áreas da construção e da captação, tratamento e distribuição de água, saneamento e afins, as quais apresentam o maior número de acidentes graves no ano de 2020, como é possível constatar através da Figura 39. Através desta figura, pode-se observar que são os setores da construção e da indústria transformadora os que apresentam um maior número de acidentes mortais (ACT, 2021).



Legenda:

- 1 - Construção
- 2 - Indústrias Transformadoras
- 3 - Transportes e Armazenagem
- 4 - Agricultura, Produção Animal, Caça, Floresta e Pesca
- 5 - Captação, Tratamento e Distribuição de Água; Saneamento, Gestão de Resíduos e Despoluição
- 6 - Indústrias Extrativas
- 7 - Eletricidade, Gás, Vapor, Água Quente e Fria e Ar Frio

Figura 39 - Evolução do número de acidentes mortais por setor de atividade industrial (2018-2020) (ACT, 2021).

No que se refere aos tipos de lesão envolvidos nos acidentes mortais mais frequentes, destacam-se as lesões múltiplas, verificando-se a recorrência significativa deste tipo de lesões desde o ano de 2018 até ano de 2020 (Tabela 28). Verifica-se ainda que a proporção das lesões múltiplas aumentou consideravelmente no ano de 2020, comparativamente aos restantes tipos de lesão (ACT, 2021).

Tabela 28 - Evolução dos tipos de lesão inerentes aos acidentes mortais (2018-2020) (ACT, 2021).

| Tipo Lesão | 2018 | 2019 | 2020 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Lesões múltiplas | 62 (42,76%) | 46 (40,00%) | 53 (55,21%) |
| Tipo de lesão desconhecido ou não especificado | 31 (21,38%) | 30 (26,09%) | 11 (11,46%) |
| Concussões e lesões internas | 14 (9,66%) | 13 (11,30%) | 10 (10,42%) |
| Choque | 3 (2,07%) | 5 (4,35%) | 9 (9,38%) |
| Outras lesões especificadas não incluídas noutras rubricas | 17 (11,72%) | 9 (7,83%) | 8 (8,33%) |
| Fraturas | 8 (5,52%) | 3 (2,61%) | 3 (3,13%) |
| Afogamento e asfixia | 5 (3,45%) | 7 (6,09%) | 1 (1,04%) |
| Queimaduras, escaldaduras, congelação | 3 (2,07%) | 1 (0,87%) | 1 (1,04%) |
| Amputações (perda de partes do corpo) | 0 (0,00%) | 1 (0,87%) | 0 (0,00%) |
| Deslocações, entorses e distensões | 1 (0,69%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Efeitos de temperaturas extremas, luz e radiações | 1 (0,69%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Feridas e lesões superficiais | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |

| Tipo Lesão | 2018 | 2019 | 2020 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Envenenamento (intoxicações), infeções | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Efeitos de ruído, vibrações e pressão | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |

No que respeita às partes do corpo mais atingidas, de acordo com a Tabela 29, destacam-se, de um modo geral, o corpo inteiro e múltiplas partes (com uma maior incidência) e a cabeça, sendo que, embora o seu número tenha diminuído em 2020, a sua proporção permanece significativamente elevada comparativamente às restantes situações (ACT, 2021).

Tabela 29 – Síntese das principais partes do corpo atingidas nos acidentes mortais (2018-2020) (ACT, 2021).

| Parte Corpo Atingida | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Corpo inteiro e múltiplas partes, não especificadas | 63 (41,18%) | 41 (37,27%) | 44 (40,37%) |
| Cabeça, não especificado | 28 (18,30%) | 24 (21,82%) | 19 (17,43%) |
| Parte do corpo atingida, outra ou não especificado | 16 (10,46%) | 7 (6,36%) | 18 (16,51%) |
| Outras partes do corpo atingidas, não especificadas | 29 (18,95%) | 26 (23,64%) | 13 (11,93%) |
| Tórax e órgãos torácicos, não especificados | 12 (7,84%) | 7 (6,36%) | 9 (8,26%) |
| Costas, incluindo espinha e vértebras | 1 (0,65%) | 2 (1,82%) | 2 (1,83%) |
| Pescoço, incluindo espinha e vértebras do pescoço | 1 (0,65%) | 1 (0,91%) | 2 (1,83%) |
| Extremidades superiores, não especificadas | 0 (0,00%) | 2 (1,82%) | 1 (0,92%) |
| Extremidades inferiores, não especificadas | 3 (1,96%) | 0 (0,00%) | 1 (0,92%) |

No que concerne aos agentes materiais envolvidos nos acidentes de trabalho graves, destacam-se, de um modo geral, os edifícios, construções, superfícies, acima do solo (interior ou exterior), os veículos terrestres e as máquinas e os equipamentos portáteis/móveis, verificando-se uma ligeira flutuação dos valores no período em análise, sendo que o número de acidentes envolvendo estes agentes e a respetiva proporção face os restantes agentes permanece significativamente elevados no ano 2020 (Tabela 30) (ACT, 2021).

Tabela 30 - Principais agentes materiais envolvidos nos acidentes mortais (2018-2020) (ACT, 2021).

| Agente Material | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Edifícios, construções, superfícies, acima do solo (interior ou exterior) | 30 (18,63%) | 17 (13,93%) | 21 (18,42%) |
| Veículos terrestres | 33 (20,50%) | 25 (20,49%) | 18 (15,79%) |
| Máquinas e equipamentos - Portáteis ou móveis | 21 (13,04%) | 17 (13,93%) | 17 (14,91%) |
| Dispositivos de transporte e de armazenamento | 4 (2,48%) | 4 (3,28%) | 8 (7,02%) |
| Nenhum agente material ou nenhuma informação | 15 (9,32%) | 17 (13,93%) | 7 (6,14%) |

| Agente Material | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Edifícios, construções, superfícies, ao nível do solo (interior ou exterior, fixos ou móveis, temporários ou não) | 5 (3,11%) | 5 (4,10%) | 3 (2,63%) |
| Outros veículos de transporte | 7 (4,35%) | 4 (3,28%) | 3 (2,63%) |
| Edifícios, construções, superfícies, abaixo do solo (interior ou exterior) | 2 (1,24%) | 4 (3,28%) | 2 (1,75%) |
| Máquinas e equipamentos - Fixos | 7 (4,35%) | 3 (2,46%) | 2 (1,75%) |
| Materiais, objetos, produtos, componentes de máquina, estilhaços, poeiras | 4 (2,48%) | 3 (2,46%) | 2 (1,75%) |
| Ferramentas manuais - não motorizadas | 1 (0,62%) | 1 (0,82%) | 1 (0,88%) |
| Organismos vivos e seres humanos | 1 (0,62%) | 1 (0,82%) | 1 (0,88%) |
| Ferramentas sustidas ou conduzidas manualmente - mecânicas | 0 (0,00%) | 1 (0,82%) | 1 (0,88%) |
| Dispositivos e equipamentos de segurança | 0 (0,00%) | 1 (0,82%) | 1 (0,88%) |
| Resíduos diversos | 0 (0,00%) | 1 (0,82%) | 1 (0,88%) |
| Substâncias químicas explosivas, radioativas, biológicas | 2 (1,24%) | 2 (1,64%) | 0 (0,00%) |
| Fenómenos físicos e elementos naturais | 1 (0,62%) | 2 (1,64%) | 0 (0,00%) |
| Dispositivos de distribuição de matéria, de alimentação, canalizações | 4 (2,48%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Motores, dispositivos de transmissão e de armazenamento de energia | 1 (0,62%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Ferramentas manuais - sem especificações quanto à motorização | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |
| Equipamentos de escritório e pessoais, material de desporto, armas, equipamento doméstico | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) | 0 (0,00%) |

6.3. Nota Conclusiva sobre a Indústria Portuguesa e os Acidentes de Laborais

Neste capítulo, através da caracterização do tecido empresarial português foi possível determinar o setor que apresenta um maior impacto nas economias regionais, o setor das indústrias transformadoras, onde a subclasse mais representativa é a fabricação de produtos petrolíferos refinados seguida das subclasses fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis, fabricação de veículos automóveis, confeção de outro vestuário exterior em série e a produção de vinhos comuns e licorosos.

Quanto aos acidentes laborais associados às atividades industriais, foi possível constatar que são os setores da construção e das indústrias transformadoras os que apresentam maiores números de acidentes tanto graves, como mortais.

No caso dos acidentes graves, os tipos de lesão envolvidos e com maior expressividade correspondem às fraturas, às lesões múltiplas e às amputações, atingindo principalmente

as extremidades superiores e inferiores, sendo causados principalmente por máquinas e os equipamentos portáteis/móveis e fixos.

Relativamente aos acidentes mortais, os tipos de lesão mais representativos correspondem às lesões múltiplas, atingindo principalmente o corpo inteiro e múltiplas partes, e a cabeça, sendo causados principalmente por edifícios, construções, superfícies, acima do solo (interior ou exterior), por veículos terrestres e por máquinas e equipamentos portáteis/móveis.

A atividade económica escolhida para o desenvolvimento do método de apoio à decisão, que permita a integração de ferramentas da Indústria 4.0, sob a perspetiva dos riscos ergonómicos, será a produção de vinhos comuns e licorosos, pois trata-se de uma das atividades económicas mais relevantes em termos de rentabilidade económica em Portugal, para além da sua forte tradição no país.

Capítulo 7:

Caraterização da Amostra

De acordo com o Banco de Portugal (2017), o setor de produção de vinho representa 88 % das empresas do grupo da indústria das bebidas, representando 52 % do volume de negócios e 64% do número de pessoas ao serviço do setor como um todo, sendo um segmento de atividade representado por 75% de microempresas, apesar do domínio das PMEs em termos de volume de negócios gerado e o número de pessoas ao serviço, correspondendo a 69% do segmento, em ambos os casos.

Em termos de evolução da produção, embora se verifiquem oscilações na produção de vinhos entre os anos de 2016 e 2020 (Tabela 31), destaca-se, de modo geral, a maior produção na região do Douro, apesar de se poder observar uma crescente uniformização em termos de produção entre as regiões do Douro, Lisboa e Alentejo, sendo esta mais evidente no período 2020/21 (IVV, 2021a).

Tabela 31 - Evolução da Produção Total (hl) por Região Vitivinícola (2016-2020) (IVV, 2021a).

| Região Vitivinícola | 2015/16 | 2016/17 | 2017/18 | 2018/19 | 2019/20 | 2020/21 |
|----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Douro | 1 612 670 | 1 337 201 | 1 448 874 | 1 259 683 | 1 692 188 | 1 264 349 |
| Lisboa | 1 202 711 | 998 804 | 1 225 840 | 1 170 068 | 987 009 | 1 253 303 |
| Alentejo | 1 152 184 | 1 050 439 | 954 910 | 1 092 617 | 996 290 | 1 159 067 |
| Minho | 874 491 | 736 430 | 967 067 | 759 757 | 816 396 | 848 311 |
| Tejo | 611 183 | 551 300 | 648 441 | 635 514 | 615 736 | 644 153 |
| Península de Setúbal | 504 129 | 463 035 | 525 049 | 472 197 | 503 579 | 475 135 |
| Terras da Beira | 226 203 | 255 818 | 190 394 | 162 032 | 255 658 | 219 298 |
| Terras do Dão | 342 316 | 237 186 | 312 462 | 178 409 | 257 481 | 189 197 |
| Beira Atlântico | 272 680 | 195 534 | 260 668 | 177 782 | 159 063 | 174 391 |
| Trás-os-Montes | 112 407 | 76 549 | 85 430 | 50 670 | 118 014 | 94 425 |
| Terras de Cister | 67 052 | 69 560 | 54 052 | 37 307 | 59 417 | 37 744 |
| Madeira | 45 747 | 33 849 | 42 773 | 34 880 | 38 559 | 37 264 |
| Algarve | 13 630 | 10 419 | 15 777 | 17 042 | 13 926 | 13 043 |
| Açores | 10 404 | 5 845 | 5 034 | 13 285 | 13 246 | 8 350 |
| Total Geral | 7 047 805 | 6 021 968 | 6 736 772 | 6 061 243 | 6 526 562 | 6 418 030 |

Relativamente à especificidade da cor, através da Tabela 32 verifica-se que os vinhos com maior produção foram os tintos, embora se tenha verificado um aumento da produção de vinhos brancos nos últimos anos dentro do intervalo temporal em análise.

Tabela 32 - Evolução da produção declarada por cor (1000 hl) desde 2011 a 2018 (IVV, 2021a).

| Cor | 2011/12 | 2012/13 | 2013/14 | 2014/15 | 2015/16 | 2016/17 | 2017/18 | 2018/19 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tinto | 3 613 | 4 161 | 4 033 | 4 029 | 4 480 | 3 808 | 4 142 | 3 685 |
| Branco | 1 658 | 1 737 | 1 841 | 1 830 | 2 106 | 1 849 | 2 187 | 2 014 |
| Rosado | 352 | 429 | 357 | 347 | 462 | 365 | 407 | 362 |
| Total | 5 622 | 6 327 | 6 231 | 6 206 | 7 048 | 6 022 | 6 737 | 6 061 |

O setor de produção de vinhos em análise contempla os vinhos de mesa tintos, rosados, brancos, de acordo com a Denominação de Origem Controlada dos vinhos portugueses, Vinho Verde, Douro, Dão, Bairrada, Alentejo, Alentejano, bem como os vinhos licorosos ou fortificados, como os vinhos do Porto, da Madeira e Moscatel, sendo excluída a produção de vinhos espumantes e espumosos, uma vez que pertencem à subclasse da CAE 11022 (INE, 2007; WSET, 2016).

Relativamente às cepas mais utilizadas nas vinhas portuguesas, verifica-se que existe um conjunto de 34 castas mais utilizadas, com uma representatividade individual, em termos de área de plantação, que varia entre 1 a 11%, correspondendo a 86% da área total de vinha, como é possível verificar através da Tabela 33, sendo que estão representadas 18 castas tintas, com 58% da área de vinha total e 16 castas brancas autóctones, com uma representatividade de 28% da área total (IVV, 2021a).

Tabela 33 - Dados estatísticos referentes aos encepamentos mais utilizados nas vinhas portuguesas no ano 2018 (IVV, 2021a).

| Casta | Cor | Área (ha) | % | Casta | Cor | Área (ha) | % |
|---|-----|-----------|-----|------------------------|-----|-----------|----|
| Aragonez / Tinta Roriz / Tempranillo | T | 20 884 | 11% | Caladoc | T | 2 667 | 1% |
| Touriga Franca | T | 13 445 | 7% | Malvasia Fina / Boal | B | 2 605 | 1% |
| Touriga Nacional | T | 13 032 | 7% | Marufo / Mourisco Roxo | T | 2 122 | 1% |
| Fernão Pires / Maria Gomes | B | 12 052 | 6% | Cabernet Sauvignon | T | 1 752 | 1% |
| Castelão/João de Santarém/Periquita | T | 9 130 | 5% | Rabigato | B | 1 592 | 1% |
| Trincadeira / Tinta Amarela / Trincadeira Preta | T | 8 413 | 4% | Malvasia Rei | B | 1 584 | 1% |
| Baga | T | 8 258 | 4% | Trajadura / Treixadura | B | 1 564 | 1% |
| Loureiro | B | 5 851 | 3% | Malvasia | B | 1 488 | 1% |
| Arinto / Pedernã | B | 5 778 | 3% | Azal | B | 1 443 | 1% |

| Casta | Cor | Área (ha) | % | Casta | Cor | Área (ha) | % |
|---------------------------|-----|-----------|----|---------------------------------|-----|-----------|----|
| Syrah / Shiraz | T | 5 674 | 3% | Bical / Borrado das Moscas | B | 1 377 | 1% |
| Síria / Roupeiro / Códega | B | 5 431 | 3% | Antão Vaz | B | 1 343 | 1% |
| Alicante Bouschet | T | 4 888 | 3% | Alfrocheiro / Tinta Bastardinha | T | 1 324 | 1% |
| Vinhão / Sousão | T | 3 894 | 2% | Tinta Gorda | T | 1 296 | 1% |
| Tinta Barroca | T | 3 790 | 2% | Malvasia Branca | B | 1 094 | 1% |
| Jaen / Mencia | T | 3 789 | 2% | Gouveio | B | 1 067 | 1% |
| Rufete / Tinta Pinheira | T | 3 422 | 2% | Viosinho | B | 1 038 | 1% |
| Alvarinho | B | 3 187 | 2% | Mourisco | T | 974 | 1% |

7.1. A Recolha de Dados

O processo de recolha de dados decorreu no decurso do período compreendido entre abril e maio de 2021. A amostra foi composta pelo setor de produção de vinhos comuns e licorosos. Os dados referentes ao processo produtivo, incluindo as principais máquinas/equipamentos, tarefas e riscos associados às diversas etapas do processo, bem como as estruturas/*layouts* gerais de linhas de produção e as potenciais ferramentas da Indústria 4.0 a considerar para a redução de acidentes de trabalho foram obtidos através da consulta de diversas bases de dados de artigos científicos, como a *Web of Science*, *Science Direct*, *Scopus*, *IEEE Xplore*, entre outras. Foram também, consultados diversos livros e *websites* enquadrados no âmbito do presente trabalho.

No atual estudo, foi efetuada a categorização das áreas de trabalho que fazem parte ou que estão relacionadas com os processos de produção, designadamente as áreas de vinificação, armazenagem de matérias primas, materiais subsidiários, produtos intermédios e produtos acabados.

7.2. O Processo de Produção de Vinhos Comuns e Licorosos

A produção de vinhos comuns e licorosos engloba vários processos referentes ao fabrico de vinhos de mesa tintos, rosados e brancos, bem como para a produção de vinhos licorosos, designadamente os vinhos generosos do Porto e da Madeira, os quais revelam uma maior importância na exportação vinícola portuguesa (Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, 1988; IVV, 2021b). Deste modo, de seguida apresentam-se as operações unitárias referentes aos vários processos de vinificação, ou *winemaking*, para os diferentes vinhos, sendo posteriormente apresentadas as restantes etapas referentes aos processos de engarrafamento ou *bottling*, acondicionamento ou *packaging* e expedição.

7.2.1. As Etapas do Processo de Produção

Na produção de vinhos podem ser usadas várias abordagens, conduzindo conseqüentemente à utilização de vários processos. Deste modo, seguidamente são apresentados resumidamente os processos gerais de fabrico para os vinhos de mesa tintos, rosados e brancos, bem como para a produção de vinhos licorosos, com destaque para os vinho do Porto e da Madeira. Deste modo, a Tabela 34 apresenta as diversas operações associadas a cada etapa do processo de produção de vinho, incluindo a indicação das operações a que de cada tipo é submetido.

Tabela 34 - Resumo das operações utilizadas em cada etapa dos processos de produção dos vários tipos de vinho (Eurisko, 2011; Vernhet, 2019; Strobl, 2019; Giacosa et al., 2019; Gil-Sánchez, Suáldea & Moreno-Arribas, 2019; Morata et al., 2019; Comuzzo & Battistutta, 2019; Medina et al., 2019; WSET, 2020; Grainger & Tattersall, 2015, 2016; Cabrita, Garcia & Catarino, 2016; Castilhos & Del Bianchi, 2016; Kocher & Nikhanj, 2016; El Rayess et al., 2016; Domínguez & Sanza, 2016; Ribereau-Gayon et al., 2006; Moreira & de Pinho, 2011; Perestrelo et al., 2011; Tesniere & Flanzy, 2011; Jackson, 2020, 2014).

| Operações | Vinhos de mesa | | | Vinhos licorosos | | | | |
|--|----------------|---|---|------------------|---|---|---------|---|
| | T | R | B | Porto | | | Madeira | |
| | | | | T | R | B | T | B |
| Processos pré-fermentação | | | | | | | | |
| Receção e descarga das uvas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Seleção/triagem das uvas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Desengace/Esmagamento | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Prensagem | | ? | ✓ | | | ✓ | | ✓ |
| Clarificação de mostos | | ? | ✓ | | | | | |
| Preparação do mosto | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fermentação Alcoólica (temperatura controlada) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Maceração | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Fermentação Malolática | | | ? | | | | | |
| Sangria/Desencuba | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Trasfega | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Esgotamento/Prensagem | ✓ | ? | | ✓ | ✓ | | ✓ | |
| Fermentação Malolática | ? | ? | | | | | | |
| Fortificação (adição de aguardente vínica) | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Processos pós-fermentação | | | | | | | | |
| Ajustes enológicos | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Elaboração de lotes base | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Estabilização/Clarificação | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Armazenamento/Estágio | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Estufagem | | | | | | | ✓ | ✓ |
| Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |


| Operações | Vinhos de mesa | | | Vinhos licorosos | | | | |
|--|----------------|---|---|------------------|---|---|---------|---|
| | T | R | B | Porto | | | Madeira | |
| | | | | T | R | B | T | B |
| Preparação dos vinhos para engarrafamento | | | | | | | | |
| Estabilização/Clarificação | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Filtragem | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Correções finais | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Processos de Engarrafamento e Preparação para Expedição | | | | | | | | |
| Despaletização | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lavagem de garrafas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Enchimento | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rolhamento ou vedação | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Capsulagem e rotulagem | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rotulagem e marcação de lote | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Encaixotamento | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Fecho e marcação das caixas | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Paletização | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Armazenagem | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Expedição | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Legenda:

T – Vinhos obtidos a partir de castas de uvas tintas

R – Vinhos obtidos a partir de castas de uvas tintas, ou em alguns casos a partir da mistura com castas de uvas brancas, ou ainda a partir de castas de uvas brancas com elevada pigmentação

B – Vinhos obtidos a partir de castas de uvas brancas

 Operação facultativa para o fabrico do vinho indicado. Depende da análise e decisão do enólogo.

 Operação normalmente aplicada para a produção do vinho indicado.

7.2.1.1. A Descrição das Etapas dos Processos de Produção

As etapas dos processos produtivos encontram-se descritas de seguida de forma sucinta (Eurisko, 2011; Vernhet, 2019; Strobl, 2019; Giacosa et al., 2019; Gil-Sánchez, Suáldea & Moreno-Arribas, 2019; Morata et al., 2019; Comuzzo & Battistutta, 2019; Medina et al., 2019; WSET, 2020; Grainger & Tattersall, 2015, 2016; Cabrita, Garcia & Catarino, 2016; Castilhos & Del Bianchi, 2016; Kocher & Nikhanj, 2016; El Rayess et al., 2016; Domínguez & Sanza, 2016; Ribereau-Gayon et al., 2006; Moreira & de Pinho, 2011; Perestrelo et al., 2011; Tesniere & Flanzky, 2011; Jackson, 2020, 2014):

a) Os processos pré-fermentação

Receção e descarga

No processo de receção das uvas são efetuados dois tipos de controlo:

- A verificação do estado sanitário das uvas (inspeção visual: presença de resíduos fitossanitários, doenças);
- Verificação do grau alcoólico provável com refratómetro por amostra recolhida manualmente ou automaticamente (Figura 40);
- Após aceitação das uvas é efetuada a descarga da viatura e a respetiva pesagem.



Figura 40 - Operações de verificação automática do grau alcoólico (à esquerda) e descarga das uvas (à direita) (CVP, 2021).

Seleção/triagem das uvas

O processo de seleção e/ou triagem das uvas (Figura 41) consiste em retirar pequenos materiais, tais como cliques usados para suporte das plantas, grampos, lascas de madeira, assim como moluscos (caracóis e lesmas) e insetos, os quais podem encontrar-se misturados com as uvas dentro dos recipientes de transporte.



Figura 41 - Processo de seleção manual das uvas (Seal, 2016).

Outro objetivo deste processo é remover ou limitar a incorporação de frutas de qualidade inferior, inclusivamente os frutos imaturos, doentes, putrefactos, passados, entre outros

estados, uma vez que estes podem afetar negativamente a qualidade do vinho, mesmo quando incluídos em pequenas quantidades.

Desengace/Esmagamento

Os engaces dos cachos de uvas são geralmente removidos, para evitar que o mosto adquira um sabor amargo, e as uvas são depois esmagadas. Estas tarefas são normalmente realizadas através de um desengaçador-esmagador.

Na fase de desengace, as uvas são transportadas através de uma tremonha num cilindro com fendas, que contém uma haste rotativa equipada com lâminas semelhantes às de uma hélice. À medida que gira, os bagos de uva passam pelas ranhuras, deixando para trás os engaces, os quais são extraídos e direcionados para o exterior através de um sistema extrator, podendo ser usados posteriormente como fertilizante para as vinhas.

Na etapa de esmagamento, os bagos de uva passam por um conjunto de rolos, que podem ser ajustados de modo a proporcionar a pressão adequada proporcionado a libertação do sumo da uva. O mosto (o sumo em conjunto com as películas das uvas) é então transferido, através de uma bomba de trasfega, para as cubas de fermentação. A Figura 42 mostra um exemplo de um sistema de desengace e esmagamento (imagem à direita), destacando-se o detalhe do cilindro com fendas que proporciona a separação das uvas do engace.



Figura 42 - Sistema de esmagamento e desengace das uvas (CVP, 2021).

Prensagem

Esta etapa, quando efetuada logo após o desengace e esmagamento das uvas, é aplicada essencialmente para o caso dos mostos de algumas castas de uvas brancos e rosés, sendo que no primeiro caso os vinhos brancos não necessitam de maceração e extração de compostos presentes nas películas das uvas, sendo pertinente evitar o contacto com as grainhas, de forma a evitar a adstringência excessiva, na segunda situação, a prensagem

antes da fermentação é efetuada como forma de minimizar a intensidade da cor dos mostos para vinho rosé obtidos a partir de uvas de castas tintas.

Relativamente às prensas, estas proporcionam a possibilidade de exercer vários níveis de pressão em diferentes estágios, geralmente suaves no início, mas com mais intensidade a cada prensagem subsequente (Figura 43). Existem disponíveis uma ampla variedade de prensas comercialmente, incluindo as prensas de cesto, as prensas contínuas, as prensas pneumáticas e as prensas verticais de pistão.

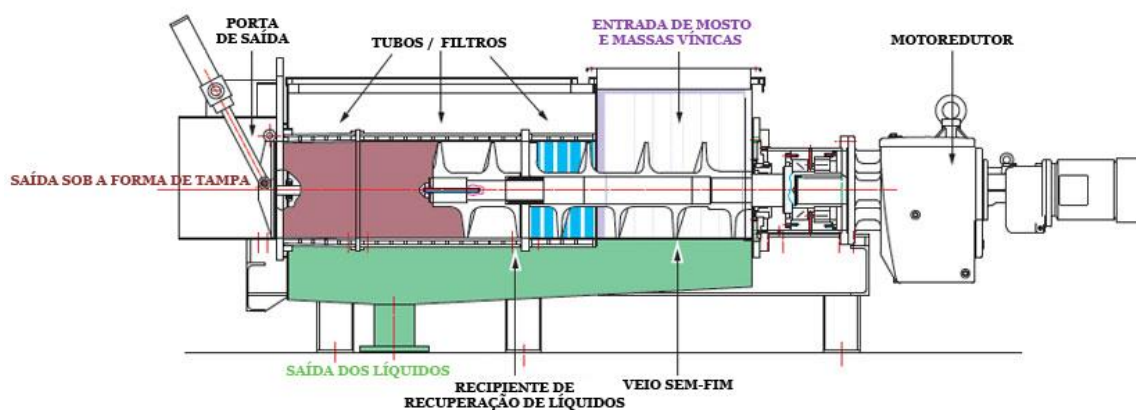


Figura 43 – Diagrama esquemático do funcionamento de uma prensa contínua com a respetiva drenagem do mosto (Pera-Pellenc SA, 2021).

Clarificação de mostos

A operação consiste na separação de alguns sólidos em suspensão no mosto, tornando-o menos turvo. O elevado nível de compostos fenólicos nos vinhos tintos costuma ser suficiente para reduzir as suspensões de proteínas. Consequentemente, os vinhos tintos mais jovens (2-4 meses) têm tipicamente mais brilho, pelo que não necessitam ser clarificados, no entanto pode ser desejável a realização desta operação para a redução da população de leveduras. Na produção de vinhos brancos, o mosto deve ser parcialmente clarificado antes da fermentação (Figura 44), de forma a reter o carácter frutado e limitar a oxidação catalisada por excesso enzimas.



Figura 44 - Processo de clarificação de mostos brancos (Mahiques, 2012).

Preparação dos mostos

O mosto, o qual nesta fase é composto por sumo de uva com sementes, películas e polpa, é preparado para fermentação, sendo que pode ser necessário efetuar várias adições e ajustes, tais como:

- Adição de dióxido de enxofre: usado como antioxidante e antisséptico, assim como, em alguns casos, para prevenir que a fermentação ocorra prematuramente;
- Acidificação: operação que pode ser necessária se o pH do mosto for muito elevado, ou seja, se a acidez for muito baixa. Os materiais normalmente usados para o efeito podem ser o carbonato de cálcio (CaCO_3), o bicarbonato de potássio (KHCO_3) e o carbonato de potássio (K_2CO_3);
- Desacidificação: operação aplicável caso o pH do mosto seja muito baixo, ou seja, se a acidez for muito elevada. O método usual é a adição de ácido tartárico;
- Adição de leveduras: através da qual podem ser adicionadas leveduras de cultura (prática mais usual nos vinhos de mesa), ou podem ser simplesmente utilizadas as leveduras naturais presentes nas películas e no ambiente da adega. Uma das razões da utilização das leveduras cultivadas é garantir uma fermentação completa, nomeadamente em mostos de elevada densidade;
- Adição de taninos: esta operação é efetuada nos mostos tintos para vinho de mesa, quando se torna necessário obter uma estrutura tanínica adicional, sendo também útil para ajudar a estabilizar a cor dos vinhos tintos.

Fermentação alcoólica

Consiste na transformação de mosto em vinho, através da fermentação dos açúcares, produzindo álcool e outros compostos, pela ação das leveduras.

Durante a fermentação, de um modo especial dos vinhos tintos (Figura 45), parte do dióxido de carbono libertado durante o metabolismo das leveduras fica enclausurado nas massas vínicas (películas e parte da polpa das uvas). Este fenómeno causa um aumento da pressão impulsionando a subida das massas vínicas para o topo do recipiente de fermentação, formando uma cama superior. Esta separação entre as camadas líquida (mosto) e sólida (massas vínicas) restringe significativamente o contato entre camadas, retardando a extração de antocianinas e outros compostos presentes na camada mais sólida.



Figura 45 - Processo de fermentação alcoólica industrial (Horton, 2020).

A fermentação alcoólica decorre a uma temperatura controlada, entre 25–28°C, podendo ser mais baixa no caso dos vinhos brancos. O controlo da temperatura evita a necessidade de agentes antiespumantes. Caso contrário, seria necessário o uso de agentes antiespumantes como forma de evitar o desenvolvimento excessivo de espuma e a consequente perda de vinho associada à descarga através de válvulas reguladoras de pressão.

Maceração

A maceração é um processo usualmente utilizado no fabrico de vinhos tintos e que consiste em deixar o vinho em contacto com as películas das uvas após o fim da fermentação alcoólica, possibilitando desta forma uma maior extração de aromas, nutrientes e taninos presentes em maior concentração nas películas das uvas. O processo pode durar desde 2 a 3 dias até 28 dias.

Para além dos vinhos tintos, alguns vinhos obtidos a partir de uvas de castas brancas que dependem dos aromas varietais presentes nas películas das uvas, como o caso das variedades Gewürztraminer e Moscatel, também podem ser submetidos a um processo

de maceração controlada, de forma a evitar a extração de proteínas, minimizando o recurso à estabilização proteica.

O processo de maceração pode incluir um sistema de extração, também conhecido como *pumping over* ou remontagem (Figura 46), o qual consiste em retirar o mosto do fundo da cuba de fermentação, através de uma válvula localizada na parte inferior da cuba de fermentação, sendo posteriormente bombeado e pulverizado sobre a camada de massas vínicas formada à superfície da cuba de fermentação. Este processo é normalmente efetuado várias vezes ao dia, sendo mais intensivo nos estágios iniciais de fermentação.



Figura 46 - Exemplificação do processo de remontagem (INOXPA S.A.U., 2020).

Este processo visa maximizar o contato entre o mosto e a camada mais sólida que se forma durante o processo de fermentação, proporcionando adicionalmente o arejamento do mosto, contribuindo para o crescimento das colónias de leveduras.

Complementarmente, o processo de remontagem proporciona um ligeiro decréscimo da temperatura, equilibrando parcialmente a temperatura em toda a cuba. Além deste aspeto, o processo facilita a libertação e dispersão de potássio (extraído da película das uvas) no mosto, limitando assim o excessivo aumento de pH na camada superior e o crescimento de microrganismos indesejáveis.

Fermentação Malolática (Vinhos Brancos)

Após a fermentação alcoólica, caso seja desejável, pode seguir-se a fermentação malolática (FML), cujo intuito é reduzir a acidez e criar uma textura redonda (estrutura equilibrada). Após a FML, o vinho é armazenado em tonéis ou barris limpos, sendo

adicionado SO_2 . A FML nesta etapa é especialmente destinada aos vinhos brancos, uma vez que estes já foram submetidos à prensagem e encontram-se limpos.

Sangria/Desencuba

Tratam-se de operações que são efetuadas após fim da fermentação (Figura 47). A sangria consiste na separação do vinho das películas e das grainhas (massas vínicas), sendo que, devido à presença de dióxido de carbono, o vinho encontra-se na parte inferior da cuba e as massas vínicas no topo. Deste modo, o vinho é escorrido, ou sangrado, através da parte inferior da cuba constituindo o denominado vinho de lágrima. Por outro lado, a desencuba corresponde à transferência das massas vínicas, que descem à medida que o vinho é retirado, sendo encaminhadas para a prensa, dando origem ao chamado vinho da prensa.



Figura 47 - Processos de sangria (à esquerda) e desencuba (à direita) após a fermentação (Goode, 2020).

Trasfega

A trasfega corresponde à operação de transferência do vinho de um recipiente para outro, separando o vinho limpo do depósito ou borra. Trata-se de um processo mecânico, sendo uma das primeiras práticas a que o vinho é submetido e que influencia a sua estabilidade.

Na Figura 48 encontra-se ilustrada a montagem de um sistema para trasfega de vinhos entre cubas de armazenamento. O sistema é composto essencialmente por uma bomba de trasfega, pelas mangueiras e respetivos acessórios de ligação. Normalmente, para que a operação seja efetuada de forma segura, a execução da operação é efetuada por dois operadores.



Figura 48 - Processo de trasfega (Phillips, 2010).

Esgotamento/Prensagem

O esgotamento/prensagem é a etapa de separação do líquido (mosto) dos sólidos (engaço, películas e grainhas) que constituem a uva. Na produção de vinhos tintos, ao contrário dos vinhos brancos, esta etapa é efetuada após a fermentação alcoólica. Através da Figura 49 é possível observar um exemplo do processo de prensagem para obtenção de mosto a partir de uvas de castas brancas.



Figura 49 - Processo de prensagem através de prensa pneumática (CVP, 2021).

Fermentação Malolática (Vinhos Tintos)

Tal como nos vinhos brancos, a FML, caso seja desejável, tem como objetivo reduzir a acidez e criar uma textura redonda (estrutura equilibrada). A FML nesta etapa é especialmente destinada aos vinhos tintos, os quais após a prensagem e trasfega encontram-se limpos, sendo também efetuada a adição de SO_2 .

Fortificação (adição de aguardente vínica)

Interrupção da fermentação do mosto através da adição de álcool vínico ou aguardente vínica.

b) Os processos pós-fermentação

Ajustes enológicos

Os ajustes enológicos visam corrigir as deficiências encontradas nas uvas, assim como potenciais desequilíbrios sensoriais que se desenvolvem durante a fermentação. Os ajustes envolvem normalmente:

- O ajuste da acidez e do pH;
- A otimização dos aromas e sabores;
- A maturação nas borras ou *Sur lies*;
- O ajuste da cor;
- O ajuste do grau alcoólico (vinhos licorosos);
- O ajuste do grau Baumé ou densidade (vinhos licorosos).

Blending ou elaboração de lotes base

A regra geral na mistura consiste em associar as diferentes características desejáveis de vinhos individuais num vinho resultante que tenha um apelo mais amplo e satisfatório.

Os vinhos devem ser loteados antes da estabilização. Devido a diversos fatores envolvidos na estabilidade, às vezes os vinhos estáveis, quando misturados, formam um vinho instável.

Estabilização/Clarificação

A preparação de vinhos para estágio/envelhecimento implicam processos de estabilização e clarificação, os quais englobam procedimentos concebidos para a obtenção de um vinho brilhante e límpido, sem falhas de sabor (Figura 50). Uma vez que os próprios procedimentos podem criar problemas, é essencial que sejam usados criteriosamente e apenas na medida necessária. Os procedimentos podem envolver a estabilização tartárica, proteica, a remoção de polissacarídeos e de taninos, entre outros.

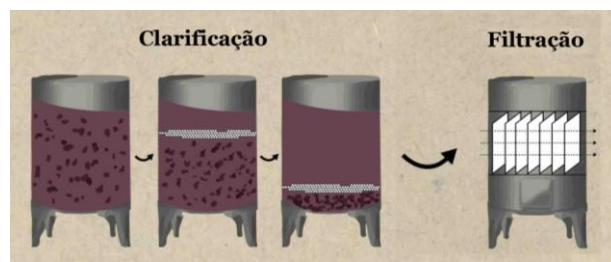


Figura 50 - Processos de preparação de vinhos para estágio/envelhecimento (Códax, 2020).

Armazenamento/Estágio

Consiste em armazenar os vinhos em cubas ou barricas de madeira nas melhores condições de conservação.

No caso dos vinhos de guarda, estes vão estagiar em barricas de carvalho para amadurecimento e envelhecimento, enquanto que os vinhos mais ligeiros, de consumo rápido, são submetidos ao processo de filtração seguido de engarrafamento

O envelhecimento tem como finalidade a formação de novas características de cor, de aroma e de sabor, que completam o carácter típico do vinho.

Estufagem (Vinho Madeira)

Consiste em manter o vinho em cubas em aço inoxidável, denominadas estufas, a uma temperatura controlada entre 45°-50° C, durante 90 dias, findos os quais, após filtragem, inicia um período de estágio de seis a doze meses à temperatura ambiente (Figura 51). Durante este tempo, o vinho sofre oxidações e reduções sucessivas adquirindo um aroma e um paladar particular, uma mudança da cor, perdendo densidade cromática e adquirindo várias tonalidades acastanhadas e douradas, que caracterizam o Vinho da Madeira.

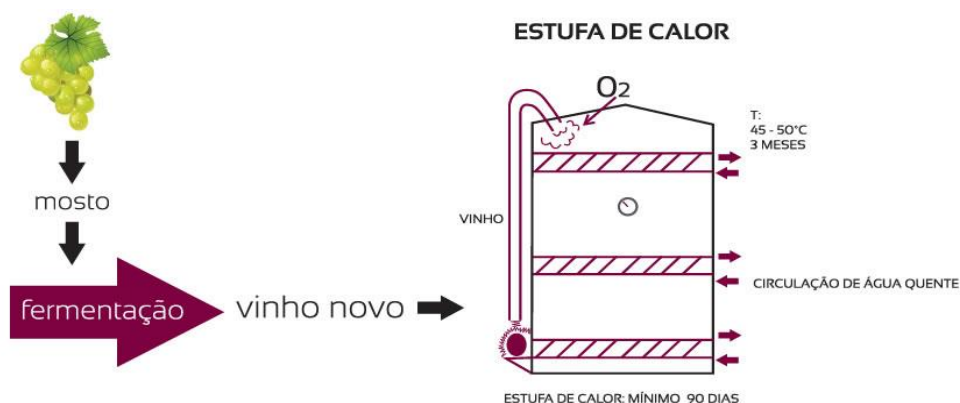


Figura 51 - Diagrama esquemático da etapa de estufagem no processo de produção de vinho Madeira (IVBAM, 2020).

Elaboração de lotes (Blending)

O *Blending* é a junção ou combinação de vinhos provenientes de diferentes lotes, com características organolépticas específicas, cujo objetivo é obter um produto final com determinados atributos.

c) A preparação do vinho para engarrafamento

Clarificação/Estabilização

Um dos processos de clarificação é a filtração que consiste na retenção de compostos do vinho ou mosto através da passagem por uma superfície filtrante. Os métodos mais usuais são a filtração de profundidade através do uso de *kieselguhr* (terra de diatomáceas) em pó, usando um filtro de terra móvel ou filtro de vácuo rotativo, filtração através de placas celulose e a filtração por membranas de polietersulfona, fluoreto de polivinilideno (PVDF), propileno ou nylon.

Por outro lado, o termo estabilização é usado para referir a várias intervenções de vinificação que, quando não realizadas, podem conduzir a efeitos indesejáveis no vinho acabado, designadamente turbidez indesejada, depósitos na garrafa e rápidas alterações no vinho (escurecimento).

Assim, existem dois tipos de estabilidade a destacar:

- A estabilidade proteica, a qual é obtida através da colagem (Figura 52) seguida de filtração. É de destacar que a colagem consiste em adicionar determinados constituintes ao vinho, como a bentonite, para remover partículas em suspensão e compostos indesejáveis que conferem defeitos de cor, de adstringência e de aroma;

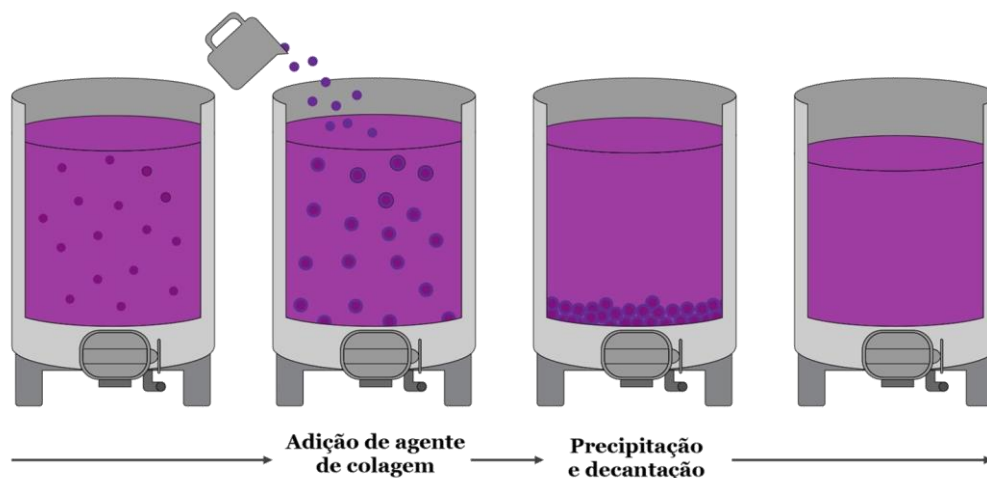


Figura 52 - Processo de colagem (Goddard, 2019).

- A estabilidade de tartárica, é obtida através da precipitação dos tartaratos, principalmente o bitartarato de potássio e, menos frequentemente, o tartarato de cálcio. É de salientar que os métodos mais usuais de estabilização tartárica são a estabilização contínua pelo frio e a estabilização por contacto (Figura 53).

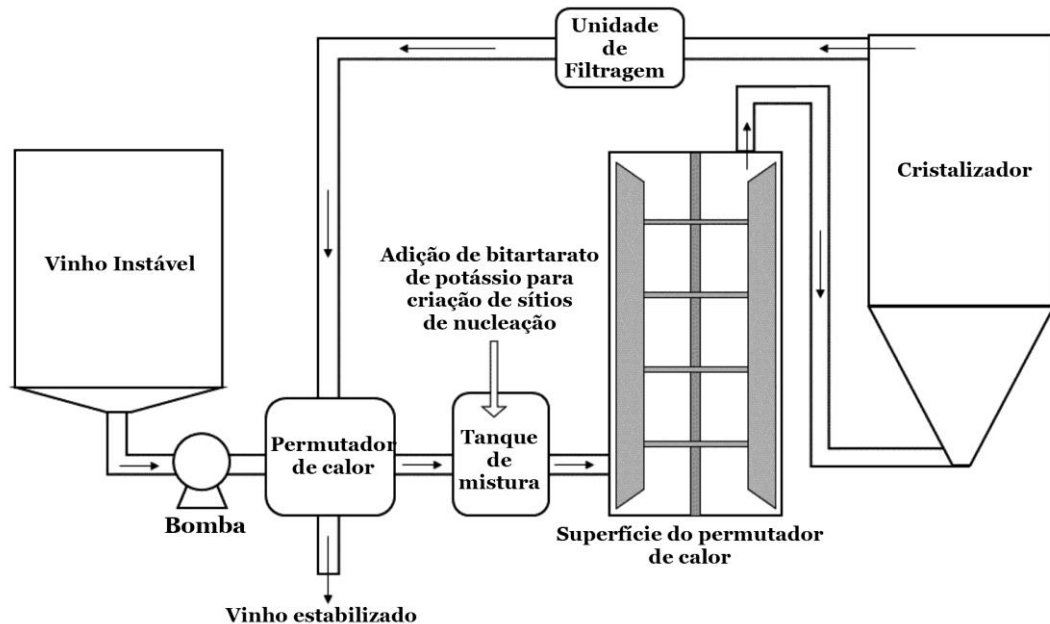


Figura 53 – Diagrama esquemático do processo contínuo de estabilização pelo frio do bitartarato de potássio (Geveke & Runnebaum, 2020).

Correções finais

As correções finais englobam essencialmente o ajuste dos níveis de dióxido de enxofre e o ajuste de diversos parâmetros nos vinhos licorosos, tais como o ajuste da cor, do grau alcoólico e do grau *Baumé* ou densidade.

d) Engarrafamento e Acabamento

Despaletização

Operação manual ou mecânica de dismantelamento das paletes de garrafas enviadas pelo fornecedor e introdução das garrafas na linha de engarrafamento.

Lavagem de garrafas

Operação de limpeza que tem como finalidade a eliminação de poeiras, pequenos fragmentos de vidro, resíduos de tratamento de superfície, bolores, água de condensação e insetos do interior da garrafa, bem como esterilização da garrafa.

Enchimento

Operação automática de colocação do vinho no interior da garrafa.

Rolhamento

Operação mecânica de compressão e introdução da rolha no gargalo da garrafa, com o objetivo de evitar a fuga do vinho e a entrada de ar.

Vedação (cápsula roscada)

A vedação consiste na colocação e cravamento mecânico (através de roletes) da cápsula roscada na marisa da garrafa, com a finalidade de evitar a fuga do vinho e a entrada de ar.

Capsulagem

Colocação manual ou automática da cápsula em garrafas previamente rolhadas e sua adaptação ao gargalo da garrafa através de roletes ou termicamente, dependendo do material da cápsula.

Rotulagem e marcação de lote

Operação automática ou manual (aguardente) de colagem de um rótulo, um contrarrótulo (onde foi efetuada uma inscrição automática de lote) e um selo de garantia na superfície exterior lateral da garrafa.

e) Preparação para a Expedição***Encaixotamento***

Operação automática ou manual de formação de caixas, colocação de divisórias de proteção e garrafas.

Fecho de caixas

Operação automática ou manual de fecho das caixas.

Marcação de caixas

Operação automática de inscrição direta do lote e/ou outras mensagens na superfície exterior lateral das caixas.

Paletização

Operação automática ou manual de colocação das caixas em palete, retratilização final e colocação de etiqueta codificada.

Armazenagem

Consiste no armazenamento temporário do produto acabado em armazém específico para o efeito.

Expedição

Processo de seleção de produto acabado, carregamento e respetivo acondicionamento no veículo de transporte.

7.3. As Principais Máquinas e Equipamentos Utilizados na Atividade

A indústria vinícola possui, geralmente, um elevado grau de automatização, traduzido num complexo e diversificado parque de máquinas e equipamentos necessários ao desenvolvimento dos seus processos produtivos (Anexo I), e encontra-se associada uma grande diversidade de riscos (Eurisko, 2011).

7.3.1. As Operações de Higienização e Manutenção de Máquinas, Equipamentos e Instalações

Na produção vinícola, a presença de resíduos de frutas nas superfícies dos equipamentos de processamento por períodos prolongados pode promover a rápida proliferação dos microrganismos. Como muitos destes microrganismos potenciam a deterioração dos vinhos, é imperativo evitar o crescimento descontrolado logo no início do processo, reduzindo assim os riscos de transmissão de microrganismos durante as posteriores etapas do processo de vinificação. Como ação corretiva, é necessário que todas as superfícies de contato com as frutas recebam tratamentos regulares e completos de limpeza e desinfecção, começando pelo tegão, aquando da receção das uvas, seguindo-se o desengaçador/esmagador, depois as bombas de trasfega, as cubas de fermentação e de estágio, as mangueiras, bem como todos a máquinas e equipamentos envolvidos no processo de fabrico (Fugelsang & Edwards, 2007).

Dada a evolução tecnológica, a maioria das operações inerentes à produção de vinhos são efetuadas em grande parte através de máquinas com um elevado grau de automatização. No entanto, no que se refere às operações de higienização de máquinas, equipamentos e instalações, embora já existam muitos sistemas utilizados pelas organizações, os quais simplificam significativamente as tarefas de higienização, ainda persiste a necessidade de intervenção humana nesta vertente.

O processo de higienização consiste na execução de três tipos de limpeza (IFV, 2016):

- A limpeza física: eliminação de sujidades, que aderem a um suporte, por processo mecânico (jato a alta pressão e escova) e eventualmente a adição de um detergente;
- A limpeza microbiológica: eliminação através da utilização de um desinfetante ou produto biocida para os microrganismos indesejáveis (leveduras, bactérias, bolores, etc.);
- A limpeza química: é a eliminação com água (enxaguamento) de contaminantes químicos, em particular os resíduos de detergentes ou desinfetantes utilizados.

A aplicação das medidas de higiene exigidas na enologia depende da flutuação da atividade da adega ou do armazém ao longo do ano (pico de atividade durante a vindima), da diversidade dos produtos que podem estar envolvidos (vinhos tintos, vinhos brancos, vinhos espumantes, vinhos estabilizados e não estabilizados, vinhos filtrados ou não filtrados, etc.) e os materiais envolvidos (madeira, aço inoxidável, betão, etc.) (Cottureau, 2010).

De forma a otimizar o planeamento das operações de limpeza-desinfecção, deve ser elaborado um plano de higiene, que inclua as respetivas frequências e os controlos efetuados. De acordo com Cottureau (2010), na área da enologia, é concebível e até razoável definir níveis de higiene (Tabela 35) dado que, quanto mais próximo o vinho estiver da fase de engarrafamento, mais rigorosas deverão ser as condições de higiene.

Tabela 35 - Níveis de higiene na área de enologia (Cottureau, 2010; Gardner, 2016).

| Nível de Higiene | Objetivo | Métodos | Aplicação |
|-------------------------|--|---|--|
| Mínimo | Eliminar a contaminação mais significativa: terra, folhas, bagaço | <ul style="list-style-type: none"> • Pré-lavagem | <ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos • Equipamento de colheita (durante a vindima) |
| Elementar | Eliminar a contaminação | <ul style="list-style-type: none"> • Pré-lavagem • Limpeza (com escova ou detergente) • Lavagem | <ul style="list-style-type: none"> • Desengaçadores/Esmagadores • Prensas de vinho • Vinificação e cubas de armazenamento |
| Completo | Eliminar a contaminação e limitar a proliferação de microrganismos | <ul style="list-style-type: none"> • Pré-lavagem • Limpeza • Lavagem • Desinfecção • Lavagem | <ul style="list-style-type: none"> • Recolha de cachos de uvas • Máquinas de colheita • Superfícies em contato com o mosto e o vinho • Tubos, bombas, válvulas |

| Nível de Higiene | Objetivo | Métodos | Aplicação |
|------------------|---|---|--|
| Muito completo | Diminuir a população de microrganismos abaixo de um limite predeterminado | <ul style="list-style-type: none"> • Pré-lavagem • Limpeza • Lavagem • Desinfecção • Lavagem • Controlo | <ul style="list-style-type: none"> • Superfícies em contacto com o vinho, como por exemplo, durante as operações de estabilização, no caso específico do processo de nucleação através da adição direta de bitartarato de potássio ao vinho. • Processo de engarrafamento. |

Inevitavelmente, o processo de fabrico de vinhos é efetuado sob restrições de tempo críticas. Portanto, é importante garantir o bom funcionamento dos equipamentos, bem como conhecer as causas dos problemas mais comuns ao longo do processo, como por exemplo: porque razão um motor elétrico não arranca, qual a razão pela qual a bomba de trasfega não está a bombear suficientemente rápido, quais os principais cuidados e procedimentos de manutenção diária a ter em consideração com os equipamentos, como deverá ser efetuada a manutenção preventiva das máquinas, com que frequência deverá ser efetuada a lubrificação dos equipamentos, entre outras causas (Butzke, 2010).

7.4. Os Principais Riscos Associados à Atividade

Em termos gerais, existem riscos associados às várias etapas dos processos de produção que são transversais a todo o setor da indústria da alimentação e das bebidas, enquanto que outros são específicos da indústria das bebidas.

De acordo com o SNS (2021), um fator de risco é algo que potencia o aumento da probabilidade de desenvolvimento de uma doença, não sendo possível, muitas vezes, determinar de que forma a doença foi provocada. Por outro lado, segundo a IGAS (2018), o conceito de perigo diz respeito às características intrínsecas de uma instalação, atividade, equipamento, um agente ou outro componente material de trabalho com potencial para provocar dano, sendo que um risco é a probabilidade do dano ser concretizado em função das condições de utilização, exposição ou interação do componente material do trabalho que apresente perigo.

As definições de perigo e de risco fazem referência a um dano, o diz respeito a um efeito ou a vários efeitos negativos com uma determinada gravidade. Estes efeitos podem referir-se a (SNS, 2021; IGAS, 2018):

- Lesões físicas, como as fraturas, cortes, entre outras, as quais proporcionam uma incapacidade de trabalho temporária ou permanente;
- Doenças profissionais, tais como tendinites, surdez, entre outras, com uma determinada duração, podendo ser reversíveis ou não;
- Problemas psicossociais, como o caso da insatisfação, fadiga, depressão, etc.;
- Problemas de desconforto (postura, iluminação, entre outras).

Tendo em consideração os conceitos de fator de risco e risco, a Tabela 36 resume os principais riscos físicos, químicos, biológicos, psicossociais e ergonómicos associados às várias etapas dos processos de produção na indústria de produção de vinhos (Eurisko, 2011).

Tabela 36 - Principais riscos inerentes à indústria de produção de vinhos (Anaya-Aguilar et al., 2018; Checchi & Casazza, 2012; Eurisko, 2011; WorkSafeBC, 2018, 2009; Youakim, 2006; Zalazar, Muñoz & Rodriguez, 2015).

| Operação | Fatores de Risco | Riscos |
|----------------------------|---|---|
| Receção de matérias-primas | <ul style="list-style-type: none"> • Movimentação manual de cargas pesadas e/ou volumosas; • Esforço físico excessivo; • Adoção de posturas incorretas; • Repetitividade das tarefas; • Forma de acondicionamento e apresentação das matérias-primas; • Circulação de empilhadores nas áreas de trabalho e circulação de pessoas; • Pavimentos molhados; • Desorganização da área de trabalho; • Utilização de máquinas elétricas. | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Fadiga visual; • Fadiga física; • Queda de objetos/materiais; • Quedas em altura • Quedas ao mesmo nível; • Choques contra objetos; • Entalamentos; • Esmagamentos; • Atropelamento; • Capotamento do empilhador; • Exposição a vibrações; • Exposição ao ruído; • Riscos elétricos. |

| Operação | Fatores de Risco | Riscos |
|-----------------------------------|---|---|
| Processos de vinificação | <ul style="list-style-type: none"> • Esforço físico excessivo; • Adoção de posturas incorretas; • Repetitividade das tarefas; • Forma de acondicionamento e apresentação dos materiais; • Utilização de escadas para acesso a áreas sobrelevadas; • Libertação de gases durante o processo fermentativo; • Uso de aditivos químicos • Pavimentos molhados; • Utilização de agentes de colagem e/ou clarificantes nos processos de estabilização e clarificação; • Utilização de sistemas elétricos; • Equipamentos/máquinas sem proteção; • Equipamentos ruidosos; • Desorganização da área de trabalho; • Espaços confinados; • Movimentação manual de cargas pesadas e/ou volumosas. | <ul style="list-style-type: none"> • Fadiga física; • Quedas ao mesmo nível; • Quedas em altura; • Choques contra objetos; • Exposição a gases tóxicos (CO₂, SO₂); • Exposição a agentes cancerígenos; • Exposição a substâncias químicas nocivas; • Riscos elétricos; • Dificuldades respiratórias; • Exposição a ambientes hipóxicos (causados por baixas concentrações de oxigênio atmosférico); • Entalamentos; • Lesões músculo-esqueléticas; • Exposição ao ruído; • Exposição a vibrações. |
| Armazenamento/Conservação/Estágio | <ul style="list-style-type: none"> • Circulação de empilhadores e pessoas nas áreas de trabalho; • Repetitividade das tarefas; • Adoção de posturas incorretas; • Desorganização da área de trabalho; • Espaços confinados; • Armazenamento de álcool ou aguardente vínica; • Exposição a substâncias acídicas; • Utilização de escadas para acesso a áreas sobrelevadas; • Utilização de bombas de transfega (elétricas); • Queda de barricas de madeira. | <ul style="list-style-type: none"> • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Entalamentos; • Choques contra objetos; • Exposição a vapores; • Exposição a substâncias perigosas; • Formação de atmosferas explosivas; • Dificuldades respiratórias; • Erosão dentária; • Riscos elétricos; • Esmagamento. |
| Elaboração de lotes | <ul style="list-style-type: none"> • Circulação de empilhadores e pessoas nas áreas de trabalho; • Repetitividade das tarefas; • Adoção de posturas incorretas; • Desorganização da área de trabalho; • Espaços confinados; • Armazenamento de álcool ou aguardente vínica; • Exposição a substâncias acídicas; • Utilização de escadas para acesso a áreas sobrelevadas; • Utilização de bombas de transfega (elétricas); • Queda de barricas de madeira. | <ul style="list-style-type: none"> • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Entalamentos; • Choques contra objetos; • Exposição a vapores; • Exposição a substâncias perigosas; • Formação de atmosferas explosivas; • Dificuldades respiratórias; • Erosão dentária; • Riscos elétricos; • Esmagamento. |

| Operação | Fatores de Risco | Riscos |
|---|--|---|
| Processo de Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente térmico desadequado; • Espaços confinados; • Utilização de escadas para acesso a áreas sobrelevadas; • Utilização de bombas de trasfega (elétricas). | <ul style="list-style-type: none"> • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Lesões músculo-esqueléticas (Operações de trasfega) • Entalamentos; • Choques contra objetos; • Exposição a vapores; • Exposição a substâncias perigosas; • Formação de atmosferas explosivas; • Dificuldades respiratórias; • Stress térmico; • Queimaduras; • Riscos elétricos. |
| Atividades nas linhas de engarrafamento | <ul style="list-style-type: none"> • Máquinas com elementos em movimento; • Presença de garrafas de vidro partidas; • Contacto com elementos em movimento; • Forma de acondicionamento e apresentação dos materiais; • Equipamentos ruidosos; • Trabalho com equipamentos que transmitem vibrações; • Posto de trabalho com condições ergonómicas deficientes; • Agentes biológicos; • Exposição a radiação ultravioleta; • Radiação infravermelha; • Laser (<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>); • Utilização de sistemas elétricos; • Equipamentos/máquinas sem proteção; • Adoção de posturas incorretas; • Esforço físico excessivo; • Movimentação manual de cargas pesadas e/ou volumosas. | <ul style="list-style-type: none"> • Entalamentos; • Esmagamentos; • Cortes; • Exposição a vapores; • Fadiga visual; • Fadiga física; • Exposição ao ruído; • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Exposição a vibrações; • Riscos biológicos; • Radiação não ionizante: <ul style="list-style-type: none"> - Exposição a radiação ultravioleta; inflamação dos tecidos do globo ocular e queimaduras cutâneas; - Radiação infravermelha: queimaduras de pele, aumento persistente da pigmentação cutânea e lesões nos olhos; - Laser: queimadura da córnea ocular, lesão grave da retina ou queimaduras da pele; • Risco elétricos; • Lesões músculo-esqueléticas; • Exposição a vapores. |

| Operação | Fatores de Risco | Riscos |
|-----------------|---|--|
| Embalagem | <ul style="list-style-type: none"> • Compressão mecânica localizada exercida por ferramentas ou superfícies; • Forma de acondicionamento e apresentação dos materiais; • Movimentação de cargas pesadas e/ou volumosas; • Esforço físico excessivo; • Circulação de empilhadores nas áreas de trabalho e circulação de pessoas; • Adoção de posturas incorretas; • Utilização de sistemas elétricos. | <ul style="list-style-type: none"> • Cortes; • Entalamentos; • Esmagamentos; • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Queda da carga; • Entalamento; • Atropelamento; • Queda de materiais; • Capotamento do empilhador; • Exposição ao ruído; • Exposição a vibrações; • Fadiga visual; • Fadiga física; • Risco elétricos. |
| Armazenagem | <ul style="list-style-type: none"> • Movimentação manual de cargas pesadas e/ou volumosas; • Adoção de posturas incorretas; • Esforço físico excessivo; | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas; • Fadiga física; • Fadiga visual; • Quedas em altura; • Quedas ao mesmo nível; • Atropelamento; |
| Expedição | <ul style="list-style-type: none"> • Forma de acondicionamento e apresentação dos materiais; • Circulação de empilhadores; • Presença de garrafas de vidro partidas; • Utilização de sistemas elétricos. | <ul style="list-style-type: none"> • Queda de materiais; • Queda da carga; • Capotamento do empilhador; • Esmagamentos; • Entalamentos; • Exposição ao ruído; • Exposição a vibrações; • Cortes; • Risco elétricos. |

| Operação | Fatores de Risco | Riscos |
|--------------------|--|--|
| Manutenção/Limpeza | <ul style="list-style-type: none"> • Movimentação manual de cargas pesadas e/ou volumosas; • Uso de ferramentas manuais; • Movimentação mecânica e manual de cargas; • Trabalho de corte e soldadura; • Uso de substâncias químicas perigosas; • Uso de equipamentos ruidosos; • Pisos escorregadios; • Movimentação manual de cargas; • Posturas inadequadas; • Utilização de produtos de higienização e limpeza; • Utilização de escadas para acesso a áreas sobrelevadas; • Utilização de equipamentos elétricos; • Trabalhar isoladamente (Operador); • Equipamentos/máquinas sem proteção; • Espaços confinados; • Máquinas/equipamentos desbloqueados. | <ul style="list-style-type: none"> • Queda de material; • Lesões músculo-esqueléticas; • Riscos elétricos; • Quedas ao mesmo nível; • Quedas em altura; • Exposição ao ruído; • Exposição a vibrações; • Exposição a produtos químicos perigosos; • Exposição a poeiras, fumos, perigosos; • Exposição a vapores; • Lesões músculo-esqueléticas provocadas, por exemplo, por tarefas repetitivas; • Atmosferas perigosas; • Atmosferas explosivas; • Espaços confinados; • Entalamentos; • Queimadura química; • Cortes; • Choques contra objetos; • Contactos elétricos; • Fadiga visual; • Exposição a substâncias perigosas presentes no local de limpeza, incluindo perigos biológicos, tais como bolores ou resíduos biológicos humanos; • Doenças de pele, tais como dermatite de contacto e eczema; • Problemas respiratórios, nomeadamente asma; • Risco elétricos; • Dificuldades respiratórias. |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Organização do trabalho inadequada. | <ul style="list-style-type: none"> • Riscos psicossociais; • Stress profissional, ansiedade e alterações do sono; • Desmotivação/fadiga psicológica. |

De acordo com Eurisko (2011), os acidentes mais críticos que têm ocorrido na Indústria das Bebidas são as explosões seguidas ou não de incêndio e as mortes por asfixia. Há dois aspetos comum nestas situações: os espaços confinados e a presença de partículas ou gases combustíveis e ou nocivos.

No caso da explosão em cadeia, após a deflagração inicial, esta evolui para detonação nas fases posteriores dando origem ao colapso de estruturas e incêndios de elevada dimensão. As explosões e mortes por asfixia em espaços confinados na indústria de fabrico de bebidas, deve-se essencialmente à acumulação de gases combustíveis (em tonéis, cubas, misturadores, estações de tratamento de águas residuais (ETARs) e à

presença de fontes de ignição (no caso de explosão), ou intervenção humana sem os devidos cuidados preparatórios (no caso de morte por asfixia).

Relativamente às atmosferas explosivas na Indústria das Bebidas, estas formam-se devido a libertação de álcool, gases ou vapores inflamáveis provenientes, por exemplo, dos processos de fermentação, dos vapores inflamáveis libertados pelas unidades de lavagem de peças com solventes na manutenção e nos armazéns de produtos inflamáveis, ou ainda, do armazenamento de aguardente vínica para a fortificação dos vinhos licorosos.

7.4.1. Os Principais Riscos Ergonómicos

A análise e a intervenção ergonómica são processos dinâmicos, através do quais são avaliados vários fatores (Figura 54) e definidas estratégias que permitam alcançar um nível ótimo de rentabilidade, segurança e conforto na utilização e manutenção do sistema homem-máquina.

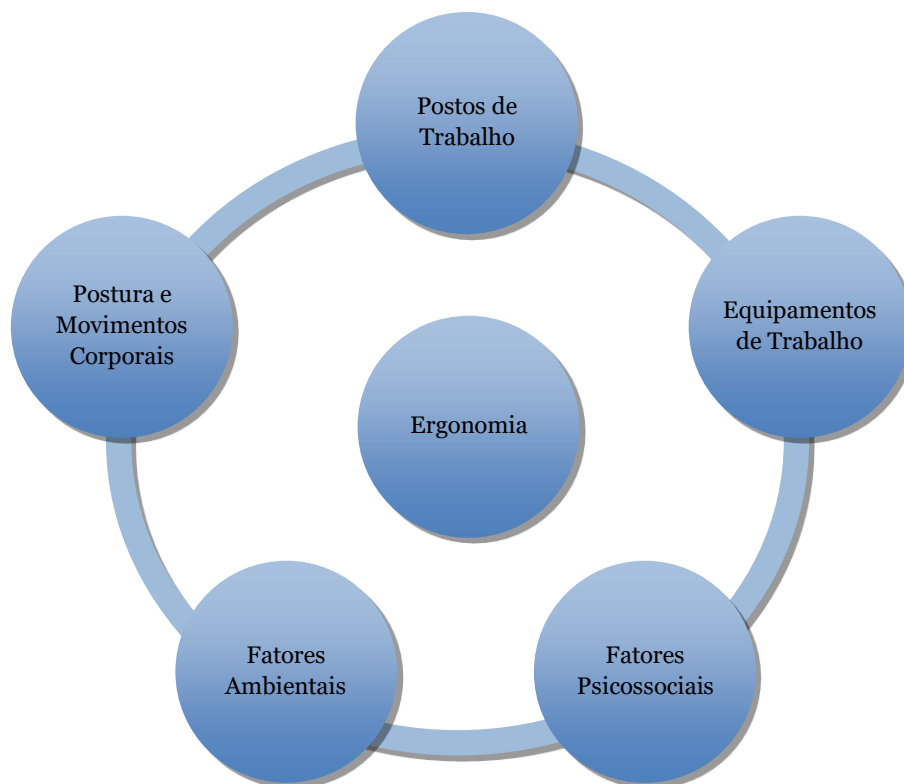


Figura 54 - O modo de atuação da Ergonomia (Eurisko, 2011).

Assim, através da Tabela 37 são apresentados os principais riscos ergonómicos associados à Indústria das Bebidas.

Tabela 37 - Principais riscos ergonômicos inerentes à indústria de produção de vinhos (Eurisko, 2011; Youakim, 2006; Checchi & Casazza, 2012; Anaya-Aguilar et al., 2018).

| Secção/Equipamento/Local | Risco Ergonómico |
|--|--|
| Receção de matérias-primas | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas; • Fadiga física; • Fadiga visual; • Exposição a vibrações. |
| Processos de vinificação | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas; • Fadiga física; • Exposição a vibrações. |
| Armazenamento/Conservação/ Estágio | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas. |
| Elaboração de lotes | |
| Processo de Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas (Operações de trasfega). |
| Atividades nas linhas de engarrafamento | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas (Lesões dorsolombares devido a posturas incorretas e ao volume e peso de cargas manuseadas manualmente). |
| Embalagem | <ul style="list-style-type: none"> • Fadiga física; • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Exposição a vibrações; • Fadiga visual. |
| Armazenagem | <ul style="list-style-type: none"> • Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares); • Exposição a vibrações; • Fadiga física; • Fadiga visual. |
| Expedição | |

7.5. Os *Layouts* Gerais das Áreas Produtivas

Segundo Stephens e Meyers (2013), o planeamento das instalações fabris é um processo multifacetado, influenciado por inúmeros fatores e variáveis que nem sempre estão necessariamente em harmonia, e às vezes podem até ter um impacto contraditório no processo de tomada de decisão.

O projeto das instalações de fabris corresponde à organização dos ativos físicos de uma empresa, de forma a promover o uso eficiente de recursos como os recursos humanos, materiais, equipamentos e energia. O projeto das instalações inclui a localização da fábrica, o projeto do edifício, o *layout* da fábrica e os sistemas de manuseamento dos materiais (Stephens & Meyers, 2013).

O design das instalações industriais e o manuseamento dos materiais afetam a produtividade e a rentabilidade de uma empresa mais do que qualquer outra decisão corporativa importante (Stephens & Meyers, 2013).

O *layout* é um termo simples que comunica os resultados complexos de muitos meses de investigação, recolha e análise de dados. O *layout* é a apresentação visual dos dados e das análises efetuadas durante o processo de planeamento. A combinação da precisão, da credibilidade dos dados e da análise lógica das informações que podem conduzir à obtenção de um *layout* funcional, ou ao aumento da eficiência, no caso de processos de otimização de *layouts* existentes (Stephens & Meyers, 2013).

À medida que o plano é apresentado à gestão de topo da organização, este será consultado regularmente para se verificar como os produtos fluem ao longo do *layout* produtivo. Deste modo, o diagrama de fluxo é uma ferramenta de grande ajuda para ilustrar o fluxo de materiais nas instalações, sendo que, no entanto, não pode ser criado até que tenha sido desenvolvido um *layout*. Não obstante deste facto, o diagrama de fluxo pode ser usado num *layout* existente, permitindo assim a comparação do método atual com o método proposto, tendo como base a melhoria da produtividade e a redução de custos (Stephens & Meyers, 2013).

O design das instalações fabris de uma organização depende de onze etapas muito importantes (Stephens & Meyers, 2013):

- Recolha de informação para o design das instalações industriais, processo que depende de várias fontes de informação, designadamente dos departamentos de *Marketing*, design de produto e da política de gestão;
- O tempo padrão que é o principal *input* para determinar o número necessário de pessoas e estações de trabalho necessárias para cumprir a programação da produção e balanceamento da linha de montagem;
- O design do processo determina como o produto e todos os seus componentes serão realizados. O design do processo pode ser dividido em duas grandes categorias, o fabrico e a montagem;
- A análise de fluxo é o *core* do *layout* da planta e o início do plano de manuseamento dos materiais. O fluxo determina o caminho que os materiais percorrem ao longo das instalações. A análise de fluxo para além de considerar o caminho que cada parte segue através da planta, também tenta minimizar a distância percorrida, o *backtracking*, o trânsito cruzado e o custo de produção;
- A análise de relacionamento de atividades, além de contemplar o fluxo de fabrico, inclui também outros departamentos, serviços e instalações, de modo a proporcionar um bom fluxo geral. As técnicas normalmente utilizadas na análise de relacionamento de atividades são:
 1. O diagrama de relacionamento de atividades;

2. A folha de cálculo;
3. O diagrama de blocos adimensional;
4. A análise de fluxo.

Estas técnicas contribuem para um melhor o planeamento das instalações, designadamente na colocação dos departamentos, escritórios e áreas de serviço nos locais mais adequados, de forma a satisfazer o maior número possível de relacionamentos importantes para criar o *layout* mais eficiente possível;

- A Ergonomia e os requisitos de espaço para o design do posto de trabalho, onde o resultado da Ergonomia e do design do posto de trabalho origina um *layout* do posto de trabalho, sendo que este *layout* por sua vez determina os requisitos de espaço. Os requisitos de espaço total do departamento de produção correspondem ao total de requisitos de espaço individuais, com o acréscimo de um fator de contingência (um pequeno extra);
- Requisitos de espaço para os serviços auxiliares, serviços estes que visam prestar apoio aos departamentos de produção. De entre os serviços auxiliares a serem considerados numa fábrica, os que requerem áreas de dimensões mais significativas são:
 1. Receção e envio;
 2. Armazenamento de matérias-primas, de produtos semiacabados, ou de outros produtos como os materiais/ferramentas para manutenção ou ainda produtos de limpeza;
 3. Armazenamento de produtos acabados;
 4. Manutenção e sala de ferramentas;
 5. Utilitários, aquecimento e ar condicionado.
- O manuseamento de materiais, corresponde à função de movimentar o material certo para o lugar certo, na hora certa, na quantidade certa, na sequência e na posição ou condição certa, de modo a minimizar os custos de produção;
- Equipamentos para o manuseamento de materiais, tradicionalmente, os equipamentos de manuseamento de materiais são agrupados em quatro categorias gerais: *fixed-path* que incorpora a classe de equipamento que atende à necessidade de manuseamento de materiais ao longo de um caminho predeterminado ou fixo, *fixed-area* que pode abastecer qualquer ponto dentro de uma área tridimensional x, y e z, *variable-path*, e todas as ferramentas e equipamentos auxiliares, tais como como paletes, *skids*, sistemas de recolha automática de dados e contentores;

- Alocação de área, trata-se de um processo que consiste simplesmente em dividir o espaço do edifício ou alocar espaço entre os departamentos e determinar o espaço é necessário.

Relativamente à conceção de uma adega vinícola, existem diversos fatores, de natureza técnica, a ter em consideração, tais como (Lamy, 2015):

- Ventilação adequada: de forma a garantir a extração do CO₂ e do calor formado a partir da fermentação, e contribuir para a formação de uma atmosfera, no interior das instalações, com uma humidade relativa não demasiado elevada (75 a 80%), de forma a prevenir o desenvolvimento de fungos;
- A construção efetuada em pelo menos 2 pisos, sendo um deles preferencialmente subterrâneo - a Cave: este perfil de construção permite a vinificação por gravidade, bem como as condições térmicas favoráveis para conservação dos vinhos, designadamente a estabilidade microbiológica, o envelhecimento lento e clarificações mais eficientes, devido à baixa amplitude térmica e valores baixos de temperatura;
- O isolamento térmico de paredes e tetos como forma de evitar elevadas amplitudes térmicas;
- O revestimento de pavimentos e paredes: com materiais resistentes e facilmente laváveis, por forma a manter uma boa higiene;
- A instalação de rede de água quente: composta por caldeira e tubagens de água quente, para desinfeção de equipamentos e recipientes vinários, para a indução da fermentação malolática, quando necessário, assim como para a realização do processo de estufagem, no caso da produção de vinho da Madeira;
- A instalação de rede de gás inerte: a rede de gás inerte (azoto, CO₂ e/ou argón) possibilita a conservação dos vinhos na ausência de oxigénio, evitando a sua oxidação e envelhecimento precoces, possibilitando a redução dos níveis de dióxido de enxofre;
- A instalação de um sistema de tratamento de águas residuais e resíduos sólidos;
- O dimensionamento dos equipamentos a utilizar: o qual deverá ser calculado tendo por base a quantidade e tipo de uvas a vinificar, a receção diária máxima e número de dias de vindima, a duração das fermentações e/ou macerações, etc.;
- O *layout* das instalações tecnológicas: o qual deve ser racional e funcional, tendo por base os diagramas dos métodos de vinificação;
- A instalação de um sistema de proteção contra incêndios: as adegas fazem parte da categoria das instalações com risco moderado de incêndio, sendo pertinente a instalação de um sistema de deteção e combate de incêndios;

- Design dos pavimentos: os declives dos pavimentos e os drenos devem ser projetados de forma a que os líquidos fluam para os ralos de escoamento, proporcionando pavimentos mais secos e limpos.

De seguida é possível observar alguns exemplos de *layouts* de instalações industriais projetadas para o fabrico de vinhos. O primeiro exemplo diz respeito ao *layout* das instalações fabris de uma adega vinícola localizada no município de San Donaci, na região de Puglia, na Itália, chamada *Cantine Paolo Leo* (Figura 55). A adega ocupa uma área de cerca de 70.000 m² e é composta por vários edifícios, sendo que cada um dos edifícios se encontra afeto a uma das fases do processo de produção do vinho (Malvoni, Congedo & Laforgia, 2017).

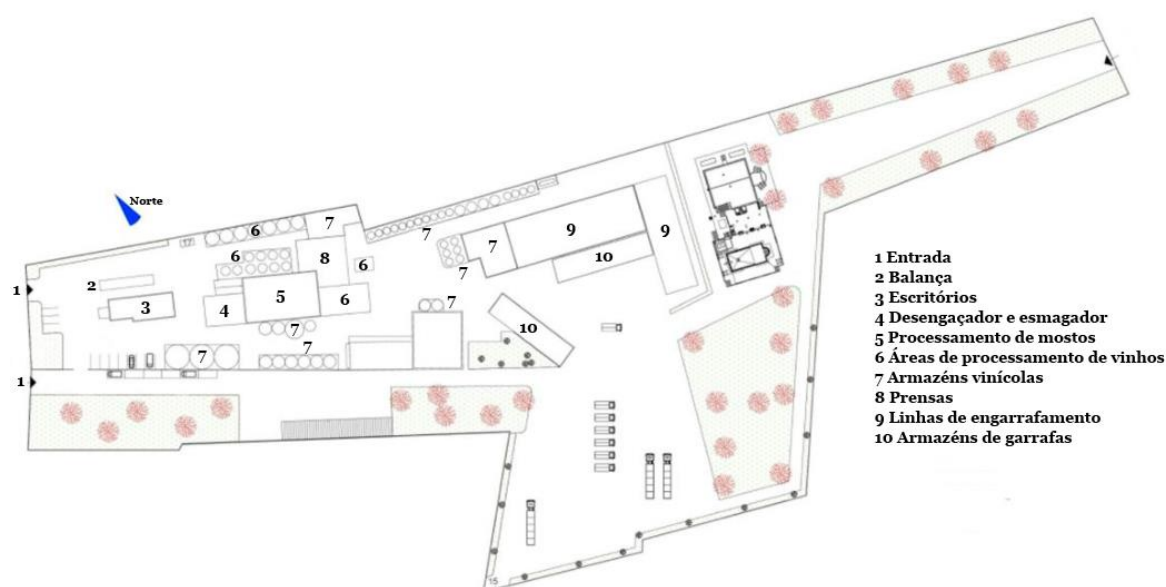


Figura 55 - *Layout* da adega vinícola *Cantine Paolo Leo*, em Itália (Adaptado de Malvoni, Congedo & Laforgia 2017).

O segundo exemplo, como forma de maximizar a eficiência energética, utiliza o princípio do fluxo por gravidade, através de instalações industriais divididas em 4 pisos (Figura 56). A entrada das uvas é efetuada através do piso superior, as operações de vinificação, estágio/envelhecimento são realizadas nos pisos intermédios, sendo o último piso reservado para várias funções, inclusivamente o engarrafamento (Soderstrom Architects, 2020).

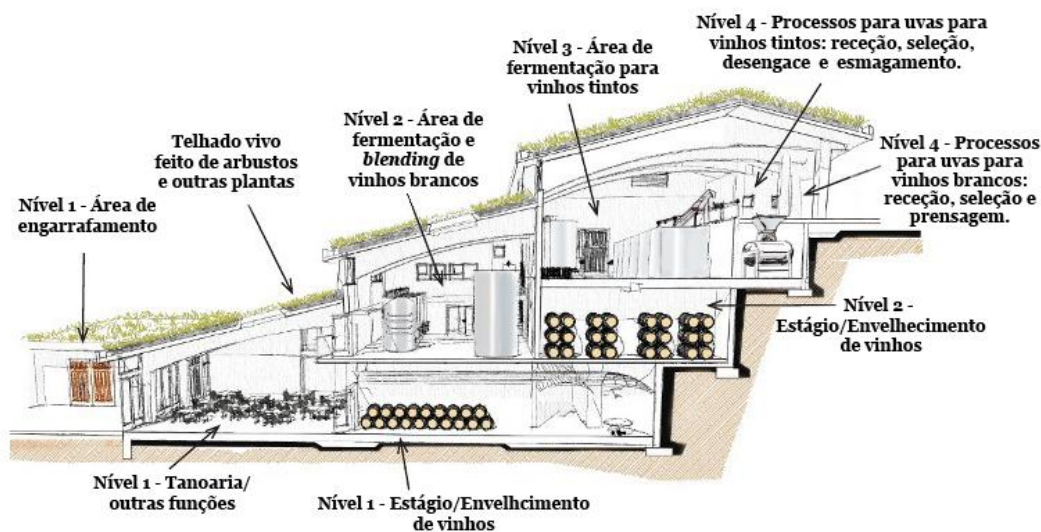
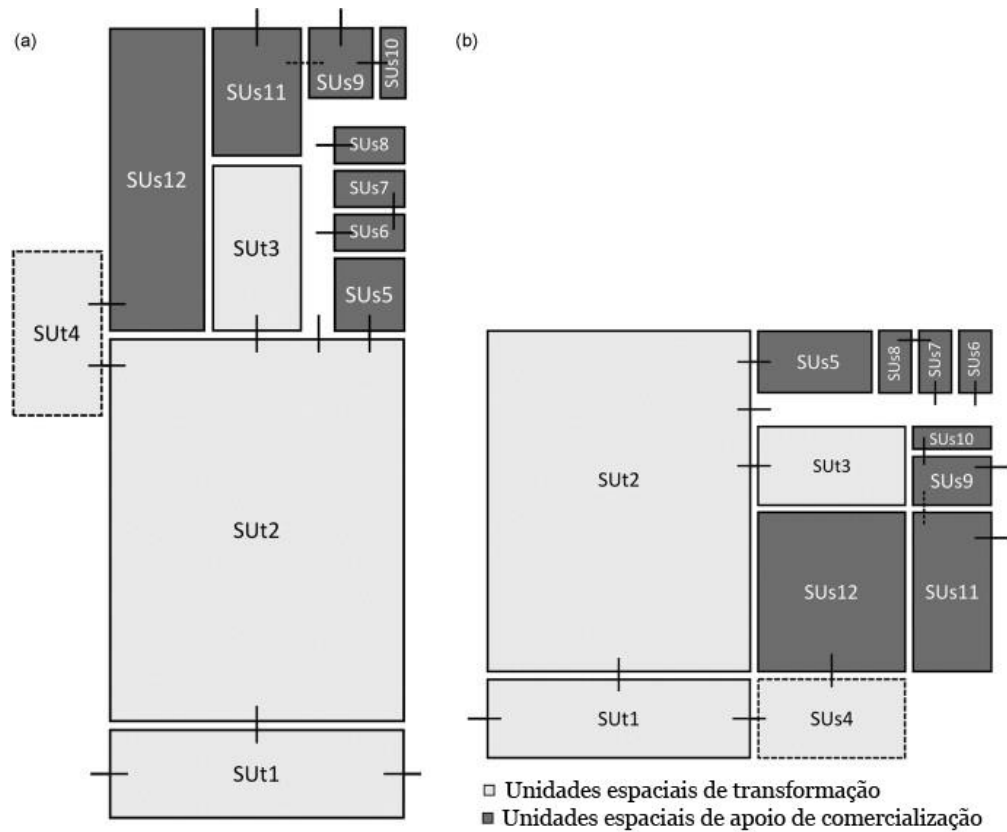


Figura 56 - Seção transversal da Adega Woollastone, na Nova Zelândia (Adaptado de Soderstrom Architects, 2020).

Como forma de otimizar o *layout* das instalações afetas à produção de vinho em pequenas e médias empresas, em termos de requisitos funcionais, através da aplicação de uma metodologia meta-design, após o estabelecimento das relações diretas e indiretas entre as diversas unidades espaciais, Torreggiani et al. (2011) determinaram duas soluções de *layout* possíveis: uma solução de *layout* axial (Figura 57a) e uma solução de *layout* compacto (Figura 57b).



Legenda:

SUt1 – Receção de uvas
 SUt2 - Processo de vinificação, armazenamento e clarificação
 SUt3 – Processo de colagem
 SUt4 – Engarrafamento e embalagem
 SUt5 – Armazém de depósitos

SUt6 –Prensagem
 SUt7 –Balneários
 SUt8 –WC para os trabalhadores
 SUt9 – Sala de provas SUt10 -
 SUt11 – Sala de vendas
 SUt12 - Armazém

Figura 57 - Soluções de *layout* definidas através da análise de meta-design (a) Solução de *layout* axial. (b) Solução de *layout* compacto (Adaptado de Torreggiani et al. 2011).

Por outro lado Gómez, Tascón & Ayuga (2018), propuseram vários tipos de *layouts* (Figura 58), os quais foram obtidos através da utilização do método de planeamento sistemático de *layout* tendo em consideração a continuidade do processo de produção estabelecido, bem como os critérios de qualidade e higiene do produto, o ruído, os cheiros, a acessibilidade, a higiene e segurança no trabalho e a diferença entre as áreas molhadas e secas.

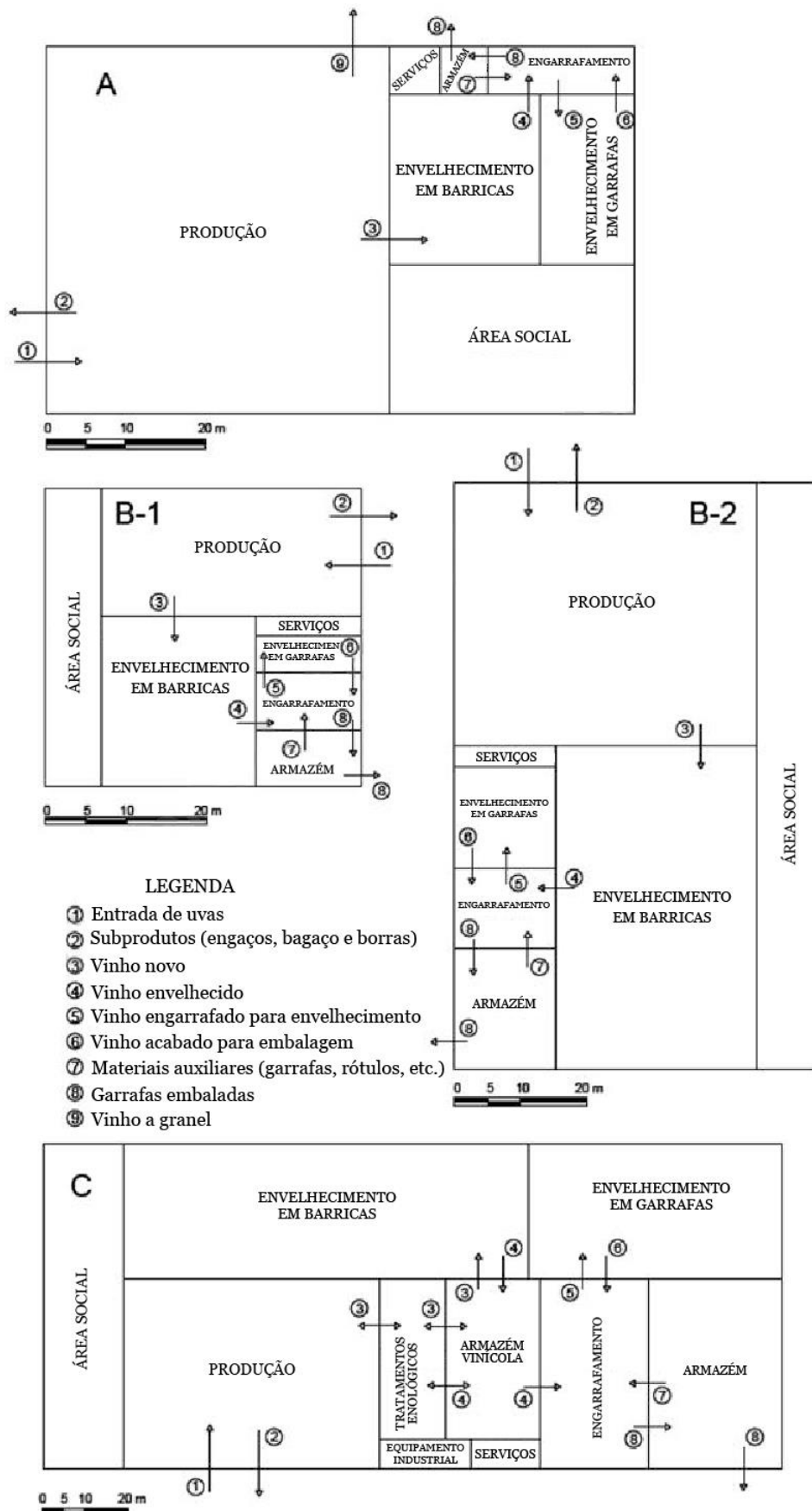


Figura 58 - Layouts propostos para as diferentes classes de adegas vinícolas (Adaptado de Gómez, Tascón & Ayuga 2018).

7.6. Nota Conclusiva sobre a Caraterização da Amostra

Através da caraterização do setor em estudo, a produção de vinhos comuns e licorosos, foi possível apurar os tipos de vinho mais representativos do setor, assim como o potencial de produção nas várias regiões vitivinícolas e a nível global em Portugal, potencial este que oscila sensivelmente entre seis a sete milhões de hectolitros por ano, no período compreendido entre 2015 e 2020.

Relativamente aos processos de produção, através da caraterização conjunta dos processos, foi possível detetar as diferenças entre os vários tipos de vinho em termos de método de fabrico, sendo de destacar a especificidade da produção de vinho da Madeira, o qual possui uma etapa adicional referente ao processo de estufagem.

Quanto às máquinas e equipamentos utilizados na atividade, verifica-se que estes são comuns a todos os métodos de produção, sendo de destacar mais uma vez a particularidade da produção de vinho da Madeira, o qual engloba um sistema de aquecimento e cubas em inox específicas para o efeito.

Dada a grande sensibilidade dos vinhos, em termos de qualidade e segurança alimentar, um dos aspetos mais importantes da atividade de produção de vinhos prende-se com os processos de higienização e manutenção dos equipamentos, máquinas e instalações. Estes processos em conjunto com as operações de armazenamento de álcool ou aguardente vínica e fortificação de vinhos, no caso específico dos vinhos licorosos, envolvem uma variedade de riscos significativos, de um modo particular o risco de explosão.

Relativamente aos *layouts* de das áreas de produção no setor de produção de vinhos, existe uma ampla diversidade de configurações possíveis utilizadas por diversas organizações, desde *layouts* com design ao mesmo nível, com infraestruturas dispersas em vários edifícios ou concentradas numa única área, a *layouts* subdivididos em vários níveis ou pisos, os quais visam tirar proveito da denominada vinificação por gravidade para maximizar a eficiência energética associada aos processos de vinificação.

Vários autores referem a possibilidade de obter diferentes configurações de *layout* independentemente da sua estrutura em termos de número de níveis ou grau de dispersão, sendo possível obter configurações mais ou menos compactas, de acordo com os requisitos e/ou restrições estipuladas.

As informações obtidas neste capítulo permitem prosseguir para a próxima etapa, a qual visa otimizar em termos ergonômicos alguns cenários inerentes ao *layout* de produção, a otimização da sequência de atividades ou operações associadas aos processos de produção, incluindo a eventual necessidade de rotatividade de tarefas, e a criação de um método que permita a escolha de ferramenta da Indústria 4.0 mais apropriadas à eliminação ou minimização de acidentes neste setor.

Capítulo 8:

Avaliação e Quantificação dos Riscos Identificados no Sector Vinícola

Este capítulo encontra-se subdividido em duas secções. Numa primeira secção é apresentada a apreciação e quantificação dos riscos gerais presentes nas várias zonas da área produtiva, de acordo com a identificação e compilação realizadas no capítulo seis, e tendo em consideração a sazonalidade de algumas atividades associadas ao período de vindima (época alta).

Numa segunda secção procurou-se apreciar e quantificar os riscos ergonómicos, de acordo com as tarefas que integram o processo produtivo, com base no gasto de energia metabólica humana despendida aquando das respetivas execuções.

É de destacar que os resultados das avaliações obtidas neste capítulo visam possibilitar a aplicação dos modelos na otimização de *layouts* de áreas produtivas, na otimização do planeamento de tarefas e na seleção de ferramentas de Indústria 4.0 mais adequadas à minimização de riscos ergonómicos neste setor.

8.1. Metodologia de Análise e Quantificação dos Riscos

O método selecionado para a apreciação dos riscos ocupacionais detetados no setor vinícola foi o método William T. Fine (W.F.). Este método permite a avaliação de riscos sempre que o tempo de exposição dos trabalhadores à situação de risco é um fator importante (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

Segundo o método W.F., o grau de perigosidade deve de ser calculado em função de três fatores (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016; Freitas, 2019):

- As consequências do acidente;
- O grau de exposição ao risco;
- A probabilidade de o acontecimento ocorrer.

O método baseia-se no facto do tempo de exposição do trabalhador à situação de risco ser um fator importante a considerar nos cálculos (Popov, Lyon & Hollcroft, 2016).

8.1.1. Aplicação do Método William T. Fine na Avaliação dos Riscos Identificados no Setor Vinícola

De forma a possibilitar a posterior realização da avaliação dos riscos relativos aos perigos identificados, é imprescindível definir os critérios de segurança que permitam, de uma forma quantitativa, estimar o grau de risco.

Deste modo, o Apêndice I apresenta os critérios de segurança estabelecidos com base da descrição do método W.F., bem como a avaliação dos riscos identificados e compilados através da revisão bibliográfica efetuada para o caso específico do setor vinícola durante a época alta, mais concretamente durante a vindima.

Através da Tabela 38 mostra-se o resumo das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima) apresentados na Tabela 77 do Apêndice I.

É se destacar que o cálculo dos valores referentes ao grau de perigosidade médio, constantes na Tabela 38, foram obtidos através da estimativa dos valores dos critérios de segurança usados no cálculo, os quais por sua vez se basearam nos trabalhos realizados por Anaya-Aguilar et al. (2018); Checchi & Casazza (2012); Eurisko (2011); Youakim (2006), de acordo com a Tabela 77 do Apêndice I.

Tabela 38 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima).

| Áreas | Avaliação | |
|---|----------------------------|-----------------|
| | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 Receção de Matérias-Primas (uvas) | 467,1 | Muito alto |
| 2 Vinificação | 574,6 | Muito alto |
| 3 Fermentação | 600,4 | Muito alto |
| 4 Clarificação/Estabilização | 436,3 | Muito alto |
| 5 Filtragem | 462,9 | Muito alto |
| 6 Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 580,0 | Muito alto |
| 7 Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 702,9 | Muito alto |
| 8 Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 277,5 | Alto |
| 9 Elaboração de Lotes | 582,3 | Muito alto |
| 10 Engarrafamento | 555,0 | Muito alto |
| 11 Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 12 Armazém de Produto Semiacabado | 241,7 | Alto |
| 13 Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 14 Embalagem | 394,0 | Alto |
| 15 Expedição | 481,2 | Muito alto |

No Apêndice I também são apresentados os critérios de segurança estabelecidos com base da descrição do método W.F., bem como a avaliação dos riscos identificados e compilados através da revisão bibliográfica efetuada para o caso específico do setor vinícola durante a época baixa, especificamente após vindima.

Na Tabela 39 apresenta-se o resumo das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época baixa (após vindima) apresentados na Tabela 78 do Apêndice I.

Tabela 39 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época baixa (após vindima).

| | Áreas | Avaliação | |
|----|---|----------------------------|-----------------|
| | | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 0,6 | Aceitável |
| 2 | Vinificação | 0,7 | Aceitável |
| 3 | Fermentação | 0,7 | Aceitável |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 166,3 | Notável |
| 5 | Filtragem | 356,3 | Alto |
| 6 | Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 259,1 | Alto |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 270,0 | Alto |
| 8 | Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 277,5 | Alto |
| 9 | Elaboração de Lotes | 505,9 | Muito alto |
| 10 | Engarrafamento | 555,8 | Muito alto |
| 11 | Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 12 | Armazém de Produto Semiacabado | 241,7 | Alto |
| 13 | Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 14 | Embalagem | 394,0 | Alto |
| 15 | Expedição | 481,2 | Muito alto |

8.2. Avaliação e Quantificação dos Riscos Ergonómicos no Sector

A maioria das técnicas de avaliação ergonómica tradicionais desenvolvidas, tais como os métodos OCRA, NIOSH, OWAS, RULA, são na sua maioria aplicadas no estudo de macroatividades, fornecendo índices de risco típico baseado na avaliação semiquantitativa de posturas, movimentos e cargas. Estes métodos revelam-se morosos, dada a necessidade de avaliação das várias posições de diferentes partes do corpo na análise de cada postura. Deste modo, existem algumas limitações associadas a estas técnicas, designadamente em relação à morosidade na sua aplicação para estimar corretamente os níveis ergonómicos de todas as atividades, bem como no que respeita à

diferença significativa dos resultados obtidos através da aplicação de diferentes técnicas ergonómicas (Battini et al., 2016).

Assim, de acordo com Hills, Mokhtar & Byrne (2014), as abordagens baseadas na medição da atividade física são frequentemente utilizadas para quantificar a quantidade e o tipo de movimento realizado por indivíduos em diferentes ambientes. Em muitos casos, abordagens objetivas de medição de atividade física também são usadas para prever o gasto de energia metabólica humana.

8.2.1. A atividade física e a sua relação com os riscos ergonómicos

A atividade física é definida como qualquer movimento corporal que implica um gasto de energia. De uma forma mais específica, a atividade física corresponde a um movimento corporal resultante da contração de músculos esqueléticos e que envolvem um aumento no dispêndio de energia acima dos níveis de repouso (Hills, Mokhtar & Byrne, 2014).

Uma das características mais procuradas no desempenho diário das capacidades motoras humanas reside na propensão em completar uma tarefa com o mínimo gasto de energia. Deste modo, os movimentos económicos são os que logram alcançar a meta da tarefa com um gasto de energia metabólica relativamente baixo face as exigências de uma determinada tarefa. Não obstante dos diversos conceitos e da complexidade inerente, a eficiência é definida como a relação entre o trabalho mecânico realizado e a energia metabólica gasta para o efeito, de acordo com a seguinte equação (Sparrow & Newell, 1998).

$$Eficiência (\%) = \frac{Trabalho\ mecânico\ realizado}{Energia\ utilizada} \times 100 \quad (4)$$

Por sua vez, de acordo com Kamada et al. (2014), a atividade física excessiva é considerada perigosa para a saúde da coluna vertebral, existindo uma relação direta entre a atividade física e a ocorrência da dor lombar crónica. Por outro lado, Gumasing, Llamas & Martin (2020) verificaram que a frequência cardíaca encontra-se correlacionada com a intensidade da atividade física, sendo que a frequência cardíaca aumenta com o aumento do trabalho físico, verificando-se posteriormente uma redução da frequência cardíaca quando são efetuadas pausas.

Deste modo, o risco de ocorrência das fadigas física e mental é proporcional ao aumento da intensidade da atividade física, facto observado por Gumasing, Llamas & Martin

(2020) que verificaram que a taxa de atividade metabólica induz um maior nível de fadiga física e mental vivenciada pelos trabalhadores, dado que a atividade física exige um maior esforço em termos de dispêndio de energia. À medida que a intensidade do trabalho aumenta, a taxa de atividade metabólica do trabalhador também aumenta. Uma vez que o índice de massa corporal e a idade estão relacionados com a taxa de atividade metabólica, à medida que o índice de massa corporal e a idade aumentam, o trabalhador experimentará um maior nível de fadiga física e mental (Gumasing, Llamas & Martin, 2020).

Em termos fisiológicos, o trabalho fisicamente mais exigente corresponde a uma atividade que emprega intensamente os músculos esqueléticos. Por sua vez, os músculos convertem a energia química em trabalho (energia física) através da movimentação dos segmentos do corpo contra as resistências internas e externas. Quando em repouso, os músculos podem aumentar a produção de energia até 50 vezes mais, sendo que a elevada variação da taxa metabólica requer uma rápida adaptação em relação ao abastecimento de nutrientes e oxigênio para o músculo, assim como a remoção das grandes quantidades de produtos residuais internos que, entretanto, são gerados. Deste modo, a corrente sanguínea, alimentada pelo coração, fornece os meios de transporte para os processos de abastecimento e remoção (Kroemer, 2017).

A capacidade do corpo em manter um equilíbrio interno é determinante no que concerne à quantidade de trabalho mais exigente que pode ser realizado. Esta capacidade depende em grande parte do adequado funcionamento dos sistemas respiratório e circulatório, designadamente na eficácia de abastecimento de portadores de energia, oxigênio e na remoção de resíduos e calor aos músculos envolvidos (Kroemer, 2017).

8.2.2. As Atividades Físicas e a sua Quantificação em Termos de Dispêndio de Energia Metabólica

Um trabalho mais intenso exige um grande esforço físico que implica um elevado gasto de energia, o que envolve elevadas exigências por parte das funções metabólicas do trabalhador, acarretando tensões significativas nas funções circulatória e respiratória do corpo. Normalmente, o consumo de energia e o esforço cardíaco estabelecem limites para a capacidade de desempenho de um indivíduo (Kroemer, 2017).

Existem três fatores que determinam o gasto energético diário total (Katch, McArdle & Katch, 2011):

- A taxa metabólica de repouso, que inclui as condições basais e de sono acrescidas do custo adicional referente ao despertar;
- A influência termogénica dos alimentos consumidos;
- A energia gasta durante a atividade física e a respetiva recuperação.

É de destacar que o metabolismo basal (repouso) corresponde à quantidade mínima de energia necessária para manter o corpo a funcionar, mesmo quando não é realizado qualquer tipo de atividade (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020). De acordo com Katch, McArdle & Katch (2011), é possível fazer, com uma elevada precisão, a previsão da energia metabólica gasta no estado de repouso, de acordo com as seguintes equações (Katch, McArdle & Katch, 2011):

Para o género feminino:

$$RDEE = 655 + (9,6 \times BM) + (1,85 \times S) - (4,7 \times A) \quad (5)$$

Para o género masculino:

$$RDEE = 66,0 + (13,7 \times BM) + (5,0 \times S) - (6,8 \times A) \quad (6)$$

Onde *BM* corresponde à massa corporal, *S* à estatura (em centímetros), *A* à idade (em anos) e *RDEE* à energia despendida durante o estado de repouso (kCal).

Portanto, a monitorização das exigências ao nível das funções metabólicas e cardíacas proporcionam um método de avaliação da severidade da tarefa física. As medições fisiológicas das capacidades de um trabalhador em termos de funções metabólicas, cardiovasculares e respiratórias, em conjunto com as avaliações de força e de mobilidade, permitem aferir a sua capacidade de execução de um determinado trabalho físico mais pesado (Kroemer, 2017).

A mensuração da quantidade máxima de oxigénio que o corpo de um indivíduo pode utilizar durante um período específico, por exemplo durante um minuto de atividade física intensa, reflete a aptidão física aeróbica de uma pessoa. Assim, o volume de oxigénio (VO_2) máximo também é utilizado na previsão da capacidade de resistência durante atividades físicas submáximas prolongadas (Kroemer, 2017).

Deste modo, o gasto da energia metabólica pode ser estimado através da medição do consumo de macronutrientes ou do consumo de oxigénio, ou da produção de calor ou da produção de dióxido de carbono. A maioria das abordagens de medição mais utilizadas atualmente envolvem a monitorização do consumo de oxigénio e/ou produção de dióxido de carbono através da calorimetria indireta, em contraste com a calorimetria direta,

pouco utilizada, que consiste na medição da produção de calor numa câmara metabólica (Hills, Mokhtar & Byrne, 2014).

Os métodos de calorimetria indireta com medição do consumo de O_2 são os mais utilizados na quantificação do gasto de energia humana. Esta técnica baseia-se na relação entre o consumo de O_2 e a energia produzida, ou seja, por cada litro de O_2 consumido pelo corpo, é gasto o equivalente a aproximadamente 5 kcal de energia. Em termos simplificados, através da medição do consumo de O_2 durante a realização de tarefas definidas, tais como descansar, ficar em pé, caminhar e correr, é possível determinar o respetivo custo de energia ou a energia gasta (Hills, Mokhtar & Byrne, 2014).

O aumento do metabolismo a partir da fase de repouso até à fase de correspondente à execução de uma tarefa é denominado metabolismo de trabalho. Este aumento acima do nível de repouso representa a quantidade de energia necessária para realizar o trabalho. Frequentemente, para descrever as exigências da tarefa, é realizada a medição da quantidade total de energia utilizada pelo corpo, incluindo os níveis de repouso ou basal (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

De acordo com a Figura 59, no início de um grande esforço físico, dada a necessidade repentina de oxigénio, o consumo real de oxigénio fica é inferior ao requerido pelo esforço. Após um início lento, a ingestão de O_2 aumenta rapidamente atingindo a estabilidade de forma a satisfazer os requisitos de um trabalho estável. Assim, no início da tarefa, o corpo incorre num défice de oxigénio disponível devido ao lento aumento de abastecimento de oxigênio. Depois que o trabalho termina, a ingestão de oxigénio efetuada pelo corpo começa a diminuir até voltar ao nível dos consumos no estado de repouso, sendo que este retorno demora cerca de duas vezes mais tempo comparativamente ao aumento da captação de O_2 na fase inicial do trabalho (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

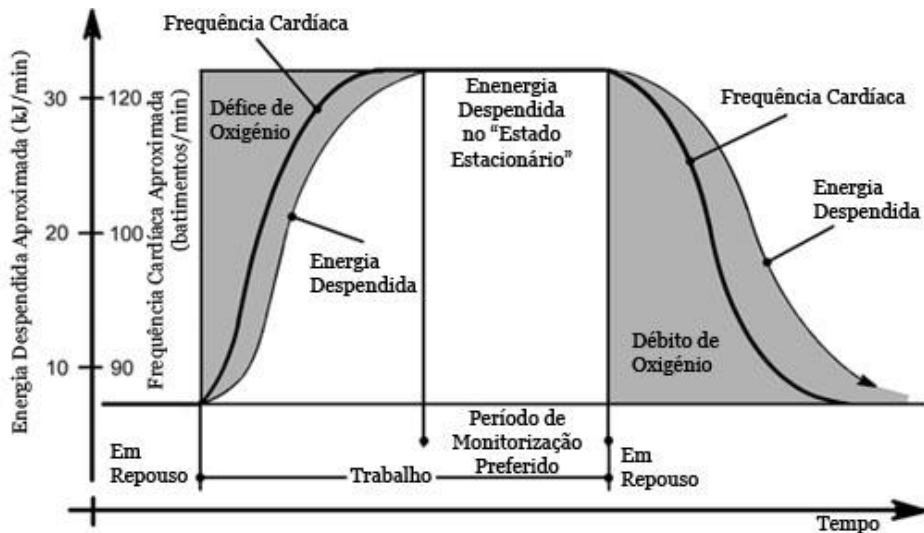


Figura 59 - Esquema de libertação de energia, gasto de energia e frequência cardíaca antes, durante e após o trabalho no estado estacionário (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

Quando o esforço de trabalho exercido permanece abaixo da capacidade máxima da pessoa que o executa, os processos metabólicos, o fornecimento de oxigênio, o fluxo sanguíneo e a respiração podem manter os níveis necessários para o esforço. Este estado, onde as funções se encontram estabilizadas durante a execução do trabalho é denominado estado estacionário, como é possível observar através da Figura 59. Este estado é propício à realização das medições das exigências inerentes ao trabalho executado pelo corpo, sendo que o gasto de energia e a frequência cardíaca durante a execução são indicadores objetivos do grau de exigência dessa tarefa (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

Na Tabela 40 apresentam-se as classificações das exigências das tarefas, sendo que os valores de energia apresentados contêm os metabolismos basal e de repouso, não havendo diferenciação em termos de género, dada a subjetividade das opiniões acerca dos graus de exigência das tarefas (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

Tabela 40 - Classificação do nível de exigência face ao trabalho (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

| Classificação | Por gasto de energia | | Por frequência cardíaca (Nº de batimentos/min) |
|---------------------|----------------------|------------|--|
| | (kJ/min) | (kcal/min) | |
| Leve, fácil | 10 | 2,5 | 90 ou menos |
| Médio, moderado | 20 | 5 | 100 |
| Pesado, difícil | 30 | 7,5 | 120 |
| Muito pesado | 40 | 10 | 140 |
| Extremamente pesado | 50 | 12,5 | 160 ou mais |

Segundo os estudos realizados por Kroemer (2017) a execução de uma tarefa que implique a aplicação de um esforço máximo, implica necessariamente o aumento considerável de muitas funções corporais, como se pode observar na Tabela 41. Se o corpo consegue satisfazer as exigências do trabalho e permanecer num estado estacionário, então o trabalho pode continuar, como é possível observar através da Figura 59 (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

Tabela 41 - Alterações típicas nas funções fisiológicas entre os estados de repouso e de esforço máximo (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

| Alteração | Variação | Diferença de proporcionalidade entre os estados de repouso e de esforço máximo |
|---------------------|---|---|
| Consumo de energia | De 1 a 20 kcal/min | 20 |
| Consumo de oxigénio | De 0,2 a 4 L | 20 |
| Ação cardíaca | Frequência cardíaca: de 60 a 180 batimentos/min | 3 |
| | Volume de sistólico: de 50 a 150 ml | 3 |
| | Débito cardíaco: de 5 a 35 L / min | 7 |
| | Pressão arterial sistólica: de 90 a 270 mmHg | 3 |
| Respiração | Taxa de respiração: de 10 a 50 respirações/min | 5 |
| | Volume: de 5 a 100 L/min | 20 |

No entanto, se as exigências físicas de um trabalho excederem as capacidades do corpo, a frequência cardíaca e as outras funções de abastecimento irão aumentar as suas atividades até atingirem os seus limites, uma vez que não consegue atingir um estado estacionário. Deste modo, esta situação irá forçar a paralisação do trabalho, proporcionando então, a diminuição da frequência cardíaca e das outras funções lentamente, até atingir novamente os seus níveis de repouso, como ilustra a Figura 60. Naturalmente, que o nível de exigência que um indivíduo pode suportar dependerá da sua aptidão física e da sua preparação física desenvolvida para a realização do trabalho (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

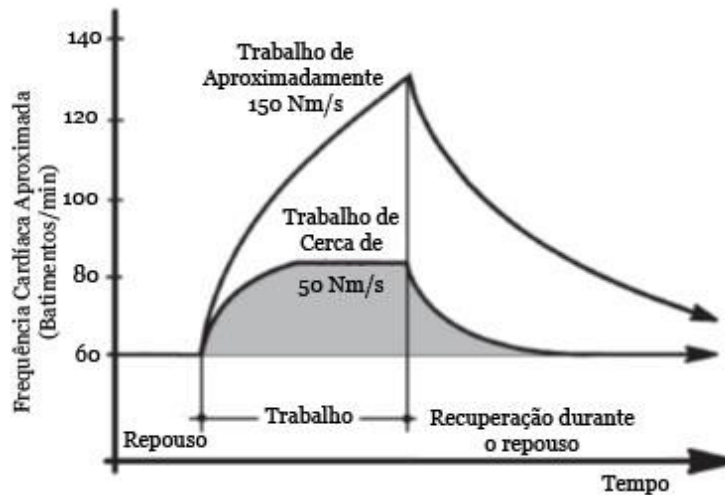


Figura 60 - Evolução da frequência cardíaca durante a execução de um trabalho exaustivo versus a frequência cardíaca no estado estacionário durante a execução de um trabalho físico leve (Kroemer, 2017; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

8.2.3. Métodos de Determinação do Gasto de Energia Metabólica

Existem várias metodologias utilizadas para a determinação do gasto de energia metabólica envolvida na execução de tarefas, como por exemplo a metodologia utilizada por Battini et al. (2016) no balanceamento de uma linha de montagem, com base no gasto da energia metabólica dos colaboradores, a qual se baseia numa técnica denominada Sistema de Energia de Movimento Predeterminado, tendo em consideração vários fatores que influenciam o gasto energético metabólico como o peso corporal, o género, o peso da carga envolvida a tarefa, as distâncias de levantamento/abaixamento verticais, os movimentos laterais dos braços no plano horizontal, a velocidade de andamento à pé e de transporte de carga, as posturas e o tempo de duração do trabalho, cuja formulação para a determinação da taxa média de gasto de energia no trabalho pode ser efetuada através da equação (7) (Battini et al., 2016).

$$\bar{E}_{job} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \dot{E}_{pos} \cdot t_i + \sum_{i=1}^n E_{mov-i}}{T} \quad (7)$$

No caso do gasto energético metabólico para cada tarefa do processo, a sua determinação pode ser efetuada de acordo com a equação (8) (Battini et al., 2016).

$$\bar{E}_{job} = \sum_{i=1}^{n_i} \dot{E}_{pos} \cdot t_i + \sum_{i=1}^n \Delta E_{mov-i} \quad (8)$$

Onde:

| | |
|--------------------|--|
| \dot{E}_{pos-i} | É a taxa de energia metabólica associada à manutenção da <i>i-ésima</i> postura (kcal/min), sendo $\dot{E}_{pos} = 0,023 \cdot BW$ para a postura sentada, $\dot{E}_{pos} = 0,024 \cdot BW$ para a postura de pé, $\dot{E}_{pos} = 0,024 \cdot BW$ para a posição curvada e de pé; |
| t_i | O tempo de duração da <i>i-ésima</i> postura (min); |
| n_i | O número total de posturas corporais empregues no trabalho; |
| ΔE_{mov-i} | Gasto energético metabólico líquido do <i>i-ésimo</i> movimento em estado estacionário (kcal); |
| n | Número total de movimentos efetuados durante o trabalho; |
| T | Tempo de duração do trabalho (min); |
| BW | Massa corporal (kg); |
| G | Grau da superfície utilizada para deslocações a pé (%); |
| h_1 | Altura vertical do chão (m): ponto inicial para elevação, ponto final para o abaixamento; |
| h_2 | Altura vertical do chão (m): ponto final para levantamento, ponto inicial para o abaixamento; |
| L | Peso da carga (kg); |
| S | Género: 1 para masculino, 0 para feminino; |
| t_{mov-i} | Tempo (min) para o <i>i-ésimo</i> movimento específico; |
| X | Movimento horizontal dos braços (m); |
| \bar{E}_{job} | Gasto de energia para cada tarefa. |

Koelewijn, Heinrich & van den Bogert (2019), basearam-se em sete modelos de energia metabólica, os quais usam estados musculares (comprimento do elemento contrátil, ativação, estimulação) para determinar a taxa de energia dos músculos individuais e o cálculo da taxa de energia para cada articulação, usando a velocidade angular e o momento articular. Assim, o custo metabólico para uma caminhada, C_{calc} , é determinado em J/ kg/m da seguinte forma:

$$C_{calc} = \frac{1}{Tmv} \int_{t=0}^T \sum_{i=1}^{N_{mus}} \dot{E}_i dt \quad (9)$$

Onde T corresponde à duração do movimento, m a massa do participante, v a velocidade, N_{mus} o número de músculos e \dot{E}_i a taxa de energia do músculo i em W .

Para o cálculo da taxa de energia em função da taxa de trabalho, Koelewijn, Heinrich & van den Bogert (2019) basearam-se num dos modelos de acordo com a seguinte equação:

$$\dot{E} = \dot{w} + \dot{h}_a + \dot{h}_m + \dot{h}_{sl} \quad (10)$$

Onde \dot{w} respeita à taxa de trabalho, \dot{h}_a taxa de calor associada à manutenção da contração e \dot{h}_m a taxa de calor associada manutenção da contração devido à ativação e alongamento muscular, \dot{h}_{sl} .

Por outro lado, Psota & Chen (2013) sugeriram a equação de Weir para a determinação da energia gasta, tendo como base a colorimetria indireta.

$$EE(\text{kcal}) = 3,941 \times \text{VO}_2 (\text{L}) + 1,106 \times \text{VCO}_2(\text{L}) \quad (11)$$

Onde VO_2 corresponde ao volume de oxigénio consumido e VCO_2 o volume de dióxido de carbono exalado, sendo que os fatores *3,941* e *1,106* dizem respeito à relação/contribuição dos metabolismos dos hidratos de carbono, das proteínas e dos lípidos (Weir, 1949).

Outra forma de quantificar o custo das atividades em termos de gasto de energia metabólica é através dos equivalentes metabólicos por tarefa ou *Metabolic Equivalent for Task* (MET). Trata-se de um procedimento que permite quantificar o custo energético das atividades de uma forma simples, prática e de fácil compreensão (Jetté, Sidney & Blümchen, 1990; Ainsworth et al., 2000).

Deste modo, um MET é definido como a taxa metabólica de repouso, ou seja, corresponde à quantidade de oxigénio consumido durante o repouso, por exemplo, quando sentado calmamente numa cadeira, a quantidade de oxigénio consumido é de aproximadamente 3,5 ml de $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$ (1,25 kcal/min para uma pessoa de 70 kg). Assim, o procedimento consiste em expressar o custo energético das atividades físicas como múltiplos da taxa metabólica de repouso. Como tal, trabalhar a 2 METS requer duas vezes o metabolismo de repouso ou 7,0 ml $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$, enquanto que três METS implica três vezes o metabolismo de repouso (10,5 ml $\text{O}_2/\text{kg}/\text{min}$), e assim sucessivamente (Jetté, Sidney & Blümchen, 1990).

Por outro lado, de acordo com Ainsworth et al. (2000), um MET pode ser definido como a razão da taxa metabólica de trabalho pela taxa metabólica de repouso padrão de 1,0 $\text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (4.184 kJ). Um MET é considerado uma taxa metabólica de repouso obtida durante uma posição sentada e calma, sendo que as atividades podem ser quantificadas como

múltiplos do nível de MET em repouso, variando de 0,9 (durante o sono) a 18 METs (ao correr a uma velocidade de 17,5km/h) (Ainsworth et al., 2000).

8.2.4. Aplicação do Método de Determinação do Gasto de Energia Metabólica

No presente trabalho optou-se por proceder à apreciação dos riscos ergonómicos no sector em estudo através da estimativa das energias despendidas nas diversas tarefas que fazem parte dos processos produtivos, tendo como base diversas atividades já caracterizadas e estudadas, sob o ponto de vista de dispêndio de energia (Tabela 42).

Tabela 42 - Classificação de cinco níveis de atividade física em termos de intensidade (Jetté, Sidney & Blümchen, 1990; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020).

| Nível | Dispêndio de energia metabólica | | | |
|-----------------------|---------------------------------|------------|---------|----------|
| | kcal/min | ml/kg/min | W | MET |
| Sexo masculino | | | | |
| Leve | 2,0-4,9 | 6,1- 15,2 | 28-69 | 1,6-3,9 |
| Moderado | 5,0-7,4 | 15,3-22,9 | 70-104 | 4,0-5,9 |
| Pesado | 7,5-9,9 | 23,0-30,6 | 105-139 | 6,0-7,9 |
| Muito pesado | 10,0- 12,4 | 30,7-38,3 | 140-174 | 8 ,0-9,9 |
| Extremamente pesado | ≥ 12,5 | ≥ 38,4 | ≥ 175 | ≥ 10,0 |
| Sexo feminino | | | | |
| Leve | 1,5-3,4 | 5,4-12,5 | 21-48 | 1,2-2,7 |
| Moderado | 3,5-5,4 | 12,6- 19,8 | 49-76 | 2,8-4,3 |
| Pesado | 5,5-7,4 | 19,9-27,1 | 77- 104 | 4,4-5,9 |
| Muito pesado | 7,5-9,4 | 21,2-34,4 | 105-132 | 6,0-7,5 |
| Extremamente pesado | ≥ 9,5 | ≥ 34,5 | ≥ 133 | ≥ 7,6 |

De modo, a possibilitar a obtenção de uma estimativa relativamente à energia metabólica gasta e consequentemente o nível de intensidade da tarefa, no Apêndice II encontram-se descritas e detalhadas as atividades que fazem parte das várias etapas dos processos produtivos do setor vinícola, com a referenciação das principais tarefas envolvidas e as respetivas estimativas em termos de dispêndio de energia metabólica associada.

Com base no levantamento detalhado das tarefas envolvidas em cada uma das atividades do processo de produção e na determinação das respetivas energias metabólicas despendidas, foi elaborado um resumo com os valores totais médios de energia gasta nas diversas atividades do processo produtivo Tabela 43.

Tabela 43 - Resumo das energias metabólicas despendidas nas atividades durante o processo de produção.

| Atividades | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---|---|----------|----------|
| | MET | kcal/min | |
| 1 Receção e descarga das uvas | 5,9 | 7,3 | Moderado |
| 2 Seleção/triagem das uvas | 5,0 | 6,3 | Moderado |
| 3 Desengace/Esmagamento | 5,3 | 6,6 | Moderado |
| 4 Sulfitagem | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| 5 Clarificação de mostos | 6,9 | 8,6 | Pesado |
| 6 Preparação do mosto | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| 7 Controlo da Fermentação Alcoólica | 5,0 | 6,3 | Moderado |
| 8 Verificação/acompanhamento da Maceração | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| 9 Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| 10 Sangria/Desencuba | 5,7 | 7,1 | Moderado |
| 11 Esgotamento/Prensagem | 5,9 | 7,3 | Moderado |
| 12 Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| 13 Fortificação (adição de aguardente vínica) | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| 14 Ajustes enológicos | 5,6 | 7,0 | Moderado |
| 15 Elaboração de lotes base | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| 16 Estabilização/Clarificação | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| 17 Filtragem | 6,0 | 7,5 | Pesado |
| 18 Sulfitagem | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| 19 Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | 7,6 | Pesado |
| 20 Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | 7,9 | Moderado |
| 21 Estufagem (Produção de vinho Madeira) | 5,2 | 6,6 | Moderado |
| 22 Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | 7,9 | Pesado |
| 23 Estabilização/Clarificação | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| 24 Filtragem | 6,0 | 7,5 | Pesado |
| 25 Correções finais | 5,6 | 7,0 | Moderado |
| 26 Receção de materiais de embalagem | 3,7 | 4,7 | Leve |
| 27 Despaletização | 3,4 | 4,2 | Leve |
| 28 Enxaguamento de garrafas | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 29 Enchimento | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 30 Rolhamento ou vedação | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 31 Capsulagem | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 32 Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 33 Encaixotamento | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 34 Fecho e marcação das caixas | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| 35 Paletização | 4,2 | 5,2 | Moderado |
| 36 Armazenagem | 4,7 | 5,8 | Moderado |
| 37 Expedição | 4,5 | 5,6 | Moderado |

É de salientar que os valores obtidos relativamente às estimativas do dispêndio de energia metabólica, constantes na Tabela 43, foram determinados por equiparação com tarefas já estudadas por Ainsworth et al. (1993); Ainsworth et al. (2000); Ainsworth et al. (2011), cujo dispêndio de energias metabólicas durante a execução das várias tarefas foram mensuradas, descritas e confirmadas ao logo dos diversos trabalhos de investigação, decorridos no período entre o ano de 1993 e 2011, de acordo com o Apêndice III.

Através da análise das energias metabólicas despendidas nas atividades do processo de produção (Tabela 43) foi possível determinar o gasto de energias metabólicas por zona produtiva (Tabela 44).

Tabela 44 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva.

| Áreas/Zonas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---|---|----------|----------|
| | MET | kcal/min | |
| 1 Receção de Matérias-Primas | 5,5 | 6,8 | Moderado |
| 2 Vinificação | 5,5 | 6,8 | Moderado |
| 3 Fermentação | 5,3 | 6,7 | Moderado |
| 4 Clarificação/Estabilização | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| 5 Filtragem | 6,0 | 7,5 | Pesado |
| 6 Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 6,3 | 7,2 | Moderado |
| 7 Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 6,1 | 7,6 | Pesado |
| 8 Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 5,2 | 6,6 | Moderado |
| 9 Elaboração de Lotes | 5,9 | 7,4 | Moderado |
| 10 Engarrafamento | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| 11 Armazém de Materiais de Embalagem | 3,7 | 4,7 | Leve |
| 12 Armazém de Produto Semiacabado | 4,7 | 5,8 | Moderado |
| 13 Armazém de Produto Acabado | 4,7 | 5,8 | Moderado |
| 14 Embalagem | 4,2 | 5,2 | Moderado |
| 15 Expedição | 4,5 | 5,6 | Moderado |

8.3. Nota Conclusiva sobre a Avaliação e Quantificação dos Riscos Identificados no Sector Vinícola

De acordo com a avaliação de riscos gerais identificados no setor vinícola, mediante a aplicação do método William T. Fine, foi possível verificar que a sazonalidade de algumas das atividades acarretam uma variação significativa em termos de riscos ocupacionais no processo de produção.

Deste modo, na época baixa é possível observar um índice de risco aceitável nas zonas destinadas à receção, vinificação e fermentação, como seria expectável, dada a baixa utilização destas instalações, sendo que nas restantes áreas existe um índice de risco predominantemente elevado, havendo três áreas que apresentam um índice de risco muito elevado, correspondendo às zonas onde a atividade produtiva é mais intensa ao longo do ano.

Por outro lado, na época alta, a qual inclui o período de vindima, verifica-se que as zonas destinadas à receção, vinificação e fermentação apresentam um índice de risco muito elevado, notando-se um acréscimo nas áreas de clarificação/estabilização, de armazenamento de vinhos em cubas inox e em barricas de madeira, bem como na zona de elaboração de lotes, facto que seria de esperar, por um lado devido à forte atividade inerente ao período de vindima, sendo necessário rececionar e transformar grandes quantidades de matéria-prima num período curto (aproximadamente dois meses), e por outro lado devido à necessidade premente de preparar e armazenar elevadas quantidades de vinho à medida que é obtido, sendo de esperar conseqüentemente um aumento significativo dos riscos associados a estas atividades.

No que concerne à avaliação ergonómica, com base na estimativa da energia metabólica despendida durante a execução das tarefas, verifica-se que as atividades que representam maiores riscos ergonómicos são: a receção e descarga das uvas; a clarificação de mostos, devido à contribuição da filtragem que proporciona um maior nível de risco ergonómico; as filtragens; o armazenamento/estágio de vinhos em barricas de madeira, uma vez que inclui uma intensa manipulação de cargas, bem como subidas e descidas de escadas; o armazenamento/estágio de vinhos em cubas inox, tendo como principais contribuições a higienização das cubas e as operações de trasfega; e a elaboração de lotes, pelas mesmas razões.

Capítulo 9:

Design e Aplicação dos Modelos de Otimização

Neste capítulo pretende-se desenvolver três métodos para a otimização de três fatores preponderantes na produtividade e segurança dos colaboradores afetos à atividade económica de produção de vinhos comuns e licorosos, designadamente no que se refere à minimização de riscos ergonómicos. Deste modo, os métodos de otimização visam abranger a otimização, em termos ergonómicos, de *layouts* de produção, de planeamento de trabalhos/tarefas, incluindo a possibilidade de rotatividade dos colaboradores em relação às tarefas, e a capacidade de escolha de ferramentas da Indústria 4.0 mais apropriadas à minimização de acidentes.

9.1. Cenários Estabelecidos

Os cenários considerados no presente estudo derivam da transversalidade das metodologias de fabrico dos vinhos de mesa e dos vinhos licorosos provenientes de castas de uvas brancas e tintas, bem como da atividade do setor em análise, incluindo a sazonalidade de alguns processos produtivos, designadamente os processos de receção de uvas, vinificação, fermentação, fortificação (caso dos vinhos licorosos) e clarificação/estabilização inicial. Deste modo, através da Tabela 45 são indicados os cenários considerados na apreciação e quantificação dos riscos gerais e ergonómicos, os quais foram considerados para a aplicação dos modelos de otimização.

Tabela 45 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização.

| Cenários | Épocas | Perfil de produção vinícola | Tipos de avaliação | Objetivo e modelo de otimização |
|----------|---------------------------------|---|--------------------|---|
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos gerais | Otimização do <i>layout</i> produtivo Algoritmo genético |
| 2 | Baixa (restante período do ano) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) | | |
| 4 | Baixa (período após vindima) | | | |

| Cenários | Épocas | Perfil de produção vinícola | Tipos de avaliação | Objetivo e modelo de otimização |
|----------|---------------------------------|---|--------------------|--|
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos ergonómicos | Otimização do <i>layout</i> produtivo Algoritmo genético |
| 2 | Baixa (restante período do ano) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) | | |
| 4 | Baixa (período após vindima) | | | |
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos ergonómicos | Otimização do desempenho das atividades ou tarefas Algoritmo de otimização de colónia de formigas |
| 2 | Baixa (período após vindima) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) | | |
| 4 | Baixa (período após vindima) | | | |

9.2. Otimização Ergonómica de *Layouts* Produtivos: Algoritmo Genético

O design de um *layout* de uma adega vinícola engloba diversos aspetos técnicos, assim como vários requisitos legais. O modelo desenvolvido foca-se essencialmente nos requisitos técnicos, assentes na redução de riscos ocupacionais, nomeadamente dos riscos ergonómicos, com integração da eficiência em termos de produtividade e economia de recursos, sejam recursos humanos, financeiros e materiais.

De acordo com a nota conclusiva efetuada após a revisão bibliográfica efetuada no Capítulo 4, o método selecionado e utilizado para a otimização de *layouts* de linhas de produção foi baseado na aplicação de um algoritmo genético, por se tratar de um método versátil e abrangente, que proporciona um processo com efeito aleatório.

9.2.1. Os algoritmos Genéticos

A base teórica dos algoritmos genéticos (GA) foi proposta por John Holland, tendo sido descrita no seu livro *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, publicado em 1975 (Holland, 1992). Em simultâneo com a teoria GA, John Holland desenvolveu o conceito

de *Classifier Systems* (Sistemas Classificadores), uma técnica de *Machine Learning* (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

Os Sistemas Classificadores são basicamente sistemas de indução com um componente genético. Holland tinha um duplo objetivo: primeiro, explicar o processo adaptativo dos sistemas naturais e, segundo, projetar sistemas de computação capazes de incorporar os mecanismos importantes dos sistemas naturais (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

Os GAs são particularmente adequados para a resolução de problemas de otimização complexos e, conseqüentemente, eficazes para aplicações que requerem estratégias adaptativas de resolução de problemas (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

O algoritmo genético é um modelo que reproduz algumas teorias biológicas evolucionárias na resolução de problemas de otimização. Um GA inclui um conjunto de elementos individuais (a população) e um conjunto de operadores, biologicamente inspirados, definidos sobre a própria população (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

De acordo com as teorias evolucionárias, apenas os elementos mais aptos numa população têm probabilidade de sobreviver e gerar descendentes, transmitindo assim sua hereditariedade biológica para as novas gerações (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

Em termos computacionais, um algoritmo genético mapeia um problema num conjunto de *strings* binárias (embora também possam ser usadas outros tipos de *strings* como números reais), onde cada *string* representa uma potencial solução. O GA então manipula as *strings* mais promissoras em busca de soluções melhoradas. Um GA opera normalmente através de um ciclo simples composto por quatro etapas (Filho, Alippi & Treleaven, 1994):

- Criação de uma "população" de *strings*;
- Avaliação de cada *string*;
- Seleção das "melhores" *strings*;
- Manipulação genética, para geração da nova população de *strings*.

A Figura 61 mostra as quatro etapas do GA com uma terminologia inspirada na biologia. Em cada ciclo, é produzida uma nova geração de soluções possíveis para um determinado problema (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

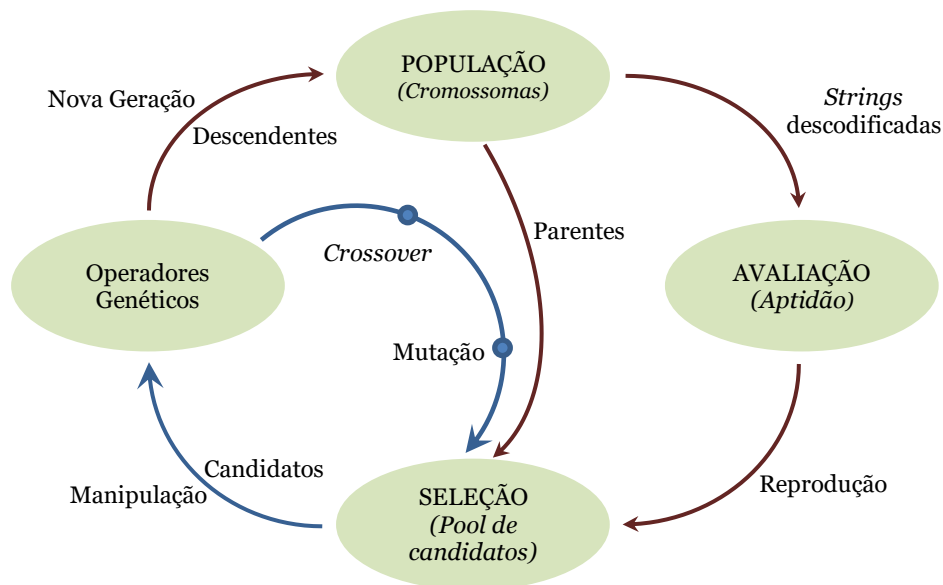


Figura 61 - O ciclo do Algoritmo Genético (Filho, Alippi & Treleaven, 1994; Kramer, 2017).

Cada elemento da população é codificado numa *string* (o cromossoma), para ser manipulado pelos operadores genéticos (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

Na etapa seguinte, é realizada a avaliação do desempenho (ou aptidão) de cada indivíduo da população em relação às restrições impostas pelo problema. O processo combinado avaliação/seleção é denominado por reprodução (Filho, Alippi & Treleaven, 1994). Em termos computacionais, o fenótipo de uma solução é avaliado através de uma função de aptidão. A função de aptidão mede a qualidade das soluções geradas pelo Algoritmo Genético. O design da função de adequação é parte do processo de modelação de toda a abordagem de otimização (Kramer, 2017).

O processo de manipulação utiliza operadores genéticos para produzir uma nova população de indivíduos (descendentes) através da manipulação da informação genética, os genes, os membros (pais) da população atual possuem (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

Assim, o mecanismo de seleção escolhe candidatos para o processo de manipulação genética, de acordo com a aptidão de cada indivíduo, sendo a política de seleção, em última instância, responsável por garantir a sobrevivência dos indivíduos com melhores aptidões (Filho, Alippi & Treleaven, 1994). Em termos de programação, de modo a permitir a convergência para soluções ótimas, as melhores soluções de descendência devem ser selecionadas para serem os pais na nova população parental. Um excedente

de soluções de descendência é gerado e os melhores são selecionados para alcançar um progresso em direção ao ótimo. Este processo de seleção é baseado nos valores de aptidão da população. No caso de problemas de minimização, valores baixos de aptidão são preferidos e vice-versa no caso de problemas de maximização (Kramer, 2017).

Os operadores de seleção elitistas selecionam como pais das próximas gerações as melhores soluções de entre as soluções da descendência. A seleção *comma* seleciona as melhores soluções μ das soluções descendentes λ . Por outro lado, a seleção *Plus* seleciona as melhores soluções μ de soluções de descendência λ e os antigos pais μ que conduziram à sua criação (Kramer, 2017).

Muitos algoritmos de seleção são baseados na aleatoriedade. A roda de roleta (*Roulette wheel*), também conhecida como seleção proporcional de aptidão, seleciona soluções parentais aleatoriamente com distribuição uniforme. A probabilidade de ser selecionado depende da adequação de uma solução (Kramer, 2017).

Por este motivo, a aptidão relativa das soluções normalizada com a soma de todos os valores de aptidão em uma população, geralmente por divisão. Esta fração de aptidão pode ser entendida como probabilidade de uma solução ser selecionada. A vantagem dos operadores de seleção proporcional de aptidão é que cada solução tem uma probabilidade positiva de ser selecionada (Kramer, 2017).

Outro operador de seleção muito conhecido é a seleção por torneio (*tournament selection*), onde um conjunto de soluções é selecionado aleatoriamente e dentro deste subconjunto de competição, as melhores soluções são finalmente selecionadas como novos pais. A segunda etapa pode ser implementada com a seleção proporcional de adequação como exemplo típico. A seleção de torneio oferece uma probabilidade positiva de sobrevivência de cada solução, mesmo que tenha valores de aptidão piores do que outras soluções (Kramer, 2017).

A utilização da seleção como mecanismo de escolha dos pais da nova geração é chamada de seleção de sobrevivência. O operador de seleção determina quais as soluções que sobrevivem e quais as que morrem. Esta perspectiva mimetiza o princípio de sobrevivência do mais apto, de acordo com Charles de Darwin. Os operadores de seleção introduzidos também podem ser empregues para a seleção de acasalamento, a qual faz parte dos operadores de cruzamento. A seleção do acasalamento é uma estratégia para decidir quais os pais que participarão no processo de cruzamento. Para além da seleção

de sobrevivência, faz sentido considerar outros critérios para a seleção de acasalamento (Kramer, 2017).

O processo de manipulação é constituído por duas operações: o *crossover* e a mutação. O *crossover* é responsável pela recombinação do material genético de uma população, sendo que o processo de seleção associado à recombinação, garante que as estruturas genéticas especiais, chamadas de blocos de construção, sejam retidas para as gerações futuras. Os blocos de construção então representam as estruturas genéticas mais adequadas numa população (Filho, Alippi & Treleaven, 1994; Melanie, 1999; Kramer, 2017).

No entanto, o processo de recombinação (*crossover*) só não pode evitar a perda dos blocos de construção promissores na presença de outras estruturas genéticas, o que poderia conduzir à ocorrência de mínimos locais. Além disso, o processo não é capaz de explorar as seções do espaço de busca não representadas nas estruturas genéticas da população. Assim, como forma de colmatar este aspeto, surge a ação do operador de mutação. A mutação introduz novas estruturas genéticas na população, modificando aleatoriamente alguns dos seus blocos de construção e ajuda o algoritmo de busca a escapar das situações dos mínimos locais. Uma vez que a modificação introduzida pelo operador de mutação não está relacionada a nenhuma estrutura genética anterior da população, ela permite a criação de diferentes estruturas representando outras seções do espaço de busca (Filho, Alippi & Treleaven, 1994; Melanie, 1999; Kramer, 2017).

Em termos operacionais, o operador de *crossover* reúne dois cromossomas e troca parte das suas informações genéticas para produzir novos cromossomas. Após o ponto de cruzamento ter sido escolhido aleatoriamente, as partes das sequências pai P1 e P2 são trocadas para produzir as novas sequências descendentes O1 e O2, como é possível observar através da Figura 62, a qual também mostra a aplicação do operador de cruzamento ao quinto e ao sexto elementos do fragmento (*string*) (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

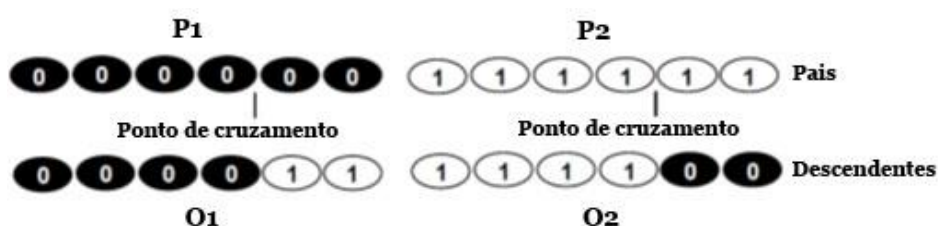


Figura 62 - Processo de *Crossover* (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

A mutação ocorre através da alteração ocasional de um *bit* aleatório num fragmento. A Figura 63 mostra a aplicação do operador de mutação ao quarto elemento do fragmento (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

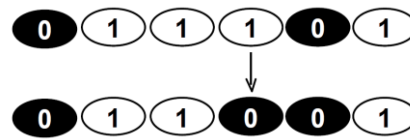


Figura 63 - Processo de Mutação (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

A mutação é baseada em mudanças aleatórias. Os operadores de mutação alteram uma solução perturbando-a, sendo que a intensidade desse distúrbio é chamada de taxa de mutação. Em espaços de solução contínua, a taxa de mutação também é conhecida como tamanho do passo (*step size*) (Kramer, 2017).

Existem três principais requisitos relativamente aos operadores de mutação (Kramer, 2017):

- A acessibilidade: cada ponto no espaço da solução deve ser alcançável a partir de um ponto arbitrário no espaço da solução. Um exemplo que pode complicar o cumprimento dessa condição é a existência de restrições que reduzem todo o espaço da solução a um subconjunto viável. Deve haver uma probabilidade mínima de alcançar todas as partes do espaço da solução.
- A imparcialidade: o operador de mutação não deve induzir um desvio da busca para uma direção particular, pelo menos em espaços de solução irrestrita sem *plateaus*.
- A escalabilidade: cada operador de mutação deve oferecer o grau de liberdade que é adaptável em termos de força. Isto é geralmente possível para operadores de mutação baseados numa distribuição de probabilidade, como por exemplo a distribuição Gaussiana.

Desde que o modelo básico foi proposto por Holland, foi introduzido um número significativo de diferentes operadores genéticos. Estes operadores são, em geral, versões dos processos de recombinação e alteração genética adaptadas às necessidades de problemas particulares, como por exemplo a inversão, a dominância, a *genetic edge recombination*, etc. (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

A descendência (*offspring*) produzida pelo processo de manipulação genética dá origem à próxima população a ser avaliada. Assim, os algoritmos genéticos podem substituir uma população inteira (abordagem geracional) ou apenas os seus membros menos

adaptados (abordagem de estado estacionário). O ciclo de criação-avaliação-seleção-manipulação é repetido até que seja encontrada uma solução satisfatória para o problema (Filho, Alippi & Treleaven, 1994).

A Figura 64 mostra o fluxograma para a execução de um algoritmo genético típico. Em primeiro lugar, deverá ser definido o tipo de variáveis e a sua codificação para o problema em questão. Em seguida, deve ser estipulada a função de aptidão (*fitness*), sendo que muitas vezes corresponde simplesmente à função objetivo a ser otimizada. De uma forma geral, a função de *fitness* pode ser qualquer função que atribua um valor de mérito relativo a um indivíduo. Os operadores genéticos, como o *crossover* e a mutação, são aplicados estocasticamente em cada etapa do processo de evolução, portanto, as suas probabilidades de ocorrência devem ser definidas. Finalmente, os critérios de convergência devem ser fornecidos (Scrucca, 2013).

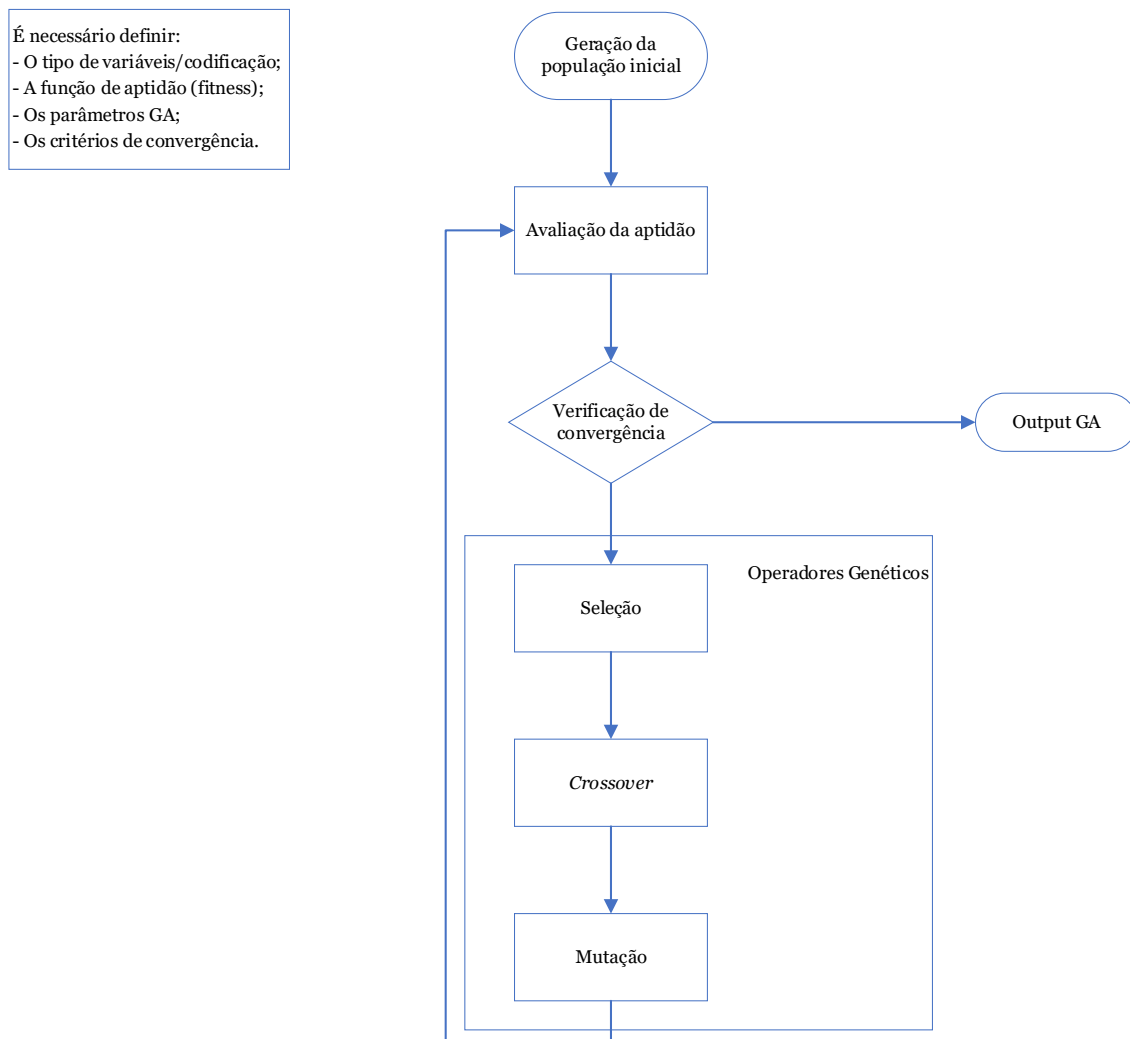


Figura 64 - Fluxograma de um algoritmo genético (Scrucca, 2013).

9.2.2. Metodologia Aplicada

O modelo aplicado foi baseado num algoritmo genético, o qual incorpora mutações ao longo das diversas iterações e mediante a ação de um operador de seleção por torneio (*tournament selection*). Assim, o modelo, visa possibilitar a otimização do *layout* de uma área produtiva, através da reorganização espacial, considerando as distâncias entre as várias áreas no *layout* representadas por espaço euclidiano (espaço matemático abstrato), tendo como base na minimização dos custos (Rich, 2021), de acordo com duas abordagens distintas:

- Consideração dos custos em termos de riscos gerais;
- Consideração dos custos em termos de riscos ergonómicos (de acordo com a energia metabólica despendida durante a execução das atividades).

As duas abordagens foram aplicadas com o intuito de verificar o efeito dos riscos gerais na reorganização das áreas produtivas comparativamente à influência dos riscos ergonómicos, bem como os respetivos impactes na eficiência das áreas definidas em termos funcionais.

Relativamente ao número de zonas de laboração, este parâmetro foi incorporado de acordo com a área global, a qual foi determinada com base nos parâmetros de largura e comprimento do edifício inseridos inicialmente (12).

$$\text{Número de zonas} = \text{comprimento} \times \text{largura} \quad (12)$$

Deste modo, na Figura 65 apresenta-se como são introduzidos inicialmente, em MatLab, os parâmetros de comprimento (*len*) e de largura do edifício (*wid*), para a determinação do número de zonas:

```
% Procedimento caso os argumentos para a chamada de função sejam nulos
if nargin < 2
    popSize=50*2; numIter=2500; c=0;
    len=3; wid=5;          % layout rectangular
    dep=round(len*wid);   % número de zonas
```

Figura 65 - Extrato inicial do código do algoritmo genético referente à introdução dos parâmetros para a determinação do número de zonas de laboração (Rich, 2021).

O algoritmo genético implementado é iniciado através de um conjunto inicial de soluções aleatórias, que constituem a população. O tamanho da população P corresponde ao

número de soluções geradas, ou também conhecido como cromossomas. Cada solução é avaliada de acordo com uma função de aptidão predefinida (Pinto et al., 2016).

Os cromossomas evoluem através de iterações sucessivas, conhecidas como gerações, sendo que cada geração é representada por uma nova população, na maioria das vezes diferente da anterior.

As novas populações não são geradas aleatoriamente, pois os cromossomas que fazem parte da população atual são selecionados, misturados e modificados através de operadores genéticos, como seleção, cruzamento e mutação, para gerar novas sequências de cromossomas.

A nova população é conhecida como descendência, sendo que apenas os cromossomas mais aptos são escolhidos para incorporar a descendência, inibindo os cromossomas que são menos adequados. Deste modo, existe a garantia de que as gerações futuras serão sempre melhores que as anteriores. As novas populações serão geradas iterativamente até que o critério específico de paragem seja atingido, sendo para este caso, o número máximo de iterações atingido.

É necessário estabelecer um esquema de codificação para representar os parâmetros do problema na cadeia de cromossomas. Para uma representação discreta do problema, toda a fábrica é dividida em N zonas e cada zona corresponde a um local. Estas localizações são caracterizadas por dois parâmetros, nomeadamente a localização espacial e posição sequencial atribuída.

A Função *fitness*

A Função *fitness* corresponde à função objetivo do problema, que neste tipo de problema corresponde ao custo total de uma determinada solução, representado pelo Custo (C) na Equação (13). Cada solução corresponde à localização de M instalações em N ($\geq M$) posições.

$$C = CA + CG(p_1, p_2) \times L(j, k) \quad (13)$$

Onde CA corresponde ao custo acumulado, CG a carga e L a localização espacial.

A função *fitness*, visa encontrar o custo mínimo de acordo com a função objetivo.

Os operadores genéticos

Existem três operadores genéticos básicos usados para gerar uma nova população em cada geração: a seleção, o cruzamento e a mutação.

A seleção corresponde ao processo de amostragem de soluções da população atual. É representado por um processo de seleção enviesado, utilizado para determinar quais soluções devem ser incluídas na nova população. O método utilizado nesta implementação foi a seleção por torneio.

O critério de seleção de soluções, para integrar a próxima geração, é baseado no valor de *fitness* de cada solução, o qual é convertido numa probabilidade de ser selecionada. As soluções mais adequadas têm uma probabilidade maior de serem escolhidas comparativamente com as soluções menos adequadas.

O operador de *crossover* é usado para reproduzir os cromossomas da descendência, através do cruzamento entre quatro cromossomas pais, conforme esquematizado de seguida (Pinto et al., 2016; Umbarkar & Sheth, 2015).

$$\text{Pais} \left\{ \begin{array}{l} \text{Progenitor 1} = \{1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12\} \\ \text{Progenitor 2} = \{3 \ 2 \ 8 \ 1 \ 4 \ 9 \ 6 \ 5 \ 7 \ 12 \ 10 \ 11\} \end{array} \right.$$

Após três pontos de corte aleatórios:

$$\text{Progenitor 1: } \{ 1 \ 2 \mid 3 \ 4 \ 5 \ 6 \mid 7 \ 8 \ 9 \mid 10 \ 11 \ 12 \}$$

$$\text{Progenitor 2: } \{ 3 \ 2 \mid 8 \ 1 \ 4 \ 9 \mid 6 \ 5 \ 7 \mid 12 \ 10 \ 11 \}$$

É efetuada a cópia dos genes entre os dois pontos de corte do primeiro progenitor. Os restantes genes são copiados do 2º progenitor a partir do 2º ponto de corte, excluindo os genes já transferidos para o descendente e preservando a ordem (Pinto et al., 2016; Umbarkar & Sheth, 2015).

$$\text{Descendente 1: } \{ 1 \ 2 \mid 8 \ 1 \ 4 \ 9 \mid 7 \ 8 \ 9 \mid 12 \ 10 \ 11 \}$$

$$\text{Descendente 1: } \{ 3 \ 2 \mid 3 \ 4 \ 5 \ 6 \mid 6 \ 5 \ 7 \mid 10 \ 11 \ 12 \}$$

Em primeiro lugar, é selecionada uma posição aleatória (zona de corte), a qual é alinhada em ambos os pais, dividindo as informações dos pais a serem incluídas no descendente. Esta posição de corte deve garantir que existe pelo menos uma posição ocupada nas informações parciais de ambos os pais, caso contrário, a descendência pode perder zonas no processo e gerar soluções inválidas. A descendência é concebida incluindo informações parciais de ambos os pais, atribuindo as informações de localização espacial e de posição sequencial as novas posições (Pinto et al., 2016; Umbarkar & Sheth, 2015).

Nesta fase, a mesma zona pode ser atribuída a mais do que uma localização. No entanto, uma vez que não podem existir instalações duplicadas, é necessário que seja feita uma substituição previamente. Ou seja, nestes casos, deve-se determinar a posição da primeira ocorrência nas zonas duplicadas no descendente, que corresponde à informação parcial do segundo progenitor. Esta posição é usada para encontrar uma zona diferente no primeiro progenitor. Se esta nova zona já existe no descendente, o processo é repetido até que a zona escolhida não seja retirada do descendente. Caso contrário, a nova zona será incluída no descendente. No caso de existir uma zona duplicada que não pode ser evitada (nenhuma zona substituta foi encontrada), então o descendente é excluído e o parente é incluído na descendência (Pinto et al., 2016; Umbarkar & Sheth, 2015).

O operador de mutação é usado para introduzir aleatoriedade numa solução, evitando que as soluções fiquem presas num mínimo local. O objetivo deste operador de mutação é trocar apenas as informações de estado e equipamento entre duas posições escolhidas num cromossoma. Este procedimento ocorre a cada geração, com uma probabilidade p_m (Pinto et al., 2016; Umbarkar & Sheth, 2015).

Execução do algoritmo

O algoritmo utilizado segue as seguintes etapas gerais:

- (1) **Inicialização:** É efetuado o cálculo do número de zonas, de acordo com as dimensões do *layout*, tendo como base a relação comprimento \times largura = números de zonas ($3 \times 5 = 15$ zonas). É de destacar que a Matriz de risco indica o grau de perigosidade médio por zona, de acordo com a avaliação de riscos efetuada. A matriz de distância é baseada na distância euclidiana entre as zonas (14);

$$\sqrt{\sum_i^j ((xy) - (xy))^2} \quad (14)$$

- (2) **Geração** aleatória da população a submeter nas permutações para a otimização dos *layouts*;
- (3) **Seleção** do custo mínimo para todas as populações (tentativas) mantendo os melhores membros e sendo efetuada a respetiva a representação gráfica;
- (4) **Cruzamento (Crossover)** dos elementos da população para a realização de um novo torneio;
- (5) Subdivisão da população em grupos de 4 elementos;
- (6) **Seleção** do melhor dos 4 elementos e substituição do pior dos 4 elementos da população do subgrupo;
- (7) **Mutação** do melhor dos 4 elementos (o vencedor) em cada subgrupo;
- (8) **Incorporação** do melhor dos 4 elementos (o vencedor) e de todas as mutações entretanto efetuadas na população;
- (9) Se o resultado da iteração se mantiver, volta-se a executar a partir da 4^a etapa. Caso contrário, é feita a terminação;
- (10) **Terminação**: com base no resultado da iteração.

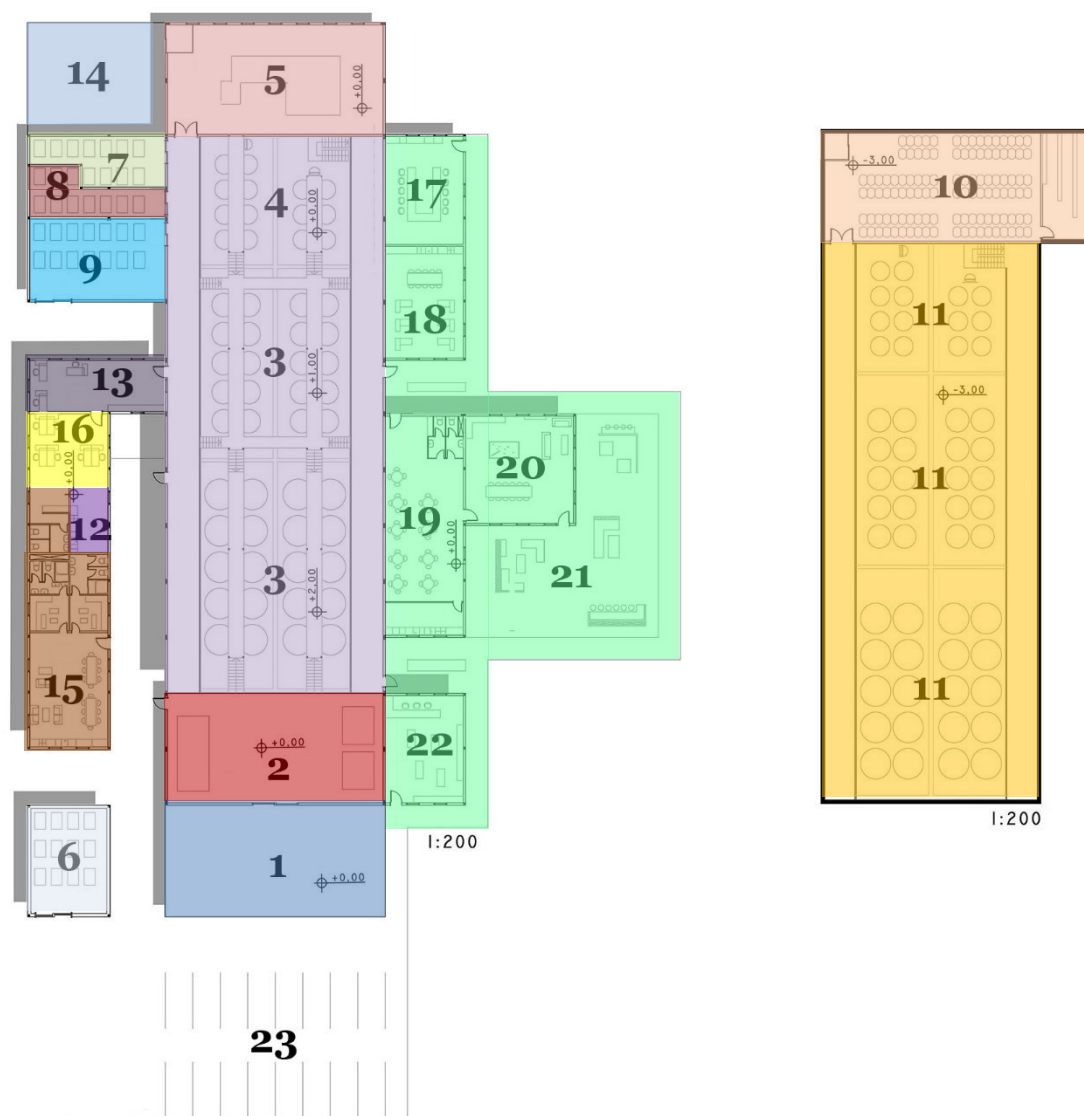
***Inputs* para cada cenário**

Para cada cenário estabelecido foram contemplados os seguintes dados de entrada:

- Tamanho da população (igual para todos os cenários);
- Número de iterações (igual para todos os cenários);
- Comprimento o edifício (igual para todos os cenários);
- Largura do edifício (igual para todos os cenários);
- Vetor de riscos: é específica para cada cenário, de acordo com o grau de perigosidade médio por zona, numa primeira abordagem e a energia metabólica gasta, para o caso da segunda abordagem.

9.2.3. Aplicação do Modelo de Otimização

Tendo como ponto de partida um projeto para uma adega vinícola (Figura 66), de acordo com o design de Öztürk (2016), o *layout* da adega encontra-se dividido em dois níveis ou pisos distintos, sendo o primeiro nível composto por todas as áreas inerentes à produção, bem como por outras zonas associadas à receção de clientes, incluindo uma área de restauração, loja de vendas e áreas para realização de exposições/*workshops*, enquanto que o segundo nível ou piso destina-se exclusivamente ao armazenamento/estágio de vinhos em cubas inox ou em barricas.



Legenda:

- | | |
|---|---|
| 1 Área de recepção de matérias-primas (uvas) | 13 Área técnica (Enologia) |
| 2 Área de vinificação | 14 Área de expedição |
| 3 Área de fermentação | 15 Refeitório/Área social para colaboradores/ Instalações sanitárias |
| 4 Área de elaboração de Lotes | 16 Escritórios |
| 5 Área de engarrafamento | 17 Auditório |
| 6 Área de clarificação/estabilização | 18 Área para workshops |
| 7 Armazém de produto acabado | 19 Restaurante |
| 8 Armazém de produto semiacabado | 20 Sala de provas |
| 9 Armazém de materiais de embalagem | 21 Terraço (exterior) |
| 10 Área de envelhecimento de vinhos em barricas | 22 Loja para venda ao público |
| 11 Área de estágio/Elaboração de lotes - cubas inox | 23 Parque de estacionamento |
| 12 Laboratório | |

Figura 66 - Exemplo de *layout* de uma adega vinícola (Öztürk, 2016).

9.2.3.1. Considerações gerais

Embora existam inúmeras vantagens na distribuição de zonas de laboração em termos de cota de implantação diferenciadas em vários níveis ou pisos, no presente estudo

considerou-se a localização de todas as áreas funcionais à mesma cota, cenário passível de existir na maioria das adegas vinícolas em laboração.

As áreas de laboratório e a área técnica (enologia) não foram consideradas na otimização do *layout*, uma vez que se tratam de divisões auxiliares de apoio que se encontram relacionadas com todas as áreas produtivas.

Foram consideradas adicionalmente as áreas de filtragem, de elaboração de lotes, as quais se encontram dissociadas da área de armazenamento/estágio de vinhos em cubas inox, e a área de estufagem, que é específica para a produção de vinho Madeira.

O modelo de otimização, cujo desenvolvimento em MatlaLab se encontra no Apêndice IV, foi aplicado a dois cenários globais: com processo de estufagem (produção de vinho Madeira) e sem o processo de estufagem.

9.2.3.2. Otimização do *Layout* Produtivo com Base na Avaliação de Riscos Ocupacionais Gerais

Tendo em consideração os resultados obtidos no Capítulo 7 relativamente à avaliação de riscos gerais, procedeu-se à otimização do *layout* de produção com base na avaliação de riscos efetuada para quatro cenários, de acordo com a Tabela 46, incluindo ambas as épocas, durante a vindima (época alta) e após a vindima (época baixa), tendo sido diferenciado os dois processos produtivos com e sem a área específica de estufagem (produção de vinho Madeira).

Tabela 46 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização tendo e consideração a avaliação dos riscos gerais.

| Cenários | Épocas | Perfil de produção vinícola | Tipos de avaliação | Objetivo e modelo de otimização |
|-----------------|---------------------------------|---|---------------------------|--|
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos gerais | Otimizar o <i>layout</i> produtivo Algoritmo genético |
| 2 | Baixa (restante período do ano) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) | | |
| 4 | Baixa (período após vindima) | | | |

O modelo de otimização aplicado foi baseado num algoritmo genético, cujo objetivo residiu na redução dos custos, os quais englobam o grau de perigosidade médio determinado para cada área de laboração, tendo em consideração a localização espacial, a qual é determinada em função das dimensões do edifício (comprimento e largura), com base na geometria euclidiana.

9.2.3.2.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta

Neste cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação de riscos gerais, conforme a Tabela 47, na qual se encontra sintetizada a avaliação e a quantificação dos riscos gerais do setor vinícola, tendo sido feita a transposição para o *layout* de referência (com produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima).

Tabela 47 - Síntese da avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (com produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima).

| Áreas | Avaliação | |
|---|----------------------------|-----------------|
| | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 Receção de Matérias-Primas (uvas) | 467,1 | Muito alto |
| 2 Vinificação | 574,6 | Muito alto |
| 3 Fermentação | 600,4 | Muito alto |
| 4 Clarificação/Estabilização | 436,3 | Muito alto |
| 5 Filtragem | 462,9 | Muito alto |
| 6 Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 580,0 | Muito alto |
| 7 Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 702,9 | Muito alto |
| 8 Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 277,5 | Alto |
| 9 Elaboração de Lotes | 582,3 | Muito alto |
| 10 Engarrafamento | 555,0 | Muito alto |
| 11 Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 12 Armazém de Produto Semiacabado | 241,7 | Alto |
| 13 Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 14 Embalagem | 394,0 | Alto |
| 15 Expedição | 481,2 | Muito alto |

Os *inputs* considerados para a aplicação do modelo foram os seguintes:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 15 zonas

- Vetor de riscos = [467,1 574,6 600,4 436,3 462,9 580,0 702,9 277,5 582,3 555,0 293,6 241,7 346,7 394,0 481,2]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.2.1.1. Resultados Obtidos para o Cenário 1

Após a aplicação do modelo foram selecionadas seis soluções para a otimização do *layout* da área de produção. Assim, através da Figura 67 é possível observar as soluções para a otimização do *layout* da área de produção para a época alta (durante a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice V, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 204.902 uc (unidades de custo).

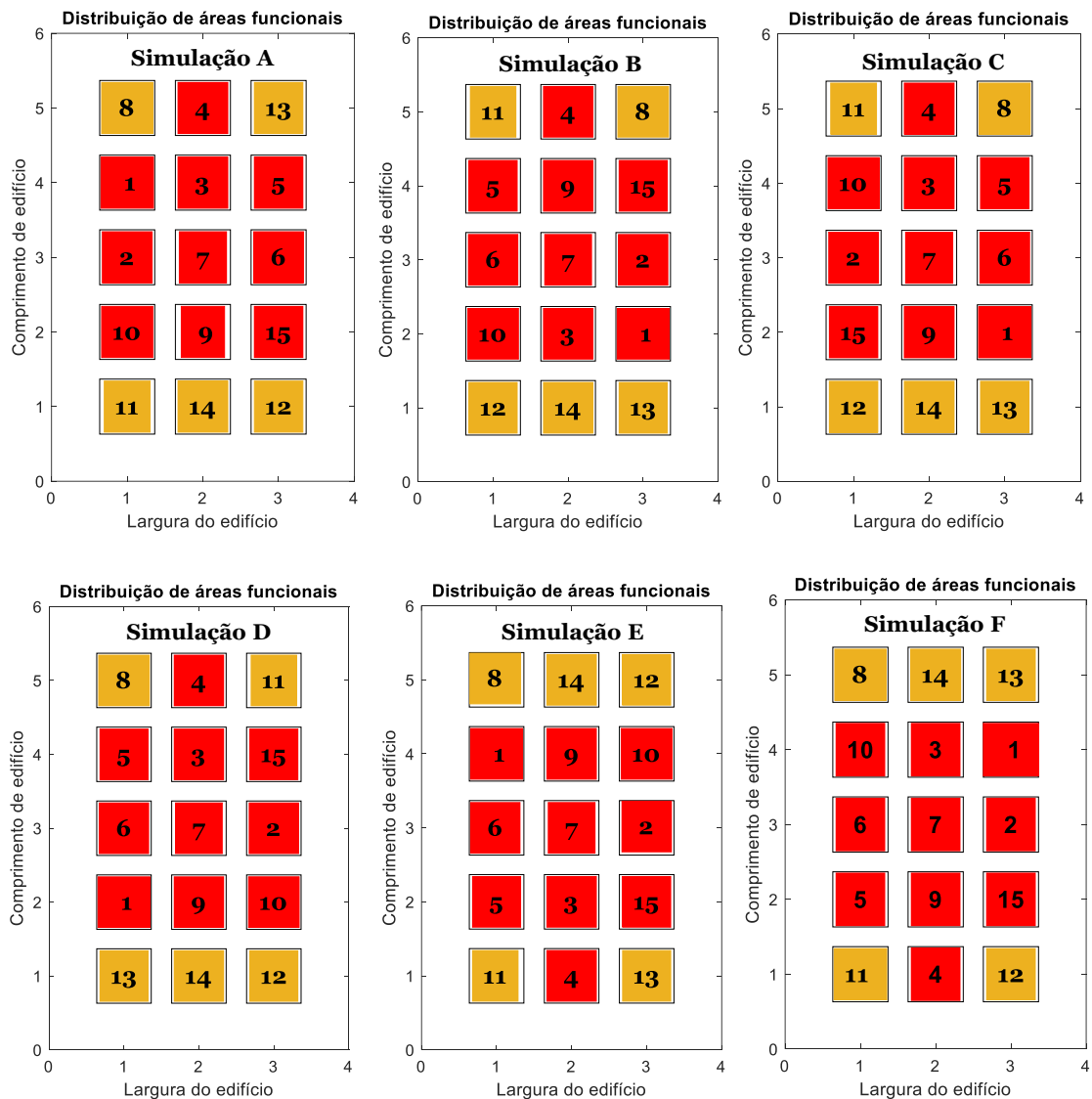


Figura 67 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima).

Após análise das soluções apresentadas relativamente à época alta, verifica-se que as zonas que possuem um grau de perigosidade mais elevado foram redistribuídas ao longo da área central, enquanto que as restantes zonas foram realocadas junto à área periférica, nomeadamente nas extremidades sul e norte e relação à orientação dos *layouts*.

No que concerne à solução mais eficiente, tanto em termos de prevenção de riscos, como em termos de fluidez operacional, é possível concluir que a simulação A apresenta uma disposição das zonas mais eficiente, destacando-se a proximidade e a localização contígua das zonas 1, 2, 3, 4 e 5, permitindo que a transformação da matéria-prima seja efetuada de forma eficiente, havendo um certo afastamento entre as zonas de transformação, as zonas de estágio (zonas 6, 7, e 8) e as zonas associadas ao engarrafamento e acabamento do produto, facto que é desejável dada a necessidade de separação destas etapas de produção tanto por razões de segurança alimentar como por razões de segurança ocupacional, favorecendo deste modo a redução do grau de perigosidade.

Destaca-se também o facto de que a zona de elaboração de lotes se encontra em posição adjacente às áreas de estágio, tanto em cubas em inox como em barricas de madeira, facilitando assim a transferência dos vinhos para a elaboração dos lotes para engarrafamento.

Relativamente à especificidade da zona de estufagem, verifica-se também que esta se encontra numa boa localização, uma vez que se encontra numa posição adjacente à área de fermentação e próxima às áreas de estabilização e filtração, facilitando assim a transferência dos vinhos para estufagem, bem como os respetivos tratamentos de estabilização e filtração após a estufagem.

No que concerne às áreas associadas ao engarrafamento, embalagem e expedição, verifica-se uma dispersão das zonas favorável à eficiência do processo, visto que após a elaboração dos lotes de vinho, estes são diretamente transferidos para a área de engarrafamento.

Além deste facto, o armazém de materiais de embalagem também se encontra numa posição que facilita o transporte dos materiais de forma direta.

Por outro lado, a eficiência das etapas subsequentes ao processo de engarrafamento também se encontra assegurada, verificando-se após o engarrafamento, o produto é

transportado diretamente para a área de embalagem/paletização, sendo também possível o seu transporte direto para a zona de expedição, aspeto este que se revela bastante útil quando há produção em grandes quantidades para expedição imediata.

Finalmente, existe duas zonas acessórias ao processo de engarrafamento, os armazéns de produto semiacabado e de produto acabado, os quais também se encontram em localizações favoráveis, tanto em termos de prevenção de riscos ocupacionais, como em termos operacionais, visto que o armazém de produto semiacabado se encontra próximo das áreas de engarrafamento e de embalagem, tornando eficiente o respetivo processo de acabamento e expedição. Em relação ao armazém de produto acabado, este encontra-se numa posição mais isolada, mas que não causa transtornos em termos operacionais, pois a expedição poderá ser realizada diretamente a partir desta zona.

9.2.3.2.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

Neste segundo cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação de riscos, conforme a Tabela 48, na qual se encontra resumida a avaliação e a quantificação dos riscos gerais para cada zona de laboração, incluindo a área específica de estufagem (produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após a vindima).

Tabela 48 - Síntese da avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (com produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após vindima).

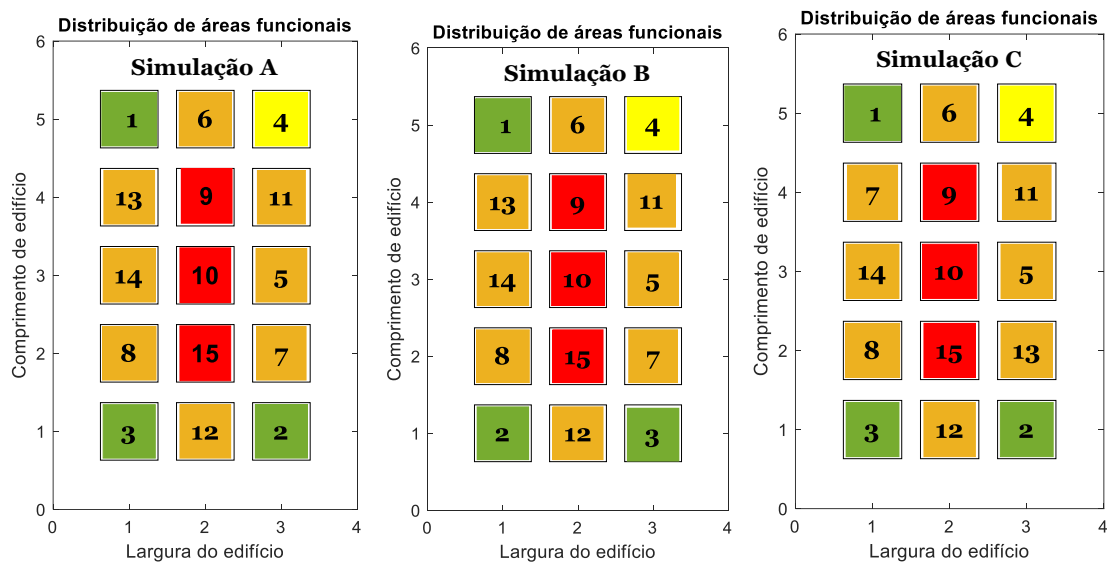
| Áreas | | Avaliação | |
|-------|---|----------------------------|-----------------|
| | | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 0,6 | Aceitável |
| 2 | Vinificação | 0,7 | Aceitável |
| 3 | Fermentação | 0,7 | Aceitável |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 166,3 | Notável |
| 5 | Filtragem | 356,3 | Alto |
| 6 | Armazenamento de Vinhos/Conservação/Estágio em Cubas Inox | 259,1 | Alto |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 270,0 | Alto |
| 8 | Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 277,5 | Alto |
| 9 | Elaboração de Lotes | 505,9 | Muito alto |
| 10 | Engarrafamento | 555,8 | Muito alto |
| 11 | Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 12 | Armazém de Produto Semiacabado | 241,7 | Alto |
| 13 | Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 14 | Embalagem | 394,0 | Alto |
| 15 | Expedição | 481,2 | Muito alto |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
- Número de iterações: 2500
- Comprimento: 3
- Largura: 5
- Vetor de riscos = [0,6 0,7 0,7 166,3 356,3 259,1 270,0 277,5 505,9 555,8 293,6 241,7 346,7 394,0 481,2]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.2.2.1. Resultados Obtidos para o Cenário 2

Na Figura 68 são apresentadas as soluções selecionadas para a otimização do *layout* da área de produção para a época alta (durante a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice V, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 115.324 uc (unidades de custo).



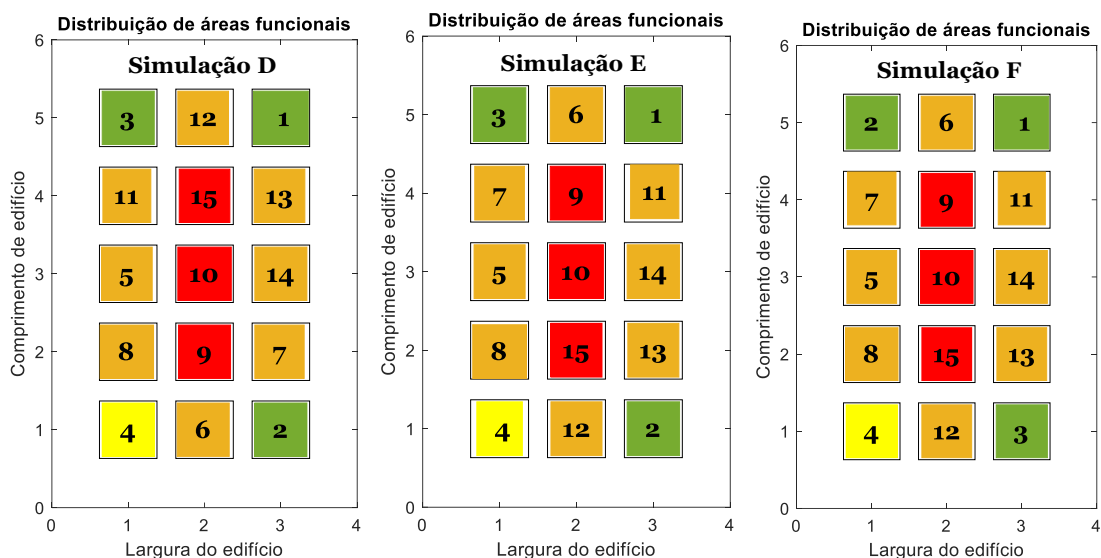


Figura 68 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima).

Através da Figura 68 é possível constatar que nenhuma das soluções se mostra operacionalmente eficaz, ou seja, embora tenha sido efetuada a dispersão simétrica da carga em termos de riscos gerais através do modelo aplicado, em termos funcionais, verifica-se que todas as soluções encontradas conduzem a um *layout* de baixa eficiência, dada a elevada dispersão as áreas produtivas que são interdependentes, bem como o facto da área de expedição se encontrar numa localização mais interior do edifício.

Apesar deste facto, as soluções apresentadas sugerem um perfil com dois níveis ou pisos diferenciados, perfil este que pode conferir uma maior eficácia, tanto na operacionalização dos processos produtivos como na minimização dos riscos laborais. Neste tipo de configuração, a distribuição de zonas seria efetuada de forma a localizar as áreas de menor grau de perigosidade (GP) no nível superior, as quais estão associadas à receção e transformação da matéria-prima, sendo que no nível inferior seriam distribuídas as zonas com grau de perigosidade mais elevada associadas à elaboração de lotes, engarrafamento e expedição.

Deste modo, aplicando o modelo de otimização a cada um dos níveis separadamente, foi obtida a solução apresentada através da Figura 69, onde as áreas de menor grau de perigosidade se encontram distribuídas no piso superior, enquanto que as zonas que apresentam um maior grau de perigosidade ficam localizadas no piso inferior.

Para além deste facto, verifica-se ainda que a receção da matéria-prima e dos materiais de embalagem é efetuada no piso superior, sendo que a expedição de produto acabado é efetuada no piso inferior.

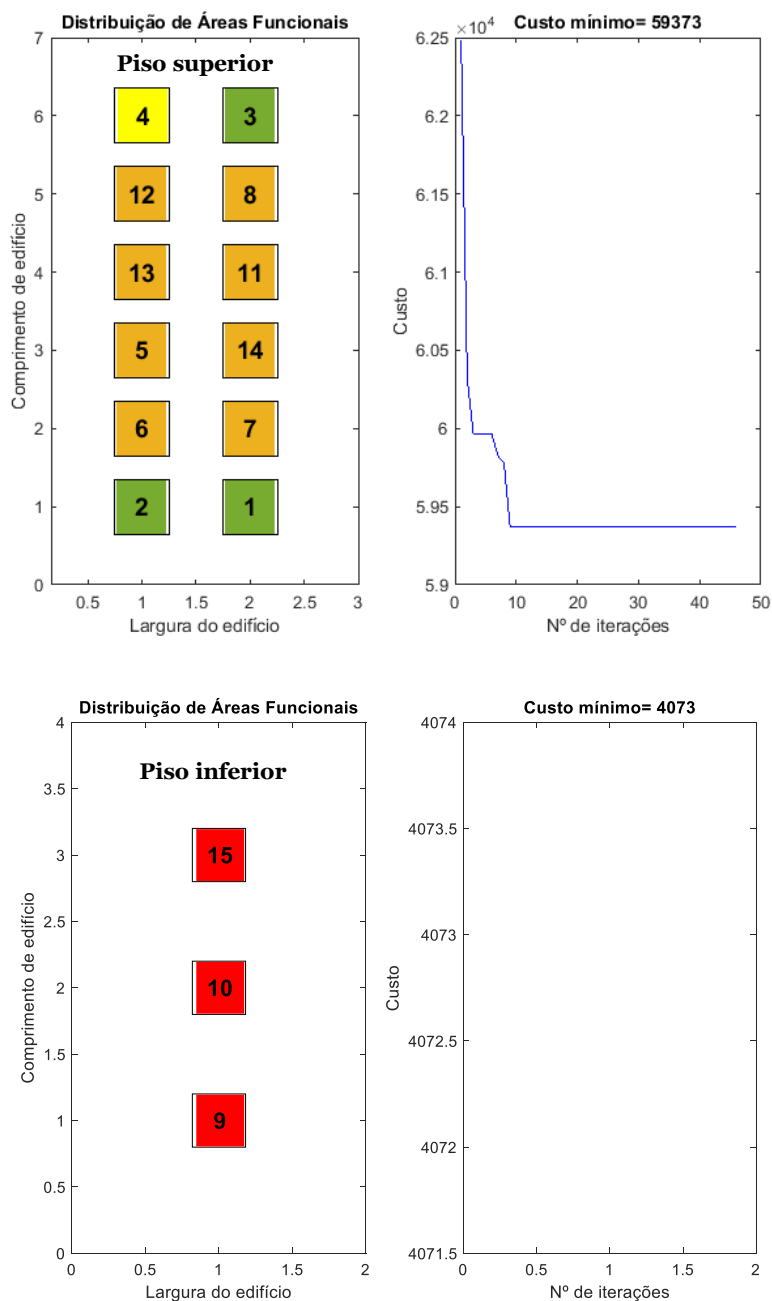


Figura 69 - Soluções obtidas para a otimização do layout da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima) com diferenciação em dois níveis (pisos).

Ao efetuar a sobreposição das imagens correspondentes aos pisos superior e inferior, foi possível obter a Figura 70.

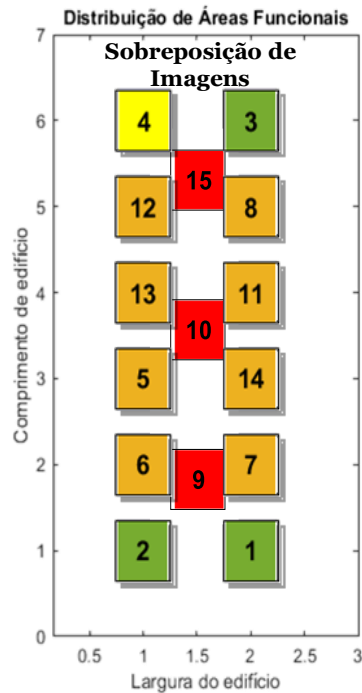


Figura 70 - Sobreposição das soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva com dois níveis diferenciados na época baixa (após o período de vindima).

Através da análise da Figura 70, como seria de esperar, verifica-se que o *layout* seria um pouco mais funcional tendo em consideração que se trata do cenário de época baixa, existindo, no entanto, a necessidade de haver vários pontos de comunicação entre as zonas de elaboração de lotes e de engarrafamento (áreas 9 e 10) e as respetivas zonas de fluxo à montante (áreas 6, 7, 11, 12, 13, 14). Verifica-se também uma diminuição significativa do grau de perigosidade, sendo de 63.416 uc [59.373 (GP piso superior) + 4.073 (GP piso inferior)] neste tipo de perfil, originando uma diferença de 51.908 uc face ao perfil anterior.

9.2.3.2.3. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

Neste terceiro cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação de riscos, conforme a Tabela 49, na qual se encontra sumariamente descrita a avaliação e a quantificação dos riscos gerais para cada zona de laboração, excluindo a área específica de estufagem (produção de vinho Madeira), durante a época alta (durante a época de vindima).

Tabela 49 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (sem produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima).

| Áreas | | Avaliação | |
|-------|---|----------------------------|-----------------|
| | | Grau de perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 467,1 | Muito alto |
| 2 | Vinificação | 574,6 | Muito alto |
| 3 | Fermentação | 600,4 | Muito alto |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 436,3 | Muito alto |
| 5 | Filtragem | 462,9 | Muito alto |
| 6 | Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 580,0 | Muito alto |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 702,9 | Muito alto |
| 8 | Elaboração de Lotes | 582,3 | Muito alto |
| 9 | Engarrafamento | 555,0 | Muito alto |
| 10 | Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 11 | Armazém de Produto Semi-acabado | 241,7 | Alto |
| 12 | Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 13 | Embalagem | 394,0 | Alto |
| 14 | Expedição | 481,2 | Muito alto |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 14 zonas

Na aplicação do algoritmo foram criadas 15 zonas, tendo sido subtraída uma das zonas posteriormente, à qual foi previamente atribuída um grau de perigosidade médio de zero.

- Vetor de riscos = [467,1 574,6 600,4 436,3 462,9 580,0 702,9 582,3 555,0 293,6 241,7 346,7 394,0 481,2]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.2.3.1. **Resultados Obtidos para o Cenário 3**

Após a aplicação do modelo foram obtidas as soluções para otimização do *layout* da área de produção, de acordo com o cenário estabelecido. Deste modo, através da Figura 71 é possível observar as soluções a otimização do *layout* da área de produção para a época alta (durante a vindima), sendo também possível verificar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice V, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 194.613 uc (unidades de custo).

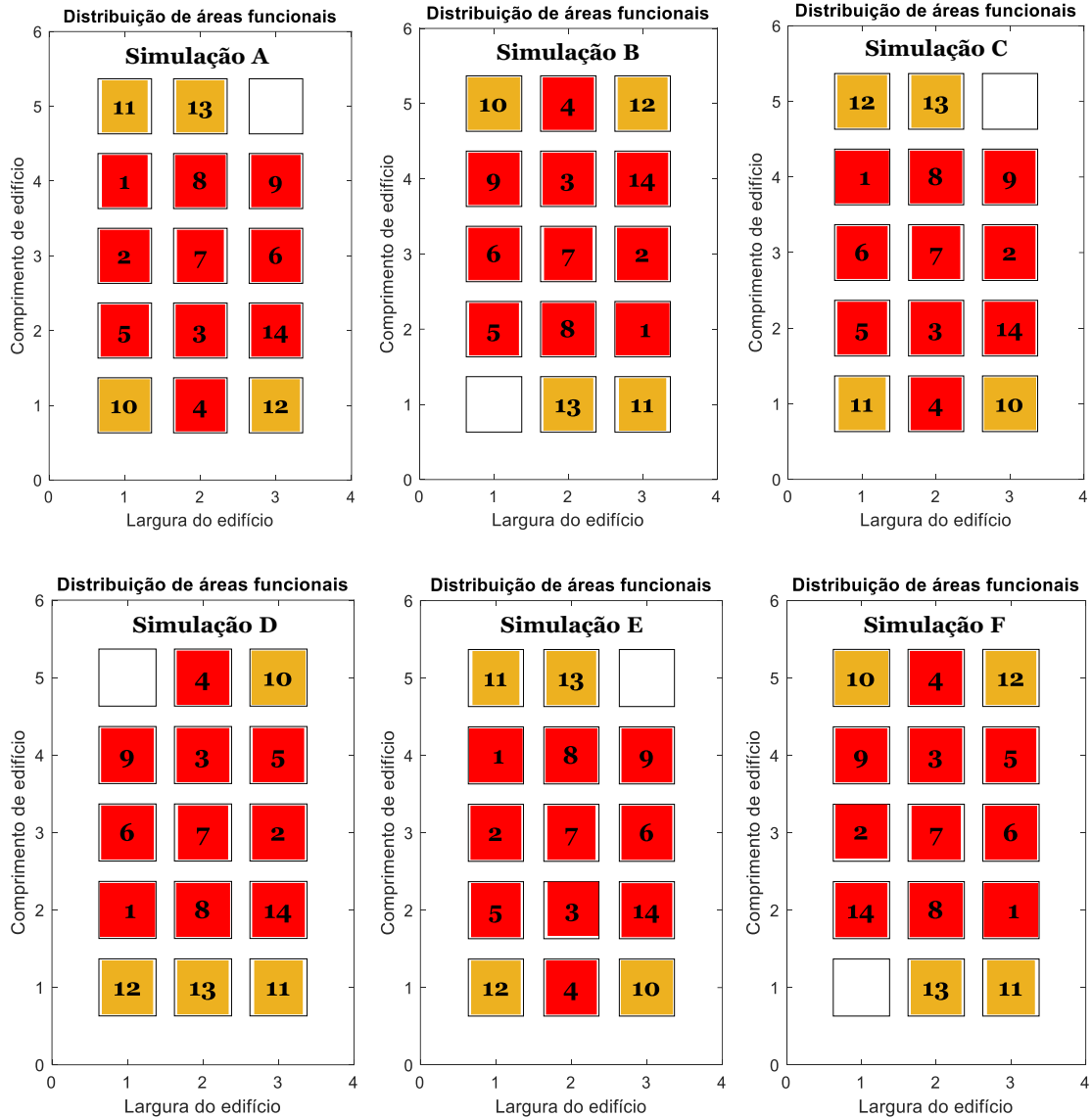


Figura 71 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, excluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima).

Com a análise das soluções selecionadas para a época alta, é possível verificar que a redistribuição das zonas após a aplicação do modelo de otimização segue um perfil análogo ao verificado nos cenários anteriores, sendo que as zonas que possuem um grau de perigosidade mais elevado foram redistribuídas ao longo da área central, enquanto que as restantes zonas foram realocadas junto à área periférica, nomeadamente nas extremidades sul e norte e relação à orientação dos *layouts*.

No que respeita à solução mais eficiente aliada à prevenção de riscos gerais e à maior fluidez relativamente à operacionalização dos processos produtivos é possível constatar que a simulação *E* é a mais equilibrada, evidenciando-se a proximidade e a localização

contígua das zonas 1, 2, 3, 4 e 5, tornado o processo de transformação da matéria-prima mais eficiente.

Nesta solução existe uma concentração desejável das zonas de estágio (zonas 6 e 7) com a área de elaboração de lotes (zona 8), sendo que esta por sua vez se encontra localizada junto à área de engarrafamento (zona 9).

Embora as zonas de armazenamento de materiais de embalagem e de produto acabado (zonas 10, 12), apresentem uma localização um pouco desfasada em relação à área de engarrafamento, as áreas de armazenamento de produto semiacabado (área 11), de embalagem (zona 13) e expedição (zona 14) possuem uma localização aceitável e relação a área de engarrafamento, favorecendo assim a redução do grau de perigosidade e a fluidez dos processos produtivos.

9.2.3.2.4. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

Neste quarto cenário, na aplicação do modelo de otimização foi considerada a avaliação de riscos, conforme a Tabela 50, na qual se encontra sucintamente descrita a avaliação e a quantificação dos riscos gerais para cada zona de laboração, excluindo a área específica de estufagem (produção de vinho Madeira), durante a época baixa (após a época de vindima).

Tabela 50 - Síntese das estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola (sem produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após vindima).

| Áreas | | Avaliação | |
|-------|---|----------------------------|-----------------|
| | | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 0,6 | Aceitável |
| 2 | Vinificação | 0,7 | Aceitável |
| 3 | Fermentação | 0,7 | Aceitável |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 166,3 | Notável |
| 5 | Filtragem | 356,3 | Alto |
| 6 | Armazenamento de Vinhos/Conservação/Estágio em Cubas Inox | 259,1 | Alto |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 270,0 | Alto |
| 8 | Elaboração de Lotes | 505,9 | Muito alto |
| 9 | Engarrafamento | 555,8 | Muito alto |
| 10 | Armazém de Materiais de Embalagem | 293,6 | Alto |
| 11 | Armazém de Produto Semiacabado | 241,7 | Alto |

| Áreas | | Avaliação | |
|-------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| | | Grau de Perigosidade Médio | Índice de Risco |
| 12 | Armazém de Produto Acabado | 346,7 | Alto |
| 13 | Embalagem | 394,0 | Alto |
| 14 | Expedição | 481,2 | Muito alto |

Inputs para a aplicação do modelo:

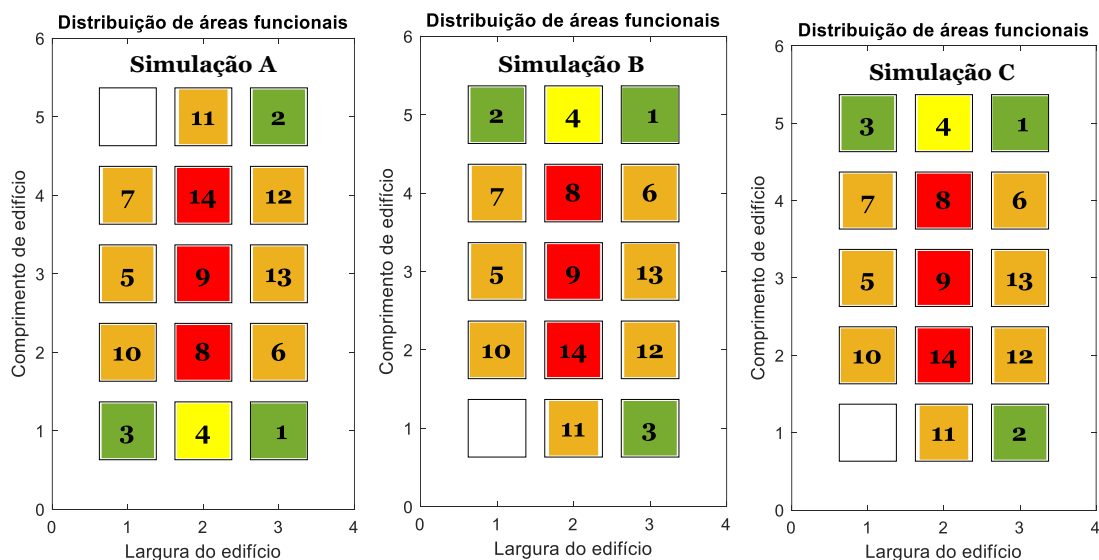
- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 14 zonas

Na aplicação do algoritmo foram criadas 15 zonas, tendo sido subtraída uma das zonas posteriormente, à qual foi previamente atribuída um grau de perigosidade médio de zero.

- Vetor de riscos = [0,6 0,7 0,7 166,3 356,3 259,1 270,0 505,9 555,8 293,6 241,7 346,7 394,0 481,2]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.2.4.1. Resultados Obtidos para o Cenário 4

Através da Figura 72 é possível observar a solução de custo mínimo encontrada (em termos de grau de perigosidade médio) para a otimização do *layout* da área de produção para a época baixa (após a vindima), com indicação do respetivo índice de risco, o qual se encontra representado através das cores.



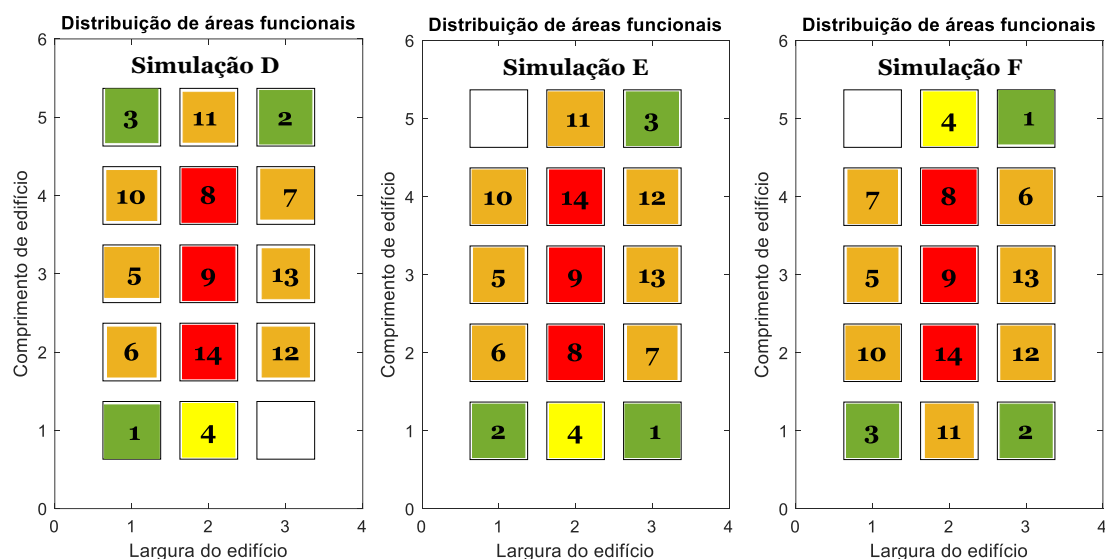


Figura 72 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos gerais, excluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima).

Através da Figura 72 é possível verificar que nenhuma das soluções se mostra operacionalmente eficaz, ou seja, embora tenha sido efetuada a dispersão simétrica da carga em termos de riscos gerais através do modelo aplicado, em termos funcionais, verifica-se que todas as soluções encontradas conduzem a um *layout* de baixa eficiência, visto que existe uma elevada dispersão das áreas produtivas que são interdependentes.

Para além deste aspeto, a área de expedição se encontra numa localização mais interior no edifício, situação esta que não é aceitável visto que esta área deve ter acesso direto ao exterior.

Mais uma vez, as soluções apresentadas sugerem um perfil com dois níveis ou pisos diferenciados, perfil este que pode conferir uma maior eficácia, tanto na operacionalização dos processos produtivos como na minimização dos riscos laborais.

Desta forma, a distribuição de zonas seria efetuada de forma a alocar as zonas de menor grau de perigosidade (GP) no nível superior, as quais estão relacionadas com a receção e transformação da matéria-prima, enquanto que no nível inferior seriam distribuídas as áreas com maior grau de perigo associadas à elaboração de lotes, engarrafamento e expedição.

9.2.3.3. Otimização do *layout* produtivo com Base na Avaliação de Riscos Ergonómicos

A otimização do *layout* produtivo com base na avaliação de riscos ergonómicos foi efetuada tendo em consideração a avaliação de riscos efetuada para quatro cenários (Tabela 51), incluindo ambas as épocas, durante a vindima (época alta) e após a vindima (época baixa), tendo sido diferenciado os dois processos produtivos com e sem a área específica de estufagem relativa à produção de vinho Madeira.

Tabela 51 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização tendo em consideração a avaliação dos riscos ergonómicos.

| Cenários | Épocas | Perfil de produção vinícola | Tipos de avaliação | Objetivo e modelo de otimização |
|----------|---------------------------------|--|--------------------|---|
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos ergonómicos | Otimização do <i>layout</i> produtivo Algoritmo genético |
| 2 | Baixa (restante período do ano) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto | | |
| 4 | Baixa (período após vindima) | (sem processo de estufagem) | | |

9.2.3.3.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de Madeira na época alta

Neste cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica que ocorre durante a execução das várias tarefas dentro de cada área de laboração, conforme a Tabela 52. Nesta tabela encontram-se sintetizadas a avaliação e a quantificação dos riscos ergonómicos relacionadas com setor vinícola, tendo sido feita a transposição para o *layout* de referência (com produção de vinho Madeira) durante a época alta (durante a vindima).

Tabela 52 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (com produção de vinho Madeira) durante a época de vindima.

| Áreas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (kcal/min) | Nível |
|---|--|----------|
| 1 Receção de Matérias-Primas (uvas) | 6,8 | Moderado |
| 2 Vinificação | 6,8 | Moderado |
| 3 Fermentação | 6,7 | Moderado |
| 4 Clarificação/Estabilização | 5,6 | Moderado |
| 5 Filtragem | 7,5 | Pesado |
| 6 Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 7,2 | Moderado |
| 7 Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 7,6 | Pesado |
| 8 Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 6,6 | Moderado |
| 9 Elaboração de Lotes | 7,4 | Moderado |
| 10 Engarrafamento | 5,9 | Moderado |
| 11 Armazém de Materiais de Embalagem | 4,7 | Leve |
| 12 Armazém de Produto Semiacabado | 5,8 | Moderado |
| 13 Armazém de Produto Acabado | 5,8 | Moderado |
| 14 Embalagem | 5,2 | Moderado |
| 15 Expedição | 5,6 | Moderado |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 15 zonas
- Vetor de riscos = [6,8 6,8 6,7 5,6 7,5 7,2 7,6 6,6 7,4 5,9 4,7 5,8 5,8 5,2 5,6]
 - Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.3.1.1. **Resultados Obtidos para o Cenário 1**

Foram selecionadas seis soluções para a otimização do *layout* da área de produção após a aplicação do modelo de otimização. Assim, através da Figura 73 é possível observar as soluções para a otimização do *layout* da área de produção para a época alta (durante a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice VI, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 2,854 kcal/min (dispêndio de energia metabólica em relação à localização espacial euclidiana).

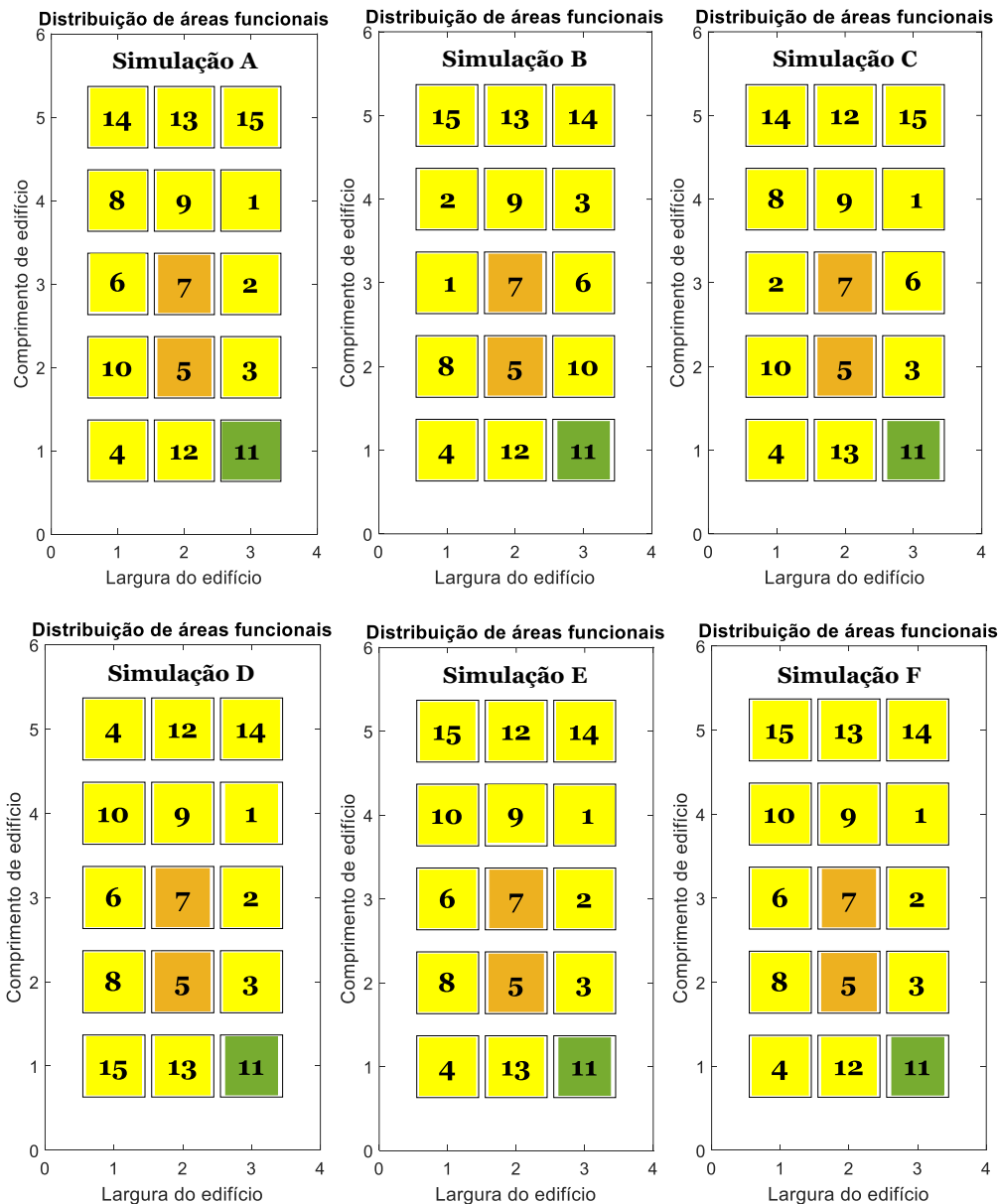


Figura 73 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonómicos, incluindo o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima).

Através da análise da Figura 73, verifica-se também que as zonas que possuem um grau de perigosidade mais elevado foram redistribuídas ao longo da área central, enquanto que as restantes zonas foram realocadas junto à periferia do edifício.

Relativamente à solução mais eficiente, em termos de operacionalidade de processos e de redução de riscos ergonómicos, as simulações *E* e *F* mostram-se eficientes, sendo que a escolha para implementação deverá recair sobre a solução que melhor dá resposta às exigências do processo produtivo, ou seja, se o processo produtivo está mais vocacionado para a personalização do produto acabado, a simulação *E* será mais adequada, visto que o armazém de produto semiacabado (zona 12) se encontra nas proximidades da área de

engarraamento (zona 10), da área de embalagem (zona 14) e da área de expedição (zona 15).

Para o caso de um processo produtivo mais direcionado para a produção de grandes quantidades de produtos com baixo nível de variedade ou personalização, a simulação *F* será mais eficiente, visto que o armazém de produto acabado (zona 13) se encontra nas imediações da área de engarraamento (zona 10), da área de embalagem (zona 14) e da área de expedição (zona 15).

Em ambas as simulações (*E* e *F*) o armazém de materiais de embalagem encontra-se mais afastado da área de engarraamento, facto que pode ser facilmente transposto mediante um bom planeamento e da transferência atempada dos materiais.

Em relação às áreas associadas à transformação da matéria-prima (zonas 1, 2 e 3), verifica-se que nas simulações *E* e *F*, estas zonas encontram-se próximas, como é desejável em termos operacionais, havendo uma conexão sequencial eficiente com as zonas de estabilização (zona 4), de filtragem (zona 5) e áreas de estágio (zonas 6, 7, e 8).

Por outro lado, as zonas de estágio encontram-se localizadas na proximidade da área de elaboração de lotes (zona 9), que por sua vez se encontra em posição adjacente à zona de engarraamento (zona 10) fechando desta forma o ciclo produtivo.

9.2.3.3.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

Neste segundo cenário, o modelo de otimização foi efetuado com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica, conforme a Tabela 53, na qual se encontra resumida a avaliação e a quantificação dos riscos ergonómicos relacionadas com setor, com transposição para o *layout* de referência (com produção de vinho Madeira) durante a época baixa (após a vindima).

Este cenário tem como principal objetivo verificar o efeito da época de vindima na utilização das diversas áreas produtivas das instalações fabris, designadamente no que se refere à variação dos riscos ergonómicos associados às duas épocas em estudo.

Tabela 53 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (com produção de vinho Madeira) após a época de vindima.

| | Áreas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (kcal/min) | Nível |
|----|---|--|----------|
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 1,25 | Repouso |
| 2 | Vinificação | 1,25 | Repouso |
| 3 | Fermentação | 1,25 | Repouso |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 5,6 | Moderado |
| 5 | Filtragem | 7,5 | Pesado |
| 6 | Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 7,2 | Moderado |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 7,6 | Pesado |
| 8 | Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | 6,6 | Moderado |
| 9 | Elaboração de Lotes | 7,4 | Moderado |
| 10 | Engarrafamento | 5,9 | Moderado |
| 11 | Armazém de Materiais de Embalagem | 4,7 | Leve |
| 12 | Armazém de Produto Semiacabado | 5,8 | Moderado |
| 13 | Armazém de Produto Acabado | 5,8 | Moderado |
| 14 | Embalagem | 5,2 | Moderado |
| 15 | Expedição | 5,6 | Moderado |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
 - Vetor de riscos = [1,25 1,25 1,25 5,6 7,5 7,2 7,6 6,6 7,4 5,9 4,7 5,8 5,8 5,2 5,6]
 - Número de simulações efetuadas: 6
- } Criação de 15 zonas

9.2.3.3.2.1. **Resultados Obtidos para o Cenário 2**

Na Figura 74 são apresentadas as soluções selecionadas para a otimização do *layout* da área de produção para a época baixa (após a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice VI, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 2,268 kcal/min (dispêndio de energia metabólica em relação à localização espacial euclidiana).

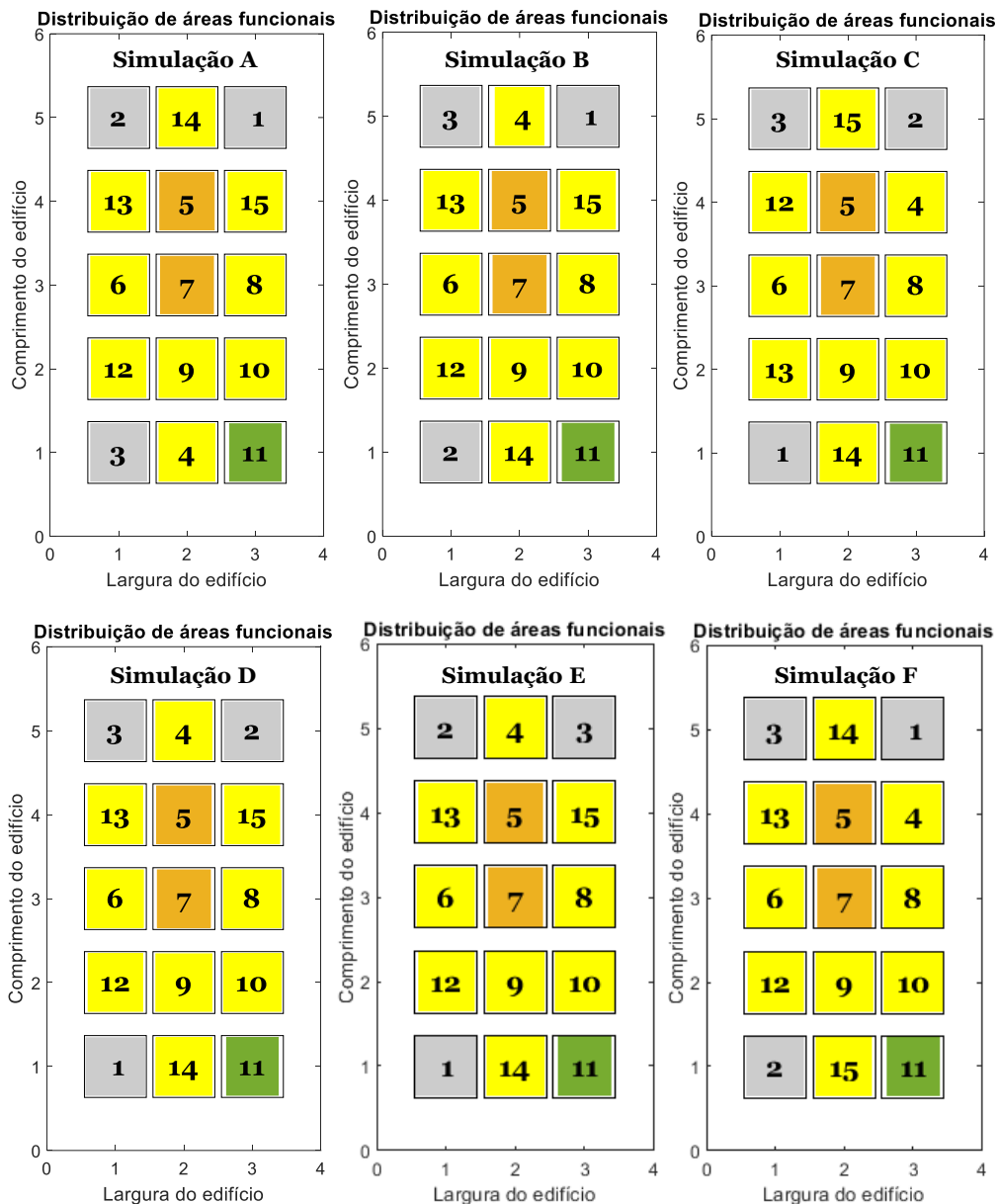


Figura 74 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonómicos, incluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima).

Através da Figura 74 é possível notar que nenhuma das soluções se mostra totalmente eficaz, o que seria de esperar, dado que as diversas áreas de uma adega vinícola não podem ser dissociadas em nenhum aspeto, inclusivamente no que refere aos respetivos riscos ergonómicos relacionados.

Deste modo, neste cenário o resultado relativo à reorganização das áreas associadas à receção e transformação de matéria-prima são negligenciadas, sendo o principal foco as restantes áreas. Assim, verifica-se que neste cenário ocorre uma dispersão simétrica da carga em termos de riscos ergonómicos, notando-se um maior destaque para as simulações *D* e *F*, as quais apresentam uma melhor organização e encadeamento, em

termos de contiguidade de localização das áreas com maior afinidade em termos de sequência de processos. Deste modo as áreas de estágio (zonas 6, 7 e 8), de estabilização (zona 4) e filtragem (zona 5), de elaboração de lotes (zona 9), de engarrafamento (zona 10), de armazenamento de materiais de embalagem (zona 11) e de produto semiacabado (zona 12), bem como as zonas de embalagem (zona 14) e de expedição (zona 15) encontram-se bem localizadas, tornando o processo produtivo e a logística entre zonas mais funcional, fluída e mais contida no que respeita aos riscos ergonómicos, comparativamente ao cenário 1.

9.2.3.3.3. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

No contexto do terceiro cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação dos riscos ergonómicos inerentes ao gasto de energia metabólica que ocorre durante a execução das tarefas em cada área de laboração, conforme a Tabela 54. Nesta tabela encontram-se sintetizadas a avaliação e a quantificação dos riscos ergonómicos relacionadas com setor, com transposição para o *layout* de referência (sem processo de estufagem) durante a época alta (durante a vindima).

Tabela 54 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (sem produção de vinho Madeira) durante a época de vindima.

| | Áreas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica kcal/min | Nível |
|----|---|--|----------|
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 6,8 | Moderado |
| 2 | Vinificação | 6,8 | Moderado |
| 3 | Fermentação | 6,7 | Moderado |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 5,6 | Moderado |
| 5 | Filtragem | 7,5 | Pesado |
| 6 | Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 7,2 | Moderado |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 7,6 | Pesado |
| 8 | Elaboração de Lotes | 7,4 | Moderado |
| 9 | Engarrafamento | 5,9 | Moderado |
| 10 | Armazém de Materiais de Embalagem | 4,7 | Leve |
| 11 | Armazém de Produto Semiacabado | 5,8 | Moderado |
| 12 | Armazém de Produto Acabado | 5,8 | Moderado |
| 13 | Embalagem | 5,2 | Moderado |
| 14 | Expedição | 5,6 | Moderado |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 14 zonas

Na aplicação do algoritmo foram criadas 15 zonas, tendo sido subtraída uma das zonas posteriormente, à qual foi previamente atribuída um gasto de energia metabólica de zero kcal/min.

- Vetor de riscos = [6,8 6,8 6,7 5,6 7,5 7,2 7,6 7,4 5,9 4,7 5,8 5,8 5,2 5,6]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.3.3.1. Resultados Obtidos para o Cenário 3

Para este cenário foram selecionadas seis soluções para a otimização do *layout* da área de produção após a aplicação do modelo de otimização. Assim, através da Figura 75 é possível observar as soluções para a otimização do *layout* da área de produção para a época alta (durante a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice VI, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 2,616 kcal/min (dispêndio de energia metabólica em relação à localização espacial euclidiana).

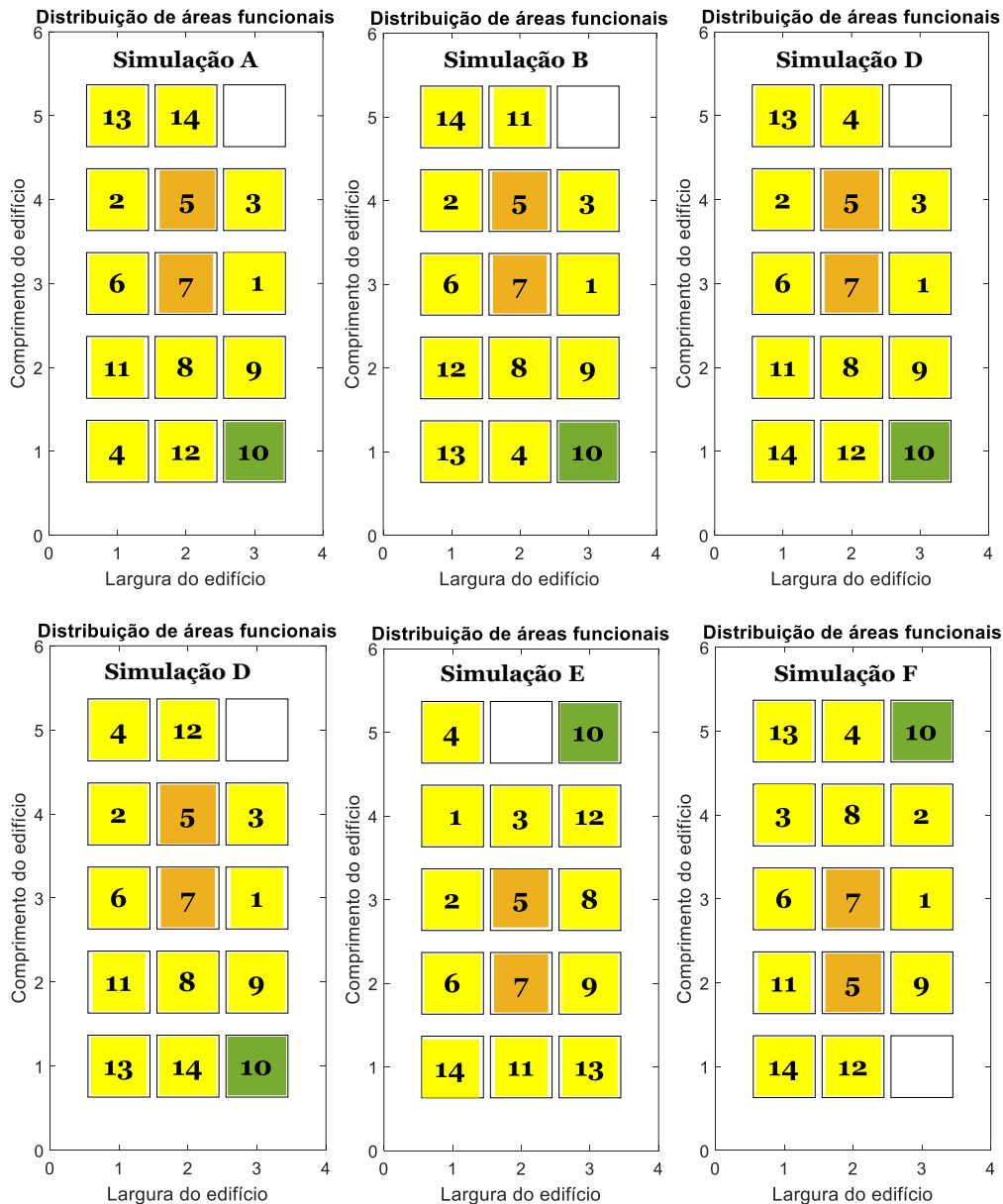


Figura 75 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonómicos, com exclusão o processo de estufagem, na época alta (durante o período de vindima).

Mediante a análise da Figura 75 verifica-se também que as zonas que possuem um grau de perigosidade mais elevado foram redistribuídas ao longo da área central, enquanto que as restantes zonas foram realocadas junto à periferia do edifício.

Relativamente a solução mais eficiente, em termos de operacionalidade de processos e de redução de riscos ergonómicos, a simulação *E* é aquela que se mostra mais eficiente, visto que, a área de engarrafamento (zona 9), de elaboração de lotes (zona 8), de armazenamento de produto semiacabado (zona 11), de embalagem (zona 13) e a área de expedição (zona 14) encontram-se concentradas de forma a favorecer a fluidez das

atividades de produção e a proporcionar uma contenção dos potenciais riscos ergonómicos.

Por outro lado, as áreas referentes à receção de matéria-prima e à respetiva transformação (zonas 1, 2 e 3) estão próximas entre si, ladeadas pelas áreas de estágio (zonas 6 e 7), de estabilização (zona 4) e filtragem (zona 5), beneficiando assim o fluxo produtivo na primeira etapa.

O aspeto menos positivo reside a localização do armazém de materiais de embalagem, o qual se encontra mais afastado da área de engarrafamento, facto que, no entanto, pode ser facilmente transposto mediante um bom planeamento e da transferência atempada dos materiais.

9.2.3.3.4. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

Neste segundo cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica, conforme a Tabela 55, na qual se encontra resumida a avaliação e a quantificação dos riscos ergonómicos relacionadas com setor, com exemplificação no *layout* de referência (sem processo de estufagem) durante a época baixa (após a vindima).

Neste cenário é possível verificar o efeito da época de vindima na utilização das diversas áreas produtivas das instalações fabris, designadamente no que se refere à variação dos riscos ergonómicos associados às duas épocas em estudo.

Tabela 55 - Resumo das energias metabólicas despendidas por área produtiva (sem produção de vinho Madeira) após a época de vindima.

| | Áreas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica kcal/min | Nível |
|---|---|---|--------------|
| 1 | Receção de Matérias-Primas (uvas) | 1,25 | Repouso |
| 2 | Vinificação | 1,25 | Repouso |
| 3 | Fermentação | 1,25 | Repouso |
| 4 | Clarificação/Estabilização | 5,6 | Moderado |
| 5 | Filtragem | 7,5 | Pesado |
| 6 | Armazenamento/Conservação/Estágio de Vinhos em Cubas Inox | 7,2 | Moderado |
| 7 | Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | 7,6 | Pesado |
| 8 | Elaboração de Lotes | 7,4 | Moderado |

| Áreas | | Estimativa de dispêndio de energia metabólica kcal/min | Nível |
|-------|-----------------------------------|--|----------|
| 9 | Engarrafamento | 5,9 | Moderado |
| 10 | Armazém de Materiais de Embalagem | 4,7 | Leve |
| 11 | Armazém de Produto Semiacabado | 5,8 | Moderado |
| 12 | Armazém de Produto Acabado | 5,8 | Moderado |
| 13 | Embalagem | 5,2 | Moderado |
| 14 | Expedição | 5,6 | Moderado |

Inputs para a aplicação do modelo:

- Tamanho da população: $50 \times 2 = 100$
 - Número de iterações: 2500
 - Comprimento: 3
 - Largura: 5
- } Criação de 14 zonas

Na aplicação do algoritmo foram criadas 15 zonas, tendo sido subtraída uma das zonas posteriormente, à qual foi previamente atribuída um gasto de energia metabólica de zero kcal/min.

- Vetor de riscos = [1,25 1,25 1,25 5,6 7,5 7,2 7,6 7,4 5,9 4,7 5,8 5,8 5,2 5,6]
- Número de simulações efetuadas: 6

9.2.3.3.4.1. **Resultados Obtidos para o Cenário 4**

A Figura 76 mostra as soluções selecionadas para a otimização do *layout* da área de produção para a época baixa (após a vindima), sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do custo através dos gráficos constantes no Apêndice VI, sendo que o custo mínimo é comum a todas as simulações, sendo de 2,036 kcal/min (dispêndio de energia metabólica em relação à localização espacial euclidiana).

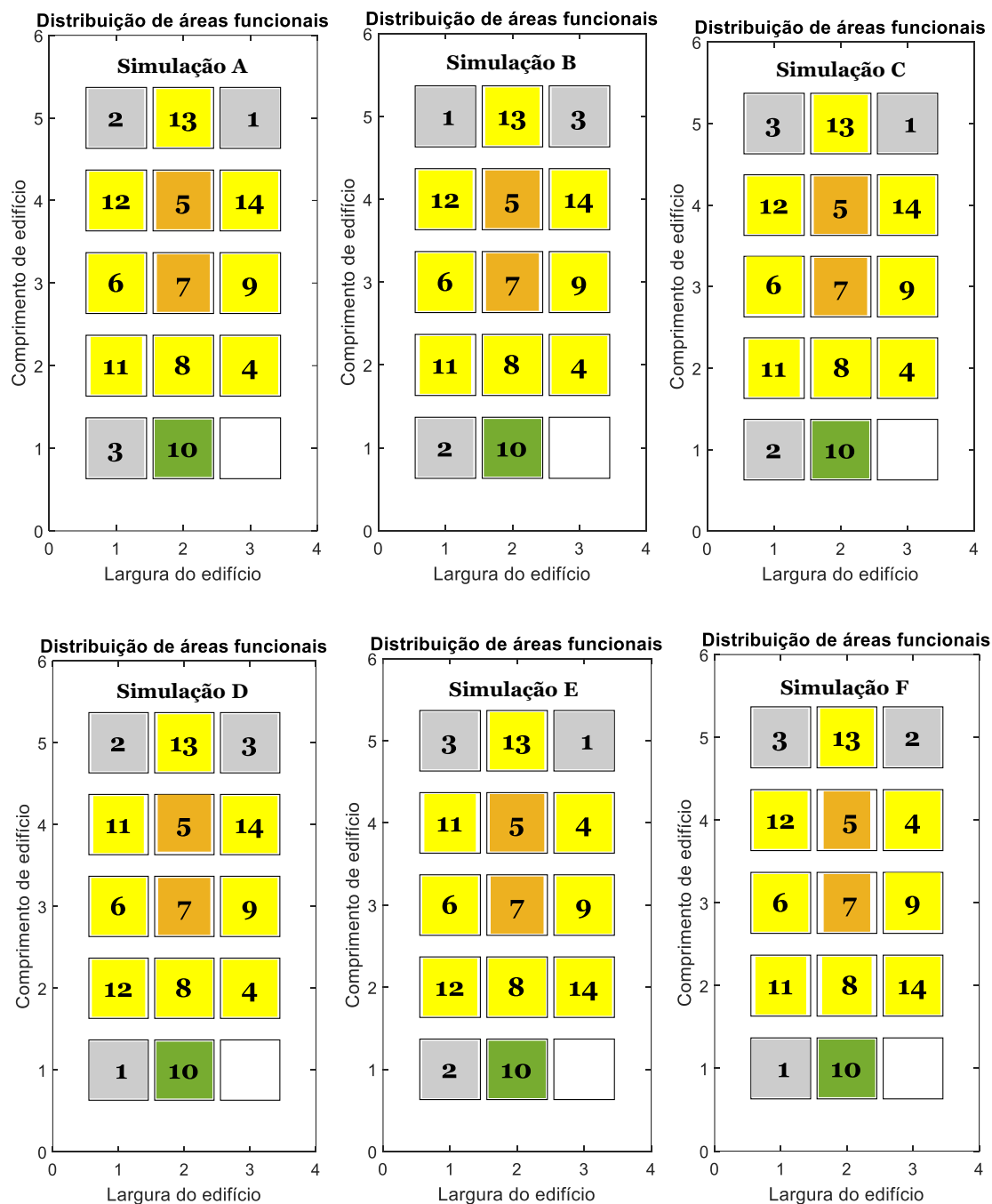


Figura 76 - Soluções obtidas para a otimização do *layout* da área produtiva, em termos de redução de riscos ergonómicos, excluindo o processo de estufagem, na época baixa (após o período de vindima).

Através da Figura 76, é possível inferir que nenhuma das soluções é totalmente eficaz. Dada a época do ano, as áreas da adega relacionadas com a receção e transformação da matéria-prima se encontram inativas, sendo que, após a aplicação do modelo de otimização estas áreas se encontram dispersas ao longo das instalações fabris.

Deste modo, neste cenário os resultados obtidos visam apenas complementar os resultados apresentados no cenário 3, relativo à época alta, sendo o principal foco as áreas subsequentes à receção e transformação da matéria-prima.

Assim, verifica-se que neste cenário ocorre uma dispersão simétrica da carga em termos de riscos ergonómicos, sendo de destacar a simulação *F*, a qual apresenta uma melhor organização e encadeamento, em termos de contiguidade de localização das áreas com maior afinidade em termos de processos produtivos.

Deste modo as áreas de estágio (zonas 6 e 7), de estabilização (zona 4) e filtragem (zona 5), de elaboração de lotes (zona 8), de engarrafamento (zona 9), de armazenamento de materiais de embalagem (zona 10), de produto semiacabado (zona 11) e a zona de expedição (zona 15) encontram-se bem localizadas, tornando o processo produtivo e a logística entre zonas mais funcional, fluída e mais contida no que respeita aos riscos ergonómicos. No entanto, verifica-se um desfaseamento relativamente à área de embalagem (zona 13) que se encontra significativamente afastada da área de engarrafamento, dificultando assim o processo de acabamento.

Em termos globais, de acordo com a Tabela 56, nos cenários de época alta, nos quais foram consideradas todas as áreas de laboração com as avaliações de riscos efetuadas, foi possível obter soluções mais eficientes, tanto em termos de operacionalidade de processos produtivos, como na redução de riscos ergonómicos.

Tabela 56 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do modelo de otimização de *layouts* aos vários cenários estipulados.

| Cenários | Custo mínimo | Simulação mais eficiente | Operacionalidade | | |
|---|--------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| | | | Zonas bem localizadas | Zonas com localização deficiente | Parecer global |
| Otimização baseada na avaliação de riscos Gerais | | | | | |
| 1 - Época alta com estufagem | 204.902 u.c. | A | Todas | Não há | A solução encontrada é a mais eficiente, em termos de operacionalidade de processos e de redução de riscos ergonómicos |

| Cenários | Custo mínimo | Simulação mais eficiente | Operacionalidade | | |
|-------------------------------|--------------|--------------------------|---|--|---|
| | | | Zonas bem localizadas | Zonas com localização deficiente | Parecer global |
| 2 - Época baixa com estufagem | 115.324 u.c. | Não encontrada | Não há | Todas | Nenhuma das soluções se mostra eficaz em termos operacionais. Os <i>layouts</i> apresentam baixa eficiência, dada a elevada dispersão as áreas produtivas que são interdependentes |
| 3 - Época alta sem estufagem | 194.643 u.c. | E | As áreas de receção, transformação de matéria-prima, de estabilização/ clarificação, filtragem (zonas 1, 2, 3, 4 e 5), as zonas de estágio (zonas 6 e 7) e a área de elaboração de lotes (zona 8) | Armazém de materiais de embalagem e de produto acabado (zonas 10, 12), | A simulação E é a mais equilibrada |
| 4 - Época baixa sem estufagem | 105.479 u.c. | Não encontrada | Não encontradas | Todas | Nenhuma das soluções é totalmente eficaz. Existe uma elevada dispersão das áreas produtivas que são interdependentes |

Otimização baseada na avaliação de riscos ergonómicos

| | | | | | |
|------------------------------|-------|------|---|---|---|
| 1 - Época alta com estufagem | 2,854 | E, F | Áreas de transformação de matéria-prima (zonas 1, 2 e 3), as zonas de estabilização (zona 4), de filtragem (zona 5) e áreas de estágio (zonas 6, 7, e 8). Por outro lado, as zonas de estágio encontram-se localizadas na proximidade da área de elaboração de lotes (zona 9), que por sua vez se encontra em posição adjacente à zona de engarrafamento (zona 10) | Armazém de materiais de embalagem (zona 11) | Simulação F mais direcionada para a produção em massa de produtos com baixo nível de variedade A simulação E mais direcionada para uma produção personalizada: grade variedade de produtos em menos quantidade |
|------------------------------|-------|------|---|---|---|

| Cenários | Custo mínimo | Simulação mais eficiente | Operacionalidade | | |
|---|----------------|--------------------------|---|---|--|
| | | | Zonas bem localizadas | Zonas com localização deficiente | Parecer global |
| 2 - Época baixa com estufagem | 2,268 kcal/min | D, F | Áreas de estágio (zonas 6, 7 e 8), de estabilização (zona 4, de filtragem (zona 5), de elaboração de lotes (zona 9), de engarrafamento (zona 10), armazéns de materiais de embalagem (zona 11) e de produto semiacabado (zona 12), zonas de embalagem (zona 14) e de expedição (zona 15) | Armazém de produtos acabado (zona 3) | Nenhuma das soluções é totalmente eficaz. Existe uma elevada dissociação e dispersão das áreas de receção e transformação de matéria-prima (zonas 1, 2 e 3) |
| 3 - Época alta sem estufagem | 2,616 kcal/min | E | Áreas de receção de matéria-prima e de transformação (zonas 1, 2 e 3), as áreas de estágio (zonas 6 e 7), de estabilização (zona 4), de filtragem (zona 5), área de engarrafamento (zona 9), de elaboração de lotes (zona 8), de armazenamento de produto semiacabado (zona 11), de embalagem (zona 13) e a área de expedição (zona 14) | Armazém de materiais de embalagem (zona 10) | A solução encontrada é a mais eficiente, em termos de operacionalidade de processos e de redução de riscos ergonómicos |
| 4 - Época baixa sem estufagem (As áreas associadas à receção e transformação de matéria-prima (zonas 1, 2 e 3) estão inativas) | 2,036 kcal/min | F | Áreas de estágio (zonas 6 e 7), de estabilização (zona 4) e filtragem (zona 5), de elaboração de lotes (zona 8), de engarrafamento (zona 9), de armazenamento de materiais de embalagem (zona 10), de produto semiacabado (zona 11) e a zona de expedição (zona 15) | Área de embalagem (zona 13) | Nenhuma das soluções é totalmente eficaz Existe uma elevada dissociação e dispersão das áreas de receção e transformação de matéria-prima (zonas 1, 2 e 3) |

Relativamente ao efeito do processo de estufagem na otimização dos *layouts*, verificou-se que não existem diferenças substanciais na reorganização otimizada das áreas produtivas, sendo de realçar que a aplicação do modelo de otimização a ambos os cenários (com e sem processo de estufagem) permitiu a obtenção de pelo menos uma solução viável, em termos operacionais com minimização dos riscos ocupacionais, para cada caso.

No que concerne à diferenciação da aplicação do modelo de otimização com respeito ao tipo de riscos avaliados, verificou-se que a aplicação do modelo de otimização aos cenários baseados na avaliação de riscos ergonómicos com inclusão do processo de estufagem na época alta proporciona duas soluções alternativas, como o caso do cenário de época alta com estufagem, no qual foi obtida uma solução com duas alternativas: a simulação E, a qual é comum para ambos os cenários de época alta (com e sem estufagem) e que é mais direcionada para a produção em massa com baixa variedade de produtos, e a simulação F, a qual é mais compatível com o tipo de produção de uma maior variedade de produtos.

9.3. Otimização do Planeamento das Atividades Laborais: Algoritmo de Otimização de Colónia de Formigas

O planeamento das atividades inerentes ao processo de produção numa empresa da área vinícola assenta na tomada de decisão sobre diversos aspetos técnicos, aspetos organizacionais, assim como vários requisitos legais. O modelo desenvolvido prende-se fundamentalmente com os aspetos organizacionais e técnicos, centrados na redução dos riscos ocupacionais, designadamente dos ergonómicos, em conjugação com a eficiência em termos de produtividade e economia de recursos, sejam recursos humanos, financeiros e materiais.

Assim, o método selecionado e utilizado para a otimização do planeamento das atividades do processo de produção baseou-se na aplicação de um algoritmo de otimização de colónia de formigas, por se tratar de um método que possui três características importantes no que se refere à otimização de planeamentos de tarefas (Bonabeau & Meyer, 2001):

- Flexibilidade: a colónia adapta-se a um ambiente em mudança;
- Robustez: mesmo quando um ou mais indivíduos falham, o grupo ainda pode executar as suas tarefas;
- Auto-organização: as atividades não são controladas centralmente, nem supervisionadas localmente.

9.3.1. Abordagem Teórica do Modelo de Otimização

As sociedades sociais de insetos, mais concretamente as colónias de formigas, são sistemas que, apesar da simplicidade dos seus indivíduos, apresentam uma organização social altamente estruturada (Dorigo & Stützle, 2004).

Como resultado desta organização, as colónias de formigas podem realizar tarefas complexas que, em alguns casos, excedem em muito as capacidades individuais de uma única formiga (Dorigo & Stützle, 2004).

A área dos "algoritmos de formigas" estuda os modelos derivados da observação do comportamento de formigas reais e usa estes modelos como fonte de inspiração para o design de novos algoritmos para a solução de problemas de otimização e controlo distribuído (Dorigo & Stützle, 2004).

A ideia principal é que os princípios de auto-organização, que permitem o comportamento altamente coordenado de formigas reais, podem ser explorados para coordenar populações de agentes artificiais que colaboram para resolver problemas computacionais (Dorigo & Stützle, 2004).

Vários aspetos relacionados com o comportamento das colónias de formigas, tais como o forrageamento (movimentar-se para procurar alimento), a divisão de trabalho, a seleção de ninhadas e o transporte cooperativo inspiraram vários tipos de algoritmos de formigas (Dorigo & Stützle, 2004).

A principal inspiração do algoritmo de otimização de colónias de formigas ou *Ant Colony Optimization* (ACO) está relacionada com o conceito de estigmergia na natureza, sendo que a estigmergia se refere à manipulação do meio ambiente, por parte de organismos biológicos, como forma de comunicação. O que torna esse tipo de comunicação único é o facto de que os indivíduos se comunicam indiretamente. A comunicação também é efetuada localmente, ou seja, os indivíduos devem estar nas proximidades da área manipulada para ter acesso a este tipo de comunicação (Mirjalili, 2019).

Muitos dos comportamentos observados nas colónias de insetos sociais podem ser explicados através de modelos simples, nos quais apenas está presente a comunicação estigmérgica. Assim, na maioria dos casos, é suficiente ter em consideração a comunicação estigmérgica para explicar a forma como os insetos sociais podem alcançar a auto-organização. A ideia implícita nos algoritmos de formigas integra o uso de uma forma de estigmergia artificial para coordenar as sociedades de agentes artificiais (Dorigo & Stützle, 2004).

Numa colónia de formigas, os indivíduos procuram constantemente fontes de alimento ao redor do ninho (formigueiro) e em direções aleatórias. Está provado que uma vez que

uma formiga encontra uma fonte de alimento, esta marca o caminho através do depósito de feromonas no solo, formando assim uma trilha de feromonas. A quantidade de feromonas depende muito da qualidade e quantidade da fonte de alimento. Quanto mais e melhor for a fonte de alimento, mais fortes e concentradas serão as feromonas depositadas. Quando as outras formigas se apercebem da presença das feromonas, também seguem a trilha marcada com as feromonas para chegar à fonte de alimento. Depois de retirar uma porção de comida, as formigas carregam o alimento até o ninho, deixando a sua marcação com feromonas para os próximos indivíduos. Desta forma, esta simples atividade resolve um problema de otimização para as formigas: encontrar o caminho mais curto, desde o formigueiro até a fonte de alimento (Dorigo & Stützle, 2004; Mirjalili, 2019).

De acordo com a Figura 77, ao serem estabelecidos três trajetos pelas formigas, desde o ninho até uma fonte de alimento, é possível verificar que o percurso mais curto é o que possui a quantidade mais elevada de feromonas depositadas. Este fenômeno pode ser explicado através das seguintes constatações (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020):

- O nível de feromonas diminui proporcionalmente ao comprimento do caminho;
- Enquanto as formigas adicionam feromonas ao longo dos percursos em direção à fonte de alimento, ocorre a vaporização das feromonas;
- O intervalo de tempo que decorre até que uma formiga complete a deposição de feromonas antes da vaporização é inversamente proporcional ao comprimento do caminho.

Deste modo, o nível de feromonas no trajeto mais curto torna-se mais concentrado à medida que mais formigas são atraídas para o trajeto com maior intensidade de feromonas (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

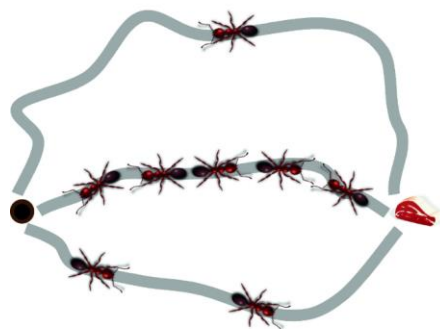


Figura 77 - Exemplo conceitual do fenômeno da disseminação de feromonas realizada durante a procura de alimento, sendo estabelecido o caminho mais curto entre o ninho e a fonte de alimento (Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

A Figura 77 mostra que o caminho na parte superior atrai menos formigas, pois existe uma menor acumulação de feromonas. Por outro lado, dado que o percurso inferior é mais curto, comparativamente ao caminho da parte superior, existe uma maior concentração de feromonas, fruto de um maior número de formigas a percorrer o trilho, proporcionando assim um ciclo de vaporização de feromonas mais lento. Finalmente, o caminho localizado no centro, o mais curto, atrai a maioria das formigas, verificando-se um certo congestionamento, pois o impacto do ciclo vaporização é reduzido devido a existência de muitas formigas a completar constantemente a trajetória com feromonas.

Com o passar do tempo, mais e mais formigas são atraídas para o caminho mais curto, até que, à dada altura, nenhuma formiga escolhe os trajetos mais longos, já que as feromonas se vaporizam totalmente antes da passagem de outras formigas, deixando de haver o reforço da concentração de feromonas nesses percursos (Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

O comportamento de algumas espécies de formigas, relacionado com a marcação a seguir as feromonas foi investigado em diversos trabalhos de investigação, destacando-se os trabalhos de Goss, Aron, Deneubourg, *et al.* (1989); Deneubourg, Aron, Goss, *et al.* (1990), os quais se basearam numa ponte dupla para ligar um ninho de formigas da espécie argentina *I. humilis* e uma fonte de alimento, sendo estabelecida uma diferença entre o comprimento dos dois ramos da ponte dupla Figura 78.

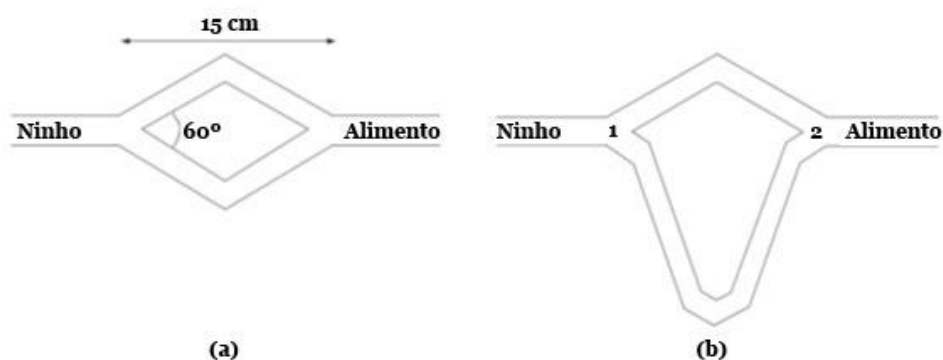


Figura 78 - Configuração experimental para a experiência da ponte dupla (a) Os ramos têm o mesmo comprimento. (b) Ramos têm comprimentos diferentes (Goss, Aron, Deneubourg, *et al.*, 1989).

Nestes trabalhos, constatou-se que quando existia uma variação entre os dois ramos da ponte dupla, passando a existir um percurso mais longo e outro mais curto, com o passar do tempo, as formigas tendiam a selecionar o caminho mais curto, tendo sido verificado que, dado o aumento do número de formigas a escolher o caminho mais curto, este trajeto apresentava consequentemente uma maior concentração de feromonas e uma

lenta evaporação de feromonas (Deneubourg, Aron, Goss, *et al.*, 1990; Goss, Aron, Deneubourg, *et al.*, 1989).

Assim, quando a evaporação das feromonas é muito lenta existe uma maior inibição da exploração de novos caminhos. Por outro lado, quando a evaporação das feromonas é rápida, a exploração de novos caminhos é favorecida. Desta forma, a evaporação mais lenta das feromonas impede que a colônia de formigas “esqueça” o caminho subótimo para o qual convergiram, inviabilizando a descoberta de um novo trajeto mais curto (Goss, Aron, Deneubourg, *et al.*, 1989).

As experiências de ponte dupla mostram claramente que as colônias de formigas possuem uma capacidade natural de otimização. Mediante o uso de regras probabilísticas baseadas em informações locais, as formigas podem encontrar, no seu ambiente, o caminho mais curto entre dois pontos (Dorigo & Stützle, 2004).

Através da inspiração nas experiências da ponte dupla, é possível proceder ao design de formigas artificiais que, ao se deslocarem e estabelecerem um modelo de ponte dupla ao longo de um grafo, encontram o caminho mais curto entre dois nós, os quais correspondem ao ninho e à fonte de alimento (Dorigo & Stützle, 2004).

9.3.2. Design do Modelo de Otimização

O algoritmo ACO é adequado para problemas de otimização combinatória. Neste tipo de problemas, as variáveis são selecionadas a partir de um conjunto finito de valores. O objetivo é encontrar um conjunto ótimo de valores de um conjunto finito para maximizar ou minimizar um objetivo (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

A maioria dos problemas combinatórios são do tipo *NP-hard*, sendo que o desempenho dos algoritmos determinísticos diminui significativamente ao aumentar a escala do problema. Semelhante a outras heurísticas e meta-heurísticas, o ACO utiliza um mecanismo para evitar a procura em todo o espaço de pesquisa e focar-se apenas nas regiões mais promissoras (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

O ACO foi provido com três operadores principais para resolver problemas de otimização combinatória (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020):

- A construção de formigas artificiais;
- A atualização de feromonas;

- A criação do *daemon* (opcional - Programa que executado como um processo em *background*).

O pseudocódigo do algoritmo ACO e a sequência das fases principais são apresentados na Figura 79.

```

Initialization
while the end condition is not satisfied
    Construction phase
    Pheromone update phase
    Optional daemon action phase
end
Return the best solution

```

Figura 79 - Pseudocódigo do algoritmo de otimização de colônia de formigas (Mirjalili, Dong & Lewis, 2020; Mirjalili, 2019).

Fase de construção (*Construction phase*)

Na fase de construção, as formigas artificiais são criadas a partir de um conjunto finito de n soluções disponíveis. Cada formiga pode ser vista como um conjunto de valores retirados do conjunto principal finito (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

Na fase de construção, um componente do conjunto principal é selecionado e adicionado à formiga artificial. O processo é feito com base no mecanismo de construção da solução. Por exemplo, num sistema de formigas, cada formiga é capaz de selecionar uma aresta na sua posição atual ao resolver um problema do tipo Caixeiro Viajante ou *Traveling Salesman Problem* (TSP). Em cada iteração, uma formiga pode escolher todas as arestas não visitadas disponíveis no nó atual (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

O processo de seleção é efetuado através do uso da seguinte probabilidade (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020):

$$p_{i,j} = \frac{(\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)}{\sum(\tau_{i,j}^\alpha)(\eta_{i,j}^\beta)} \quad (15)$$

onde $\tau_{i,j}$ mostra a quantidade de feromonas das arestas i, j , α define o impacto da feromona, $\eta_{i,j}$ indica a desejabilidade da aresta i, j e β define o impacto da desejabilidade (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

A desejabilidade de uma aresta é definida através de uma função de ponderação. Esta função é principalmente heurística e atribui um valor que mostra a qualidade de uma aresta. Se a distância deve ser minimizada, $\eta_{i,j}$ pode ser definido da seguinte forma (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020):

$$\eta_{i,j} = \frac{1}{d_{i,j}} \quad (16)$$

Onde $d_{i,j}$ é o comprimento da aresta i,j .

A fase *daemon*

As formigas no algoritmo ACO comunicam entre si localmente usando o componente do fenómeno (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

Esta fase adiciona uma unidade de controlo centralizada para auxiliar as formigas na procura da melhor solução para um determinado problema de otimização. Nesta fase, podem ser usadas diferentes técnicas para influenciar a pesquisa. Por exemplo, o melhor caminho em cada iteração pode ser mantido ou outras procuras locais podem ser integradas em cada formiga artificial, sendo que esta etapa é muito semelhante ao elitismo em algoritmos evolucionários (Mirjalili, 2019; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020).

9.3.3. Aplicação do Modelo de Otimização

O modelo de otimização de colónia de formigas foi aplicado com base na avaliação de riscos ergonómicos inerentes à execução das tarefas, tendo sido excluída a aplicação fundamentada na avaliação de riscos gerais, visto que para a aplicação deste modelo de otimização baseada na avaliação de riscos gerais, seriam necessários dados adicionais, detalhados, referentes aos critérios de segurança relativamente aos riscos associados a cada tarefa, não tendo sido possível sua obtenção através da literatura.

Assim, com base nos resultados obtidos no Capítulo 7, relativamente à avaliação de riscos ergonómicos, procedeu-se à otimização do planeamento das atividades associadas ao processo produtivo, tendo sido considerados quatro cenários (Tabela 57), os quais incluem ambas as épocas em estudo, durante e após a vindima, tendo sido diferenciados os dois processos produtivos, com e sem a produção de vinho Madeira (com inclusão e exclusão da área específica de estufagem respetivamente). O modelo de otimização foi baseado num algoritmo de otimização de colónia de formigas, cujo objetivo residiu na redução dos custos associados ao dispêndio de energia metabólica determinados para cada atividade cuja em MatLab se encontra no Apêndice VII.

Tabela 57 - Cenários estabelecidos para a aplicação dos modelos de otimização.

| Cenários | Épocas | Perfil de produção vinícola | Tipos de avaliação | Objetivo e modelo de otimização |
|----------|------------------------------|--|--------------------|--|
| 1 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira (com processo de estufagem) | Riscos ergonômicos | Otimização do desempenho das atividades ou tarefas |
| 2 | Baixa (período após vindima) | | | |
| 3 | Alta (durante a vindima) | Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto | | Algoritmo de otimização de colônia de formigas |
| 4 | Baixa (período após vindima) | (sem processo de estufagem) | | |

Relativamente aos *inputs*/parâmetros iniciais para a aplicação do modelo, para cada cenário foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- Número inicial de formigas = 50
- Número máximo de iterações = 30
- Concentração inicial de feromonas (CF_i), a qual é calculada através da seguinte equação:

$$CF_i = \frac{10}{Na \times Ca_m} \quad (17)$$

Onde Na corresponde ao número de arestas, Ca o comprimento de cada aresta e Ca_m à média do comprimento das arestas.

- Matriz inicial das feromonas = 1 (para todas as arestas)
- Desejabilidade de cada aresta, determinada da seguinte forma:

$$\eta = \frac{1}{Ca} \quad (18)$$

- Velocidade de evaporação das feromonas: 0,5 (escala de valores entre 0 a 1)
- Parâmetros exponenciais das feromonas: $\alpha = 1$
- Parâmetro exponencial de desejabilidade: $\beta = 1$
- Dimensão das arestas, calculada do seguinte modo, de acordo com os elementos dos vetores de posição x e y :

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (19)$$

- Vetor de posição (x) = n^o sequencial atribuído a cada nodo de acordo com a afinidade entre as diferentes tarefas

- Vetor de posição (y) = Equivalente metabólico atribuído a cada nó (tarefa) de acordo com a avaliação de riscos ergonômicos efetuada

Com a exceção dos vetores de posição x e y , todos os restantes parâmetros foram mantidos constantes, sendo comuns em todos os cenários estabelecidos. Dada a morosidade das simulações nos cenários mais longos, foi estabelecido um limite de três simulações para cada cenário e trinta iterações por simulação.

Relativamente à estrutura dos grafos obtidos, estes representam a estrutura da sequência das atividades a executar ao longo do processo produtivo em cada cenário, de acordo com as respetivas afinidades ou precedências, tendo em consideração o peso dos equivalentes metabólicos associados, de acordo com a avaliação de riscos ergonômicos efetuada no capítulo 7.

A representação dos nodos foi efetuada num sistema de coordenadas cartesianas, onde o eixo das coordenadas x representa a sequência das atividades a executar ao longo do processo produtivo em cada cenário, de acordo com as respetivas afinidades ou precedências, enquanto que o eixo das coordenadas y diz respeito aos equivalentes metabólicos (MET) associados a cada atividade/tarefa, de acordo com a avaliação de riscos ergonômicos efetuada. Deste modo, os nodos (atividades) encontram-se distribuídos ao longo de um plano com duas dimensões e organizados de acordo com as respetivas coordenadas de MET e de sequência de tarefa. No que concerne à dimensão dos grafos, esta encontra-se diretamente relacionada com o número de atividades laborais estabelecidas para cada cenário.

Através da aplicação do modelo de otimização a cada um dos cenários foram obtidos três diferentes tipos grafos, sendo que no primeiro encontram-se representadas todas as iterações estabelecidas entre todos nodos.

No segundo grafo, encontra-se representado o caminho mais curto entre o nó inicial (tarefa 1) e o nó final (última tarefa), caminho este que se encontra representado sob a forma de ponte dupla, onde um dos ramos é mais curto do que o outro.

Relativamente ao terceiro grafo, este ilustra a disseminação das feromonas, evidenciando os caminhos com maior concentração de feromonas.

Adicionalmente foi efetuada a representação da evolução da otimização do caminho mais curto no decurso da execução das iterações.

9.3.3.1. Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta

Neste cenário, a aplicação do modelo de otimização foi efetuada com base na avaliação dos riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica que ocorre durante a execução das várias atividades inerentes ao processo produtivo, conforme apresentado na Tabela 58, tendo sido considerado o processo de produção de vinho Madeira, durante a época alta (durante a vindima).

Tabela 58 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, incluindo a produção de vinho Madeira na época de vindima (alta).

| | Atividades | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|----|---|--|--------------|
| 1 | Receção e descarga das uvas | 5,9 | Moderado |
| 2 | Seleção/triagem das uvas | 5,0 | Moderado |
| 3 | Desengace/Esmagamento | 5,3 | Moderado |
| 4 | Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 5 | Clarificação de mostos | 6,9 | Pesado |
| 6 | Preparação do mosto | 5,8 | Moderado |
| 7 | Controlo da Fermentação Alcoólica | 5,0 | Moderado |
| 8 | Verificação/acompanhamento da Maceração | 4,7 | Moderado |
| 9 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | 5,8 | Moderado |
| 10 | Sangria/Desencuba | 5,7 | Moderado |
| 11 | Esgotamento/Prensagem | 5,9 | Moderado |
| 12 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | 5,8 | Moderado |
| 13 | Fortificação (adição de aguardente vínica) | 5,8 | Moderado |
| 14 | Ajustes enológicos | 5,6 | Moderado |
| 15 | Elaboração de lotes base | 5,8 | Moderado |
| 16 | Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 17 | Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 18 | Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 19 | Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | Pesado |
| 20 | Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | Pesado |
| 21 | Estufagem (Produção de vinho Madeira) | 5,2 | Moderado |
| 22 | Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | Pesado |
| 23 | Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 24 | Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 25 | Correções finais | 5,6 | Moderado |
| 26 | Receção de materiais de embalagem | 3,7 | Leve |
| 27 | Despaletização | 3,4 | Leve |

| Atividades | | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|------------|------------------------------|---|----------|
| 28 | Enxaguamento de garrafas | 4,9 | Moderado |
| 29 | Enchimento | 4,9 | Moderado |
| 30 | Rolhamento ou vedação | 4,9 | Moderado |
| 31 | Capsulagem | 4,9 | Moderado |
| 32 | Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | Moderado |
| 33 | Encaixotamento | 4,9 | Moderado |
| 34 | Fecho e marcação das caixas | 4,9 | Moderado |
| 35 | Paletização | 4,2 | Moderado |
| 36 | Armazenagem | 4,7 | Moderado |
| 37 | Expedição | 4,5 | Moderado |

Inputs/parâmetros iniciais específicos deste cenário para a aplicação do modelo:


- Vetor de posição 1 (x) = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37]
- Vetor de posição 2 (y) = [5,9 5,0 5,3 4,7 6,9 5,8 5,0 4,7 5,8 5,7 5,9 5,8 5,8 5,6 5,8 4,5 6,0 4,7 6,1 6,3 5,2 6,3 4,5 6,0 5,6 3,7 3,4 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,2 4,7 4,5]

9.3.3.1.1. Resultados Obtidos para o Cenário 1

Neste cenário foram efetuadas três simulações, cujos principais resultados se encontram resumidos na Tabela 59. Entre as simulações efetuadas foi selecionada como solução otimizada a simulação mais viável em termos de maior operacionalidade de processos, menor valor de caminho mais curto e maior proporcionalidade entre os ramos do grafo.

Tabela 59 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 1 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colônias de formigas).

| | | Simulações | | |
|--|-------------------|---------------------------|--|---|
| | | A | B | C |
| Valor de caminho inicial | | 189,86 | 183,96 | 178,68 |
| Valor de caminho mais curto | | 78,48 | 79,83 | 80,17 |
| Nº de ramos na estrutura do grafo | | 2 | 2 | 2 |
| Ramo A | Sequências | 1-2-3-5-6-7-8-16-18-22-37 | 1-2-3-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-17-19-20-21-22-24-25-26-28-29-30-31-32-35-34-36-37 | 1-2-3-5-6-17-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37 |

| | | Simulações | | |
|-----------------------|--|---|-----------------------|--|
| | | A | B | C |
| Ramo A | Nº de nós | 11 | 31 | 21 |
| | Dimensões (D _A) = $\sum arestas_{Ramo A}$ | 38,19 | 43,20 | 40,86 |
| Ramo B | Sequências | 1-4-9-10-11-12-13-14-15-17-19-20-21-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37 | 1-4-16-18-23-27-33-37 | 1-4-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-18-19-20-21-22-37 |
| | Nº de nós | 28 | 8 | 18 |
| | Dimensões D _B = $\sum arestas_{Ramo B}$ | 40,29 | 36,63 | 39,32 |
| Simulação mais viável | |  | | |

A simulação considerada como melhor, foi a simulação A, que embora apresente a maior desproporcionalidade em termos de número de nós entre os ramos, possui, no entanto, uma proporcionalidade equilibrada em termos de tamanhos entre ramos, sendo de 38,19 para o ramo A e 40,29 para o ramo B, permitindo obter uma boa rotatividade/alternância entre as sequências de tarefas com equivalentes metabólicos mais elevados e as tarefas com valores mais baixos. Para além deste facto, a simulação seleccionada (A) possui o caminho mais curto de menor valor, sendo de 78,48.

A Figura 80 mostra o grafo da solução obtida para a otimização do planeamento das atividades de produção para a época alta (durante a vindima), com indicação dos vários níveis de dispêndio de energia metabólica em METs, observando-se as cinco atividades mais exigentes em termos ergonómicos localizadas na área à laranja, as duas atividades menos exigentes na área verde e as restantes atividades na área moderada de cor amarela, sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do caminho mais curto através do gráfico constante no Apêndice VIII, bem como o grafo respeitante à respetiva disseminação de feromonas nos diferentes percursos ao longo das iterações.

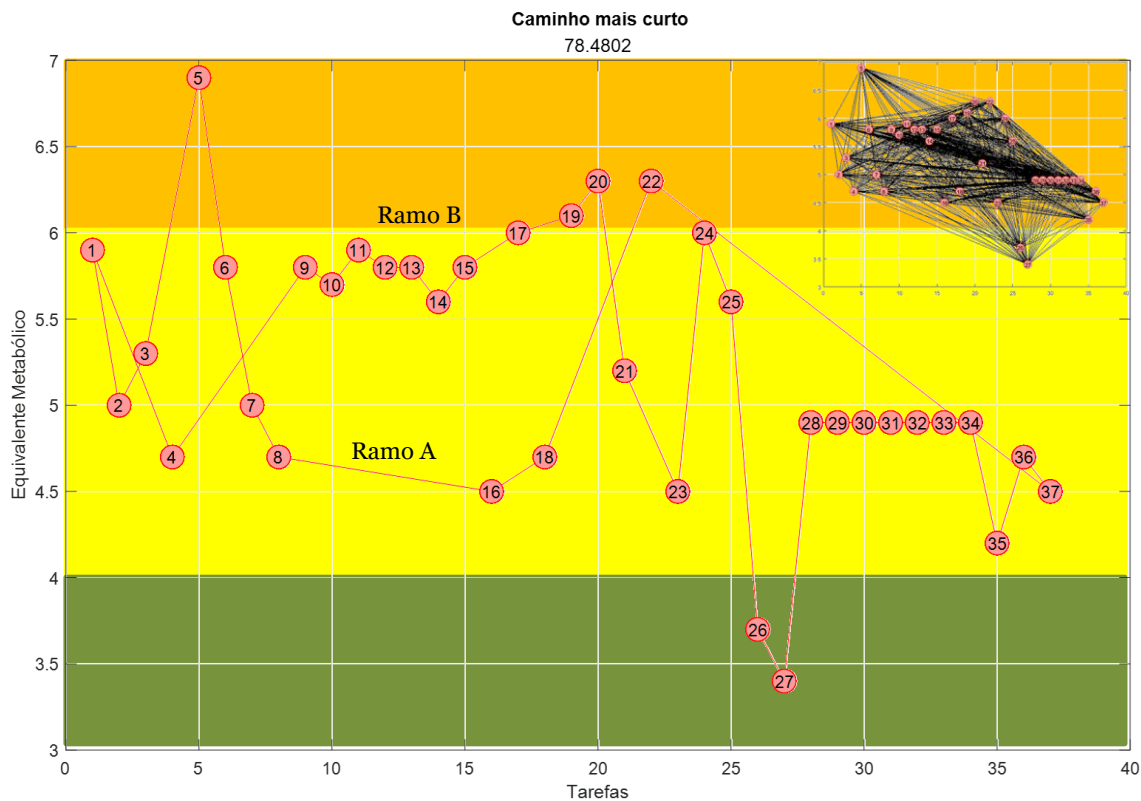


Figura 80 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, incluindo a produção de vinho Madeira, na época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto).

Através dos resultados obtidos (Figura 80) é possível verificar que as tarefas que possuem uma maior afinidade, e conseqüentemente arestas mais curtas, encontram-se distribuídas em seqüência ao longo do ramo B, enquanto que as restantes se encontram distribuídas no ramo A.

Através da análise da Figura 80, verifica-se a existência de um bom encadeamento entre as tarefas, em termos de eficiência da operacionalização de processos, passando a existir um maior equilíbrio no que concerne à prevenção de potenciais riscos ergonômicos, através da rotatividade de tarefas mais exigentes em termos ergonômicos, destacando-se as tarefas que possuem equivalentes metabólicos mais baixos (igual ou inferiores a 5) ao longo da seqüência de atividades nos ramos onde se encontram inseridas, as quais contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, sendo indicadas na Tabela 60.

Tabela 60 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 1.

| Minimização do custo global: valores de MET iguais ou inferiores a 5 | | | Aumento do custo global: valores de MET superiores a 5 | |
|--|--|------------------------------|---|---------------------------|
| Ramos | Atividades | Nº total de atividades | Atividades | Nº total de atividades |
| A | 2, 7, 8, 16, 18, 37 | 6 | 3, 5, 6, 22, | 4 |
| B | 4, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 | 14 | 1, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 24, 25 | 14 |

Deste modo, no ramo A existem seis atividades com valores de MET inferiores a 5 e cinco atividades com valores de MET superiores a 5, verificando-se uma certa simetria ao longo do ramo A em termos de valores de MET.

Analogamente, no ramo B existem catorze atividades com valores de MET inferiores a 5 e catorze atividades com valores de MET superiores a 5, verificando-se assim uma simetria na distribuição de tarefas ao longo do ramo A em termos de valores de MET.

Deste modo, os resultados sugerem a formação de duas equipas para a execução das tarefas desde a receção das uvas (tarefa 1) até respetiva vinificação (tarefa 12), com sequências de seis a sete tarefas, as quais possam laborar em regime de alternância/rotatividade.

Para a execução das tarefas desde a fortificação dos vinhos (tarefa 13) até a realização das correções finais (tarefa 25), com sequências de três a dez tarefas, seria recomendável a formação de duas equipas, em regime de laboração com alternância/rotatividade.

Finalmente, seria aconselhável a formação de uma equipa para a execução das tarefas desde a receção dos materiais de embalagem (tarefa 26), passando pelo engarrafamento, até o processo de expedição (tarefa 37), com uma sequência de doze tarefas, sendo a última partilhada com as outras equipas.

9.3.3.1.2. Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

Neste segundo cenário, foi efetuada a aplicação do modelo de otimização com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica durante a execução das atividades inerentes ao processo produtivo, conforme a Tabela 61, tendo em consideração o processo com produção de vinho Madeira, durante a época baixa

(após a vindima). É de salientar que para este cenário foram excluídas as atividades relacionadas com a época de vindima, designadamente as atividades relacionadas com a receção de uvas, e com os processos de vinificação e fermentação. Deste modo, a sequência de atividades é iniciada com a atividade 1 (estabilização/clarificação), a qual corresponde à atividade 16 na sequência de atividades completa, incluindo as atividades específicas da época de vindima.

Tabela 61 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, incluindo a produção de vinho Madeira na época após a vindima (época baixa).

| Atividades | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|---|---|----------|
| 1 Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 2 Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 3 Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 4 Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | Pesado |
| 5 Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | Moderado |
| 6 Estufagem (Produção de vinho Madeira) | 5,2 | Moderado |
| 7 Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | Pesado |
| 8 Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 9 Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 10 Correções finais | 5,6 | Moderado |
| 11 Receção de materiais de embalagem | 3,7 | Leve |
| 12 Despaletização | 3,4 | Leve |
| 13 Enxaguamento de garrafas | 4,9 | Moderado |
| 14 Enchimento | 4,9 | Moderado |
| 15 Rolhamento ou vedação | 4,9 | Moderado |
| 16 Capsulagem | 4,9 | Moderado |
| 17 Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | Moderado |
| 18 Encaixotamento | 4,9 | Moderado |
| 19 Fecho e marcação das caixas | 4,9 | Moderado |
| 20 Paletização | 4,2 | Moderado |
| 21 Armazenagem | 4,7 | Moderado |
| 22 Expedição | 4,5 | Moderado |


Inputs/parâmetros iniciais específicos deste cenário para a aplicação do modelo:

- Vetor de posição 1 (x) = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22]
- Vetor de posição 2 (y) = [4,5 6,0 4,7 6,1 6,3 5,2 6,3 4,5 6,0 5,6 3,7 3,4 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,2 4,7 4,5]

9.3.3.1.3. Resultados Obtidos para o Cenário 2

Para este cenário foram efetuadas três simulações, cujos principais resultados se encontram resumidos na Tabela 62. Foi selecionada uma simulação como solução otimizada, sendo a mais viável em termos de maior operacionalidade de processos, com menor valor de caminho mais curto e maior proporcionalidade entre os ramos do grafo.

Tabela 62 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 2 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colônias de formigas).

| | | Simulações | | |
|------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|
| | | A | B | C |
| Valor de caminho inicial | | 76,90 | 81,49 | 68,32 |
| Valor de caminho mais curto | | 44,70 | 45,27 | 45,54 |
| Ramo A | Sequências | 1-2-7-9-10-13-14-15-16-17-18-19-22 | 1-2-4-5-6-7-9-10-22 | 1-2-4-5-6-7-9-10-11-12-22 |
| | Nº de nós | 13 | 9 | 11 |
| | Dimensões (D_A) = $\sum \text{arestas}_{\text{Ramo A}}$ | 22,02 | 22,95 | 24,15 |
| Ramo B | Sequências | 1-3-4-5-6-8-11-12-20-21-22 | 1-3-8-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22 | 1-3-8-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22 |
| | Nº de nós | 11 | 15 | 13 |
| | Dimensões (D_B) = $\sum \text{arestas}_{\text{Ramo B}}$ | 22,68 | 22,32 | 21,39 |
| Simulação mais viável | |  | | |

A simulação A foi considerada como a melhor, visto que apresenta o caminho mais curto de menor valor, sendo de 44,70, e possui uma proporcionalidade entre ramos equilibrada, com dimensões de 22,02 para o ramo A e 22,68 para o ramo B, permitindo assim uma maior rotatividade/alternância entre as sequências de tarefas com equivalentes metabólicos mais elevados e as tarefas com valores mais baixos.

A Figura 81 mostra a solução selecionada, de entre as três simulações efetuadas, para a otimização do planeamento das atividades de produção para a época baixa (após o período de vindima), com indicação dos vários níveis de dispêndio de energia metabólica em METs, sendo possível observar as cinco atividades mais exigentes em termos ergonômicos localizadas na área laranja, as duas atividades menos exigentes na área verde e as restantes atividades na área moderada de cor amarela. Relativamente à evolução do processo de minimização do caminho mais curto, é possível acompanhá-lo

através do gráfico constante no Apêndice VIII, bem como observar o grafo respeitante à respectiva disseminação de feromonas nos diferentes percursos ao longo das iterações.

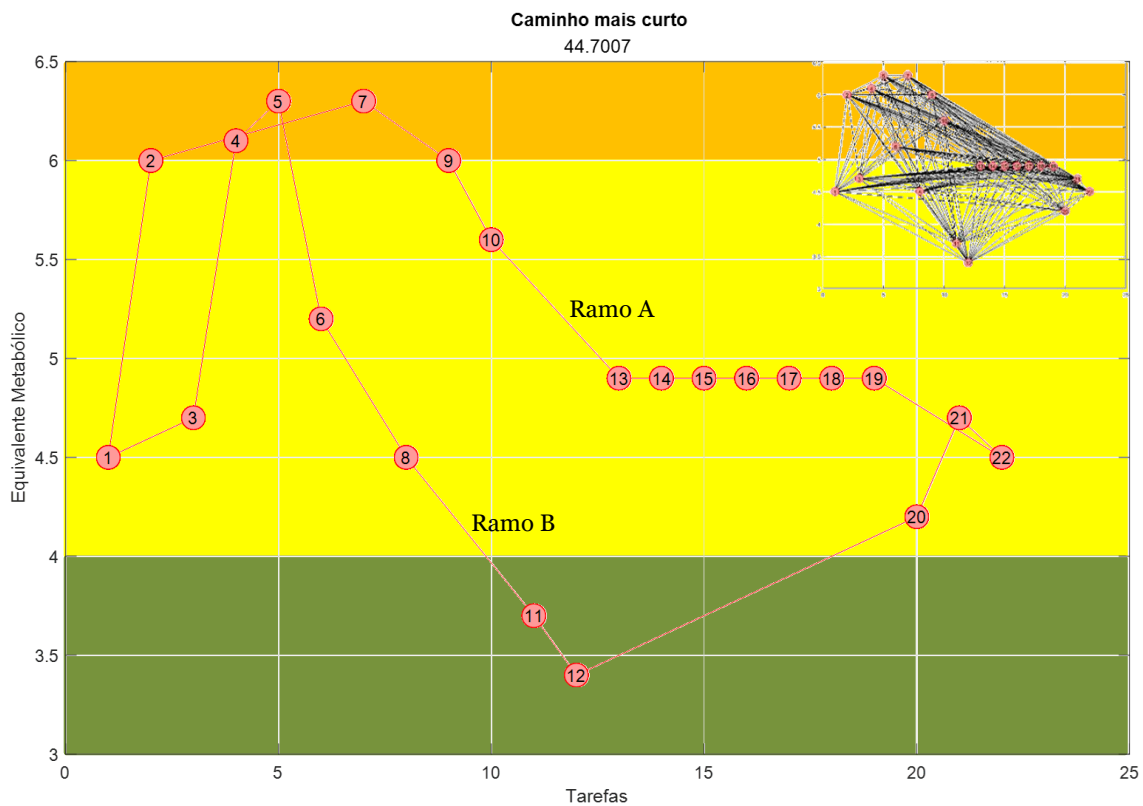


Figura 81 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, incluindo a produção de vinho Madeira, após a época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto).

De acordo com os resultados obtidos (Figura 81) é possível constatar que as tarefas que possuem uma maior afinidade, e conseqüentemente arestas mais curtas, encontram-se distribuídas em seqüência ao longo do ramo A, enquanto que as restantes se encontram distribuídas no ramo B.

Através da análise da Figura 81, verifica-se a existência de um encadeamento entre as tarefas favorável à uma eficiente operacionalização de processos, passando a existir um maior equilíbrio no que concerne à prevenção de potenciais riscos ergonómicos, através da rotatividade de tarefas mais exigentes em termos ergonómicos.

É de destacar que existem tarefas que possuem equivalentes metabólicos mais reduzidos (igual ou inferiores a 5) ao longo da seqüência de atividades nos ramos correspondentes, as quais contribuem significativamente para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, cujas proporções se encontram indicadas na Tabela 63.

Tabela 63 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 2.

| Minimização do custo global: valores de MET iguais ou inferiores a 5 | | | Aumento do custo global: valores de MET superiores a 5 | |
|--|-----------------------------------|------------------------|--|------------------------|
| Ramos | Atividades | Nº total de atividades | Atividades | Nº total de atividades |
| A | 1, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22 | 9 | 2, 7, 9, 10 | 4 |
| B | 1, 3, 8, 11, 12, 20, 21, 22 | 8 | 4, 5, 6, | 3 |

Assim, através da Tabela 63, verifica-se que em ambos os ramos existe uma desproporcionalidade favorável à minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, facto que se deve ao maior número de atividades com valores de MET inferiores a 5.

Os resultados obtidos para este cenário sugerem a formação de duas equipas para a execução das tarefas desde o processo de estabilização/clarificação (tarefa 1) até a elaboração das correções finais nos vinhos (tarefa 10), com sequências de cinco a seis tarefas, as quais possam laborar em regime de alternância/rotatividade.

Finalmente, seria aconselhável a formação de duas equipas para a execução das tarefas desde a receção dos materiais de embalagem (tarefa 11), passando pelo engarrafamento, até o processo de expedição (tarefa 22), com uma sequência de cinco a oito tarefas, sendo a última partilhada com as outras equipas.

9.3.3.1.4. Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

A aplicação do modelo de otimização para este cenário, foi efetuada com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica, o qual ocorre durante a execução das várias atividades inerentes ao processo produtivo, conforme a Tabela 64, tendo sido considerado o processo sem processo de estufagem, durante a época alta (durante a vindima).

Tabela 64 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, no período de vindima (época alta), excluindo o processo de estufagem.

| Atividades | | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|------------|---|---|----------|
| 1 | Receção e descarga das uvas | 5,9 | Moderado |
| 2 | Seleção/triagem das uvas | 5,0 | Moderado |
| 3 | Desengace/Esmagamento | 5,3 | Moderado |
| 4 | Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 5 | Clarificação de mostos | 6,9 | Pesado |
| 6 | Preparação do mosto | 5,8 | Moderado |
| 7 | Controlo da Fermentação Alcoólica | 5,0 | Moderado |
| 8 | Verificação/acompanhamento da Maceração | 4,7 | Moderado |
| 9 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | 5,8 | Moderado |
| 10 | Sangria/Desencuba | 5,7 | Moderado |
| 11 | Esgotamento/Prensagem | 5,9 | Moderado |
| 12 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | 5,8 | Moderado |
| 13 | Fortificação (adição de aguardente vínica) | 5,8 | Moderado |
| 14 | Ajustes enológicos | 5,6 | Moderado |
| 15 | Elaboração de lotes base | 5,8 | Moderado |
| 16 | Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 17 | Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 18 | Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 19 | Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | Pesado |
| 20 | Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | Pesado |
| 21 | Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | Pesado |
| 22 | Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 23 | Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 24 | Correções finais | 5,6 | Moderado |
| 25 | Receção de materiais de embalagem | 3,7 | Leve |
| 26 | Despaletização | 3,4 | Leve |
| 27 | Enxaguamento de garrafas | 4,9 | Moderado |
| 28 | Enchimento | 4,9 | Moderado |
| 29 | Rolhamento ou vedação | 4,9 | Moderado |
| 30 | Capsulagem | 4,9 | Moderado |
| 31 | Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | Moderado |
| 32 | Encaixotamento | 4,9 | Moderado |
| 33 | Fecho e marcação das caixas | 4,9 | Moderado |
| 34 | Paletização | 4,2 | Moderado |
| 35 | Armazenagem | 4,7 | Moderado |
| 36 | Expedição | 4,5 | Moderado |


Inputs/parâmetros iniciais específicos deste cenário para a aplicação do modelo:

- Vetor de posição 1 (x) = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36]
- Vetor de posição 2 (y) = [5,9 5,0 5,3 4,7 6,9 5,8 5,0 4,7 5,8 5,7 5,9 5,8 5,8 5,6 5,8 4,5 6,0 4,7 6,1 6,3 6,3 4,5 6,0 5,6 3,7 3,4 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,2 4,7 4,5]

9.3.3.1.5. Resultados Obtidos para o Cenário 3

Foram efetuadas três simulações para este terceiro cenário, cujos principais resultados se encontram resumidos na Tabela 65. Entre as simulações efetuadas foi selecionada como solução otimizada a simulação mais viável em termos de maior operacionalidade de processos, menor valor de caminho mais curto e maior proporcionalidade entre os ramos do grafo.

Tabela 65 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 3 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colônias de formigas).

| | | Simulações | | |
|------------------------------------|---|--|--|---|
| | | A | B | C |
| Valor de caminho inicial | | 164,59 | 159,91 | 183,41 |
| Valor de caminho mais curto | | 76,17 | 76,37 | 76,44 |
| Ramo A | Sequências | 1-2-3-4-17-22-36 | 1-2-4-3-5-16-22-25-26-36 | 1-2-3-4-6-7-8-19-20-21-23-36 |
| | Nº de nós | 7 | 10 | 12 |
| | Dimensões (D_A) = $\sum arestas_{Ramo A}$ | 35,84 | 38,56 | 36,38 |
| Ramo B | Sequências | 1-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-18-19-20-21-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36 | 1-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-17-18-19-20-21-23-24-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36 | 1-5-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-22-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36 |
| | Nº de nós | 31 | 28 | 26 |
| | Dimensões (D_A) = $\sum arestas_{Ramo A}$ | 40,33 | 37,81 | 40,06 |
| Simulação mais viável | | | |  |

Uma vez que a variação em relação aos caminhos mais curtos entre as simulações realizadas seja reduzida, a simulação C foi considerada como solução otimizada, pelo que, embora a simulação C apresente o valor ligeiramente mais elevado em relação às restantes, é a simulação que apresenta uma maior proporcionalidade entre ramos, com

dimensões de 36,38 para o ramo A e 40,06 para o ramo B, permitindo assim uma maior rotatividade/alternância entre as sequências de tarefas com equivalentes metabólicos mais elevados e as tarefas com valores mais baixos.

A Figura 82 mostra o grafo da solução obtida para a otimização do planeamento das atividades de produção para a época alta (durante a vindima), com indicação dos vários níveis de dispêndio de energia metabólica em METs, observando-se as cinco atividades mais exigentes em termos ergonómicos localizadas na área à laranja, as duas atividades menos exigentes na área verde e as restantes atividades na área moderada de cor amarela, sendo possível acompanhar a evolução do processo de minimização do caminho mais curto através do gráfico constante no Apêndice VIII, bem como o grafo respeitante à respetiva disseminação de feromonas nos diferentes percursos ao longo das iterações.

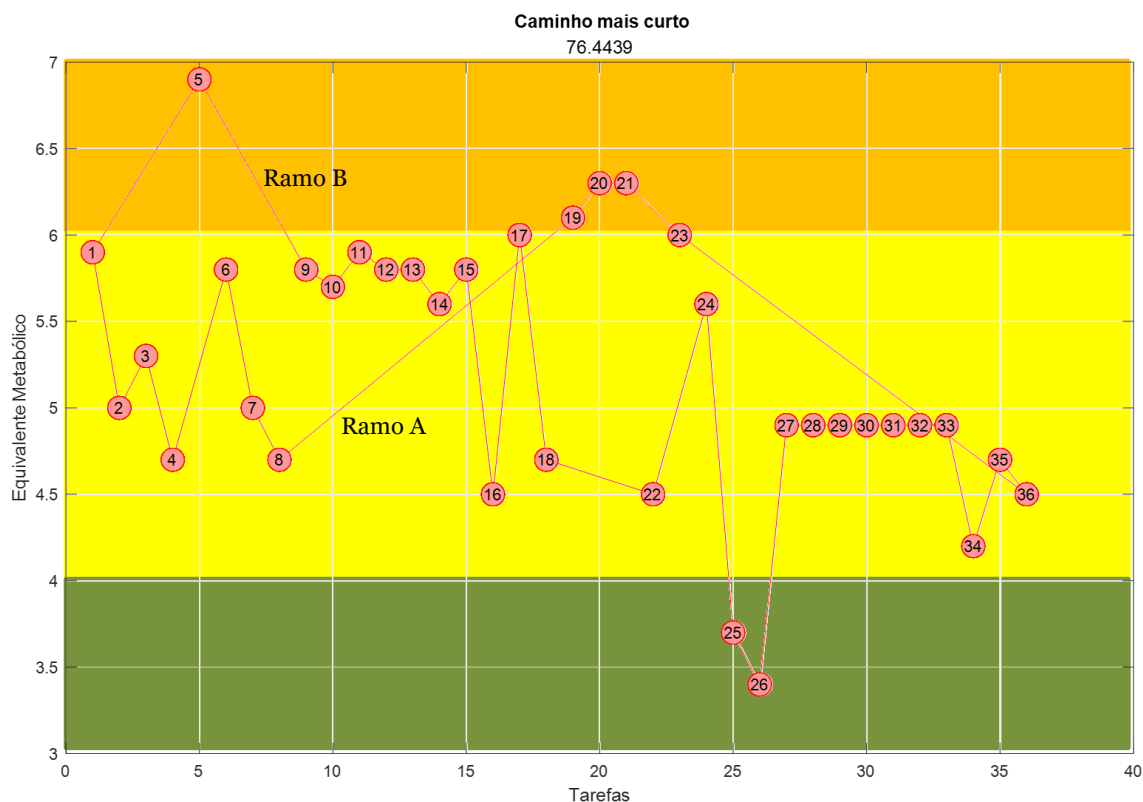


Figura 82 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, excluindo o processo de estufagem, na época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto).

Através dos resultados obtidos (Figura 82) é possível verificar que, analogamente ao cenário 1, as tarefas que possuem uma maior afinidade, e conseqüentemente arestas mais curtas, encontram-se distribuídas maioritariamente em sequência ao longo do ramo B, enquanto que as restantes se encontram distribuídas no ramo A.

Através da análise do grafo na Figura 82, verifica-se a existência de um bom encadeamento entre as tarefas, em termos de eficiência da operacionalização de processos, passando a existir um maior equilíbrio no que concerne à prevenção de potenciais riscos ergonômicos, através da rotatividade de tarefas mais exigentes em termos ergonômicos, destacando-se as tarefas que possuem equivalentes metabólicos mais baixos (igual ou inferiores a 5) ao longo da sequência de atividades nos ramos onde se encontram inseridas, as quais contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, conforme apresentadas na Tabela 66.

Tabela 66 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 3.

| Minimização do custo global: valores de MET iguais ou inferiores a 5 | | | Aumento do custo global: Valores de MET superiores a 5 | |
|---|--|---------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Ramos | Atividades | Nº total de atividades | Atividades | Nº total de atividades |
| A | 2, 4, 7, 8, 36 | 5 | 1, 3, 6, 19, 20, 21, 23 | 7 |
| B | 16, 18, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 | 15 | 1, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 24 | 11 |

Através da Figura 82, verifica-se uma certa assimetria ao longo do ramo A, em termos de valores de MET, verificando-se um aumento do custo global, devido à maior quantidade de tarefas com valores de MET superiores a 5, existindo, no entanto, apenas uma atividade com valor de MET superior a 6.

Analogamente, no ramo B também se verifica uma assimetria, em termos de MET, na distribuição das atividades, sendo que no geral, existe uma tendência para a minimização do custo global, visto que existe um maior número de tarefas que apresentam valores de MET iguais ou inferiores a 5, embora existam quatro tarefas que apresentam níveis de MET superiores a 6.

Assim, de forma análoga ao cenário 1, os resultados sugerem a formação de duas equipas para a execução das tarefas desde a receção das uvas (tarefa 1) até respetiva vinificação (tarefa 12), com sequências de seis a sete tarefas, as quais podem laborar em regime de alternância/rotatividade.

Para a execução das tarefas desde a fortificação dos vinhos (tarefa 13) até a realização das correções finais (tarefa 25), com sequências de quatro a nove tarefas, seria recomendável a formação de duas equipas, em regime de laboração com alternância/rotatividade.

Finalmente, seria aconselhável a formação de uma equipa para a execução das tarefas desde a receção dos materiais de embalagem (tarefa 26), passando pelo engarrafamento, até o processo de expedição (tarefa 37), com uma sequência de onze tarefas, sendo a última partilhada com as outras equipas.

9.3.3.1.6. Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

Neste último cenário, foi efetuada a aplicação do modelo de otimização com base na avaliação de riscos ergonómicos associados ao gasto de energia metabólica durante a execução das atividades inerentes ao processo produtivo, conforme a Tabela 67, com exclusão do processo de estufagem, durante a época baixa (após a vindima).

É de salientar que para este cenário foram excluídas as atividades relacionadas com a época de vindima, designadamente as atividades relacionadas com a receção de uvas, e com os processos de vinificação e Fermentação.

Tabela 67 - Resumo das energias metabólicas despendidas no exercício das diversas atividades do processo produtivo, após a vindima (época baixa), excluindo o processo de estufagem.

| Atividades | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|---|---|----------|
| 1 Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 2 Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 3 Sulfitagem | 4,7 | Moderado |
| 4 Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | Pesado |
| 5 Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | Moderado |
| 6 Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | Pesado |
| 7 Estabilização/Clarificação | 4,5 | Moderado |
| 8 Filtragem | 6,0 | Pesado |
| 9 Correções finais | 5,6 | Moderado |
| 10 Receção de materiais de embalagem | 3,7 | Leve |
| 11 Despaletização | 3,4 | Leve |
| 12 Enxaguamento de garrafas | 4,9 | Moderado |
| 13 Enchimento | 4,9 | Moderado |
| 14 Rolhamento ou vedação | 4,9 | Moderado |

| Atividades | Estimativa de dispêndio de energia metabólica (MET) | Nível |
|---------------------------------|---|----------|
| 15 Capsulagem | 4,9 | Moderado |
| 16 Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | Moderado |
| 17 Encaixotamento | 4,9 | Moderado |
| 18 Fecho e marcação das caixas | 4,9 | Moderado |
| 19 Paletização | 4,2 | Moderado |
| 20 Armazenagem | 4,7 | Moderado |
| 21 Expedição | 4,5 | Moderado |

Inputs/parâmetros iniciais específicos deste cenário para a aplicação do modelo:

- Vetor de posição 1 (x) = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21]
- Vetor de posição 2 (y) = [4,5 6,0 4,7 6,1 6,3 6,3 4,5 6,0 5,6 3,7 3,4 4,9 4,9 4,9 4,9 4,9 4,2 4,7 4,5]

9.3.3.1.7. Resultados Obtidos para o Cenário 4

Foram efetuadas três simulações para este cenário, sendo que os principais resultados se encontram resumidos na Tabela 68. Foi selecionada uma simulação como solução otimizada, sendo a mais viável em termos de maior operacionalidade de processos, com menor valor de caminho mais curto e maior proporcionalidade entre os ramos do grafo.

Tabela 68 - Síntese dos resultados nas três simulações obtidas para o cenário 4 através do modelo de otimização (algoritmo de otimização de colônias de formigas).

| | | Simulações | | |
|------------------------------------|---|---|---------------------------------------|---|
| | | A | B | C |
| Valor de caminho inicial | | 66,17 | 74,41 | 70,43 |
| Valor de caminho mais curto | | 41,59 | 42,74 | 43,29 |
| Ramo A | Sequências | 1-2-4-5-6-8-9-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 1-2-4-5-6-8-10-11-21 | 1-2-4-5-6-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 |
| | Nº de nós | 17 | 9 | 19 |
| | Dimensões (D_A) $= \sum \text{arestas}_{\text{Ramo A}}$ | 21,36 | 22,00 | 23,28 |
| Ramo B | Sequências | 1-3-7-10-11-21 | 1-3-7-9-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 | 1-3-7-21 |
| | Nº de nós | 6 | 14 | 4 |
| | Dimensões (D_A) $= \sum \text{arestas}_{\text{Ramo A}}$ | 20,22 | 20,74 | 20,01 |

| | | Simulações | | |
|-----------------------|--|------------|---|---|
| | | A | B | C |
| Simulação mais viável | | ✓ | | |

A simulação A foi considerada como a mais viável por possuir um valor mais baixo para o caminho mais curto, bem como por apresentar uma maior proporcionalidade entre ramos suficientemente adequada, em termos de número de nós, cujas dimensões são 21,36 para o ramo A (com 17 nós) e 20,22 para o ramo B (com 6 nós), permitindo assim uma maior possibilidade de rotatividade/alternância entre sequências de tarefas com equivalentes metabólicos mais elevados, e as tarefas que possuem valores mais baixos.

A Figura 83 mostra a solução selecionada, de entre as três simulações efetuadas, para a otimização do planeamento das atividades de produção para a época baixa (após o período de vindima), com indicação dos vários níveis de dispêndio de energia metabólica em METs, sendo possível observar as atividades mais exigentes em termos ergonómicos localizadas na área à laranja, as atividades menos exigentes na área verde e as restantes atividades na área moderada de cor amarela. Relativamente à evolução do processo de minimização do caminho mais curto, é possível acompanhá-lo através do gráfico constante no Apêndice VIII, bem como observar o grafo respeitante à respetiva disseminação de feromonas nos diferentes percursos ao longo das iterações.

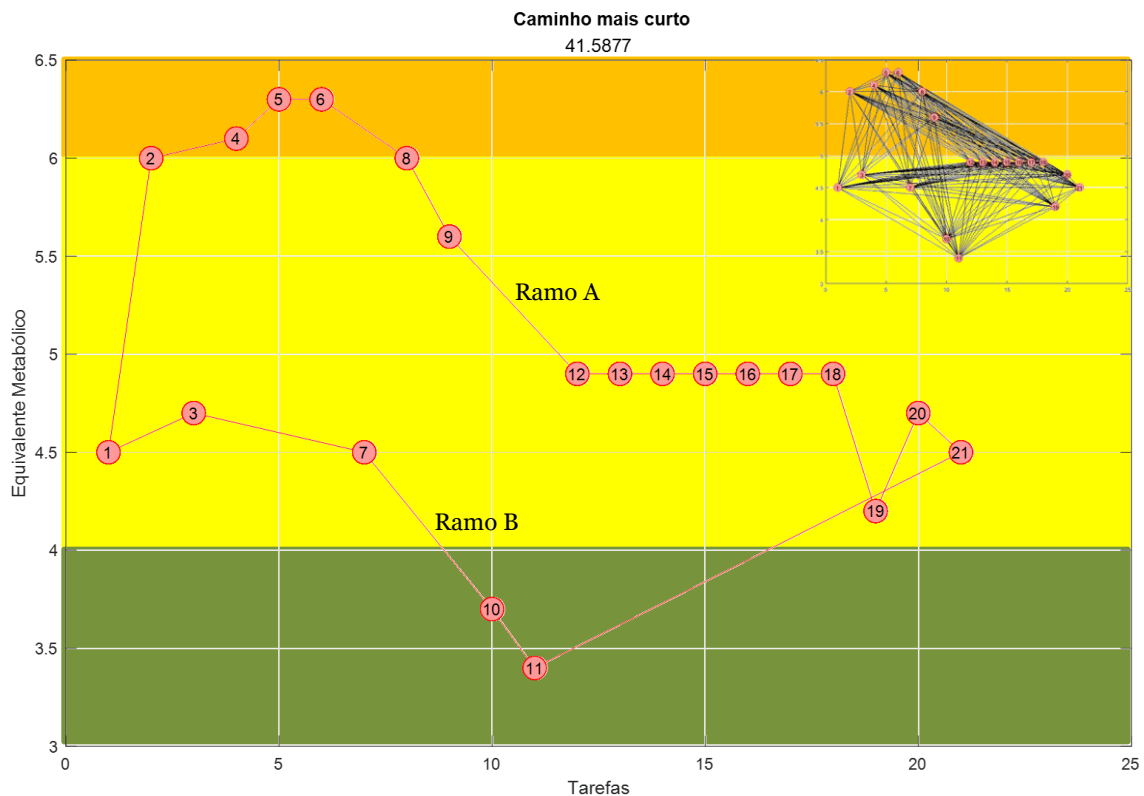


Figura 83 - Representação do grafo contendo as interligações entre as principais atividades do processo produtivo do setor vinícola, excluindo o processo de estufagem, após a época de vindima, ao menor custo (caminho mais curto).

De acordo com os resultados obtidos (Figura 83) é possível constatar que as tarefas que possuem uma maior afinidade, e conseqüentemente arestas mais curtas, encontram-se distribuídas em seqüência ao longo do ramo A, enquanto que as restantes se encontram distribuídas no ramo B.

Através da análise da Figura 83, verifica-se a existência de um encadeamento entre as tarefas favorável à uma eficiente operacionalização de processos, passando a existir um maior equilíbrio no que concerne à prevenção de potenciais riscos ergonômicos, através da rotatividade de tarefas mais exigentes em termos ergonômicos, sendo de destacar que existem tarefas que possuem equivalentes metabólicos mais reduzidos (igual ou inferiores a 5) ao longo da seqüência de atividades nos ramos correspondentes, as quais contribuem significativamente para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, como é possível observar através da Tabela 69.

Tabela 69 - Resumo das atividades que contribuem de forma mais significativa, para a minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica relativamente ao cenário 2.

| Minimização do custo global: valores de MET iguais ou inferiores a 5 | | | Aumento do custo global: valores de MET superiores a 5 | |
|---|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| Ramos | Atividades | Nº total de atividades | Atividades | Nº total de atividades |
| A | 1, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 | 11 | 2, 4, 5, 6, 8, 9 | 6 |
| B | 1, 3, 7, 10, 11, 21 | 6 | Não existem | 0 |

Assim, através da Tabela 69, verifica-se que em ambos os ramos existem uma desproporcionalidade favorável à minimização do custo global em termos de dispêndio de energia metabólica, facto que se deve ao maior número de atividades com valores de MET inferiores a 5.

Os resultados obtidos para este cenário sugerem a formação de duas equipas para a execução das tarefas desde o processo de estabilização/clarificação (tarefa 1) até a elaboração das correções finais nos vinhos (tarefa 10), com sequências de cinco a seis tarefas, as quais possam laborar em regime de alternância/rotatividade, e uma equipa para a execução das tarefas desde a receção dos materiais de embalagem (tarefa 11), passando pelo engarrafamento, até o processo de expedição (tarefa 22), com uma sequência de onze tarefas, havendo partilha e cooperação com as outras equipas.

9.4. Método de Escolha de Ferramentas da Indústria 4.0 Apropriadas à Minimização de Riscos Ergonómicos

Existem muitos tipos de incerteza inerentes aos problemas do mundo real, sendo necessárias uma variedade de técnicas para modelá-los (Nguyen & Walker, 2006).

Os conjuntos difusos ou *fuzzy logic* lida com o tipo de incerteza que ocorre quando os limites de uma classe de objetos não são definidos com precisão. A distribuição em classes é uma questão de grau, e não de certezas, sendo que de uma forma ou de outra, a especificação é feita matematicamente através de conjuntos difusos (Nguyen & Walker, 2006).

A ambiguidade é um tipo de incerteza que pode ocorrer de várias maneiras. Por exemplo, se algum parâmetro num sistema de controlo só é conhecido se estiver dentro de um determinado intervalo, então existe uma incerteza associada em relação a qualquer valor nominal que seja escolhido dentro desse intervalo para esse parâmetro (Nguyen & Walker, 2006).

Outro tipo de incerteza está relacionado com a aleatoriedade, exemplificada pela incerteza do resultado de alguma experiência, como como por exemplo, o lançamento de um par de dados, ou as observações feitas num sistema físico. A aleatoriedade é normalmente modelada usando a teoria da probabilidade. Ou seja, os resultados são considerados observações de variáveis aleatórias e essas variáveis aleatórias têm leis de distribuição. Estas leis podem não ser conhecidas, no entanto cada variável aleatória tem rege-se por única lei. Este aspeto contrasta com o facto de que diferentes funções de pertinência podem ser atribuídas ao mesmo conceito *fuzzy*. Sendo que a probabilidade e os graus de associação são aspetos distintos (Nguyen & Walker, 2006).

9.4.1. Abordagem Teórica do Modelo de Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0 baseado em Lógica Difusa

A teoria dos conjuntos difusos ou Lógica Difusa é uma teoria matemática projetada para modelar a imprecisão dos processos cognitivos humanos (Lootsma, 1997).

A Lógica Difusa ou *Fuzzy Logic* fornece modelos apropriados, de acordo com a capacidade dos seres humanos, para categorizar coisas, sem verificar se satisfazem algum tipo de definição inequívoca, mas comparando-as com exemplos prototípicos (característicos) das categorias em questão. Por exemplo, a classe de pássaros não é

claramente definida por regras abstratas, sendo vagamente descrita por exemplos típicos, de modo que os seres humanos possam decidir facilmente se certos animais, tais como os tordos, as águias, os corvos, as avestruzes e os morcegos, pertencem à classe dos pássaros, ou em que grau certos objetos, como as armas, facas, clavas, chicotes e tesouras, fazem parte da classe de armas. Assim, este modo de operação favorece a comunicação humana (Lootsma, 1997).

Da mesma forma, a maioria das cadeiras tem quatro apoios, mas com o passar do tempo os designers criaram muitas variações, sendo que esta evolução raramente é constrangedora para observadores humanos, ou seja, é possível facilmente reunir uma concordância em relação ao facto de que algumas peças de mobiliário tipicamente pertencem mais à classe de cadeiras do que outras (Lootsma, 1997).

Potencialmente, a teoria dos conjuntos difusos ou *Fuzzy Logic* é um ramo importante da Investigação Operacional, proporcionando ferramentas para a quantificação de declarações verbais imprecisas e para a classificação de resultados em termos analíticos e de decisão (Lootsma, 1997).

Normalmente, quando as decisões são preparadas, uma quantidade considerável de informações imprecisas com conotação quantitativa é transmitida via linguagem natural. Exemplos bem conhecidos são os indicadores de frequência como: quase nunca, raramente, às vezes, frequentemente, principalmente e quase sempre. Eles são significativos, embora apenas num contexto específico (Lootsma, 1997).

Uma vez que as decisões são invariavelmente feitas dentro de um determinado contexto, o julgamento gradativo também deve ser considerado dentro de uma estrutura particular, dado o aumento da subjetividade quando são considerados outros contextos (Lootsma, 1997).

Geralmente, a classificação ou categorização e a quantificação do julgamento verbal são atividades opostas. O cálculo da probabilidade de ocorrência de um acidente, por exemplo, não indica se a ação proposta é perfeitamente segura, razoavelmente segura, um tanto arriscada, perigosa ou imprudente, embora estes termos, e não os próprios números, transmitam a mensagem necessária para tomada de decisão real (Lootsma, 1997).

A essência da *Fuzzy Logic* assenta na capacidade humana de categorizar e rotular as categorias mediante uma linguagem natural que, apesar de sua imprecisão, promove a cooperação humana (Lootsma, 1997).

9.4.2. Design do Modelo de Seleção

A ferramenta *Fuzzy Logic* foi introduzida em 1965, por Lotfi Zadeh, como uma ferramenta matemática para lidar com a incerteza. A ferramenta oferece ao *software* de computação o importante conceito de computação através de palavras, proporcionando uma técnica para lidar com a imprecisão e a granularidade da informação. De um modo geral, a lógica difusa fornece uma estrutura de inferência que permite a aplicação das capacidades de raciocínio humano (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Trillas & Eciolaza, 2015; Bai & Wang, 2006; Wang & Bai, 2006).

Ao contrário, a teoria tradicional dos conjuntos binários descreve eventos nítidos, eventos que ocorrem ou não. A ferramenta *Fuzzy Logic* baseia-se na teoria da probabilidade para explicar se um evento ocorrerá, medindo a possibilidade de um determinado evento ocorrer. A teoria da lógica *fuzzy* é baseada na noção de pertença gradativa relativa, assim como as funções de pensamento intelectual e processos cognitivos (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A utilidade dos conjuntos difusos reside na capacidade de modelar dados incertos ou ambíguos os quais são frequentemente encontrados na vida real. De acordo com a Figura 84, um sistema de lógica difusa aceita dados imprecisos e afirmações vagas como baixo, médio, alto, e fornece decisões (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

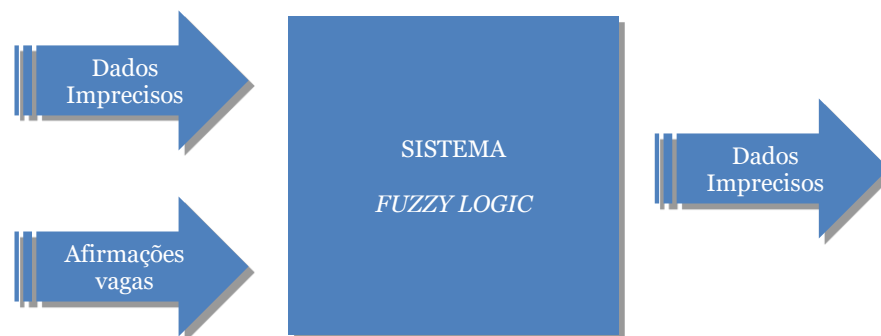


Figura 84 - Exemplificação de um sistema de lógica difusa (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

Os conjuntos difusos fornecem meios para modelar a incerteza associada à imprecisão e falta de informação sobre um problema (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A incerteza surge da ignorância, do acaso e da aleatoriedade, devido à falta de conhecimento, da imprecisão (obscura), como a imprecisão existente na nossa linguagem natural. Lotfi Zadeh propôs a ideia de um conjunto de membros para tomar decisões adequadas quando ocorrer incerteza (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

Lotfi Zadeh formou conjuntos difusos como os conjuntos num universo X que podem acomodar os "graus de pertença". O conceito de conjunto *fuzzy* contrasta com o conceito clássico de conjunto bivalente (conjunto nítido ou *crisp*), cuja fronteira deve ser precisa, ou seja, um conjunto nítido é uma coletânea de elementos para a qual se sabe se qualquer elemento se encontra incluído ou não. Zadeh generalizou a ideia de um conjunto nítido estendendo um conjunto de avaliação $\{1, 0\}$ (definitivamente dentro / definitivamente fora) para um intervalo de valores reais (graus de pertença) entre 1 e 0 denotado como $[0,1]$ (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; El Alaoui, 2021).

Assim, é possível afirmar que o grau de pertença de qualquer elemento particular de um conjunto *fuzzy* expressa o grau de compatibilidade do elemento com um conceito representado por conjunto *fuzzy*. Isto significa que um dado conjunto A contém um objeto x ao grau $a(x)$, ou seja, $a(x) = \text{Grau}(x \in A)$, e o mapa $a: X \rightarrow \{\text{Graus de pertença ou membership}\}$ é chamado de função de conjunto ou função de pertença (*Membership*) (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Trillas & Eciolaza, 2015).

O conjunto difuso A pode ser expresso como $A = \{(x, a(x))\}$, $x \in X$, e impõe uma restrição flexível em relação aos valores possíveis dos elementos $x \in X$ denominada de distribuição de possibilidade. Assim, os conjuntos difusos tendem a capturar elementos vagos exclusivamente através de funções de pertença que são mapeamentos de um determinado universo X para um intervalo de unidade contendo valores de associação. É importante observar que a associação pode assumir valores entre 0 e 1. A imprecisão descreve a ambiguidade de um evento e a aleatoriedade descreve a incerteza na ocorrência de um evento. Em geral, pode ser visto em conjuntos clássicos que não há incerteza, portanto, eles têm limites nítidos, mas no caso de um conjunto *fuzzy*, uma vez que a incerteza ocorre, os limites podem ser especificados de forma ambígua (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Trillas & Eciolaza, 2015; El Alaoui, 2021).

Na Figura 85 pode-se notar que a é claramente um membro do conjunto *fuzzy* P , que c claramente não é um membro do conjunto *fuzzy* P , e a associação de b é considerada vaga. Portanto, a pode assumir o valor de pertença 1, c pode assumir o valor de pertença 0 e b pode assumir o valor de pertença entre 0 e 1 $[0 \text{ a } 1]$. Estas relações são definidas

como fazendo parte de um membro parcial do conjunto difuso P (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

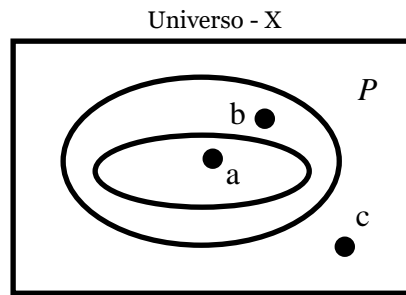


Figura 85 - Região limite de um conjunto difuso (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A função de pertinência de um conjunto mapeia cada elemento do conjunto para um valor de pertinência entre 0 e 1 e descreve exclusivamente esse mesmo conjunto. Os valores 0 e 1 descrevem “não pertencente a” e “pertencente a” um conjunto convencional, respetivamente; os valores intermediários representam "imprecisão" (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A determinação da função de pertinência é subjetiva em vários graus, dependendo da situação. Assim, a função de pertinência depende da percepção de um indivíduo sobre os dados em questão e não da aleatoriedade. Este facto é importante e distingue a teoria dos conjuntos difusos da teoria da probabilidade (Figura 86) (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

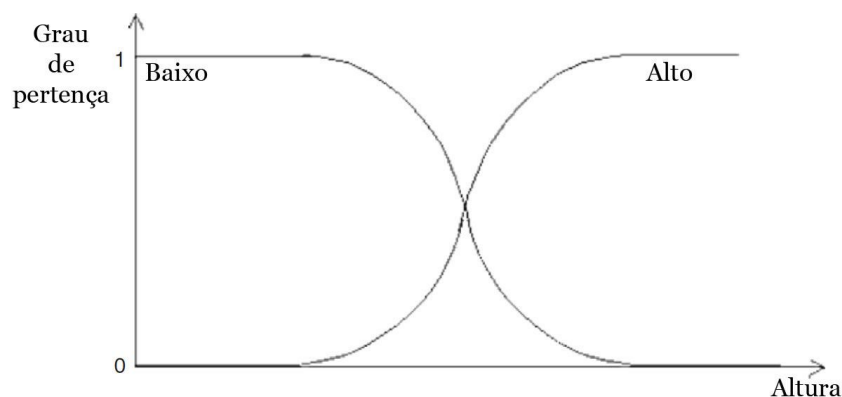


Figura 86 - O sistema difuso define "alto" e "baixo" (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

Na prática, a lógica *fuzzy* significa computação de palavras. Uma vez que a computação com palavras é possível, os sistemas computadorizados podem ser construídos incorporando a experiência humana articulada na linguagem diária. A lógica *fuzzy* também é denominada de mecanismo de inferência difusa ou base de regra difusa, sendo

que o sistema pode realizar raciocínios aproximados, um tanto semelhantes, mas muito mais primitivo, em relação ao cérebro humano (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Bai & Wang, 2006; Wang & Bai, 2006).

Embora, apenas certos aspetos da linguagem natural podem ser representados pelo cálculo de conjuntos difusos, a lógica difusa continua a ser uma das formas mais práticas de imitar a perícia humana de maneira realista. A abordagem difusa baseia-se no princípio de que os humanos não representam classes de objetos como totalmente separados, mas sim como conjuntos nos quais pode haver graus de associação intermédios entre pertença total e não pertença. Assim, um conjunto *fuzzy* funciona como um conceito que possibilita tratar a *fuzzy* de forma quantitativa (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Bai & Wang, 2006; Wang & Bai, 2006).

Os conjuntos difusos formam os blocos de construção para regras IF – THEN difusas que têm a forma geral “SE X é A ENTÃO Y é B,” onde A e B são conjuntos difusos. O termo “sistemas *fuzzy*” refere-se principalmente a sistemas que são governados por regras Fuzzy IF – THEN. A parte IF de uma implicação é chamada de antecedente, enquanto a segunda parte THEN é um conseqüente. Um sistema *fuzzy* consiste num conjunto de regras *fuzzy* que converte entradas em saídas. A configuração básica de um sistema *fuzzy* puro é apresentada na Figura 87 (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007; Bai & Wang, 2006; Wang & Bai, 2006).

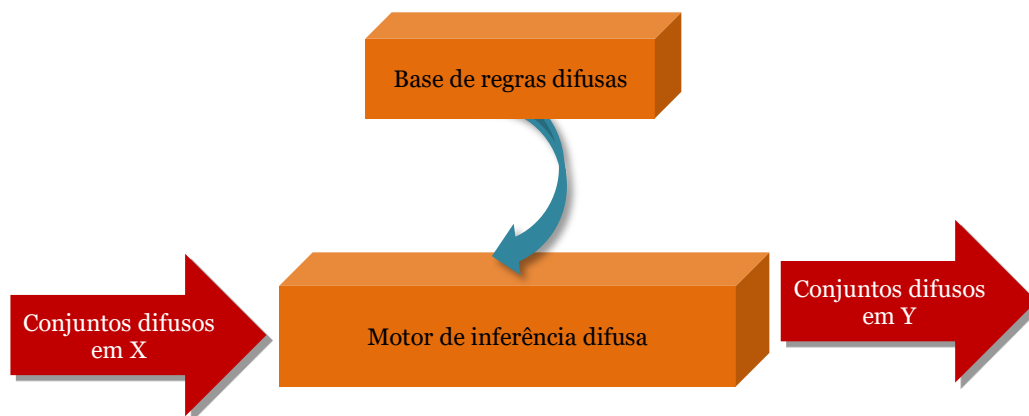


Figura 87 - Configuração de um sistema *fuzzy* puro (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

O mecanismo de inferência *fuzzy* (algoritmo) combina regras *fuzzy* IF – THEN num mapeamento de conjuntos *fuzzy* no espaço de entrada X para conjuntos *fuzzy* no espaço de saída Y com base em princípios de lógica *fuzzy*. Do ponto de vista da representação do conhecimento, uma regra difusa IF – THEN é um esquema criado com o intuito de capturar conhecimento que envolve imprecisão. A principal característica do raciocínio

usando estas regras é sua capacidade de correspondência parcial, a qual permite que uma inferência seja feita a partir de uma regra difusa, mesmo quando a condição da regra é apenas parcialmente satisfeita (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

Os sistemas *fuzzy* são, por um lado, sistemas baseados em regras construídos a partir de uma coleção de regras linguísticas, por outro, são mapeamentos não lineares de entradas (estímulos) para saídas (respostas), ou seja, certos tipos de sistemas *fuzzy* podem ser escritos como fórmulas não lineares compactas. As entradas e saídas podem ser números ou vetores de números. Estes sistemas baseados em regras no modelo teórico representam qualquer sistema com precisão arbitrária, ou seja, funcionam como aproximadores universais (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A limitação de um sistema difuso reside nas regras, ou seja, a criação de regras inteligentes originam sistemas inteligentes, enquanto que outras regras podem favorecer sistemas menos inteligentes (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

O número de regras aumenta exponencialmente com a dimensão do espaço de entrada (número de variáveis do sistema), sendo que este fenómeno é denominado de princípio de dimensionalidade, o qual tem sido um problema geral para a aplicação de modelos matemáticos, sendo que nos últimos anos, como forma de superar este problema, têm sido desenvolvidas várias abordagens baseadas na junção e fusão da decomposição (cluster) (Sivanandam, Sumathi & Deepa, 2007).

A implementação da técnica de lógica difusa numa aplicação real, consiste em três etapas, as quais são descritas de seguida (Bai & Wang, 2006; Wang & Bai, 2006):

1. Fuzzificação – consiste em converter os dados clássicos ou dados nítidos em dados *fuzzy* ou funções de pertinência (MFs);
2. Processo de inferência difusa ou *Fuzzy Inference Process* – tem como objetivo combinar as funções de pertinência com as regras de controlo, de modo a derivar a saída *fuzzy*;
3. Defuzzificação – são utilizados diferentes métodos para o cálculo de cada saída associada, colocando-os numa tabela denominada tabela de pesquisa. Na tabela de pesquisa são selecionadas as saídas com base nas entradas atuais no decurso da aplicação.

9.4.3. Aplicação do Modelo de Seleção

O Método de Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0, baseado em lógica difusa, com vista a minimização de riscos ergonômicos foi criado através da *Toolbox Fuzzy Logic* da aplicação MatLab, a qual assenta na utilização/interação de cinco módulos, de acordo com a Figura 88.

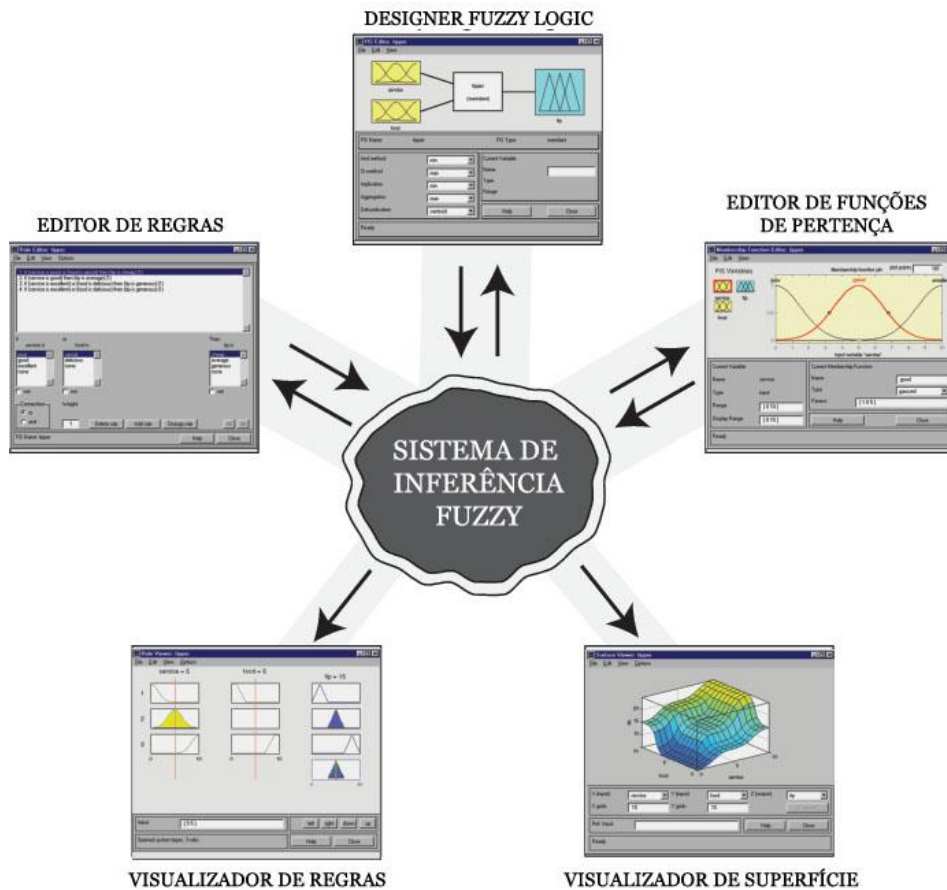


Figura 88 - Os 5 principais módulos da *Toolbox Fuzzy Logic* da aplicação MatLab (The MathWorks Inc., 2021).

A aplicação do método assentou em três etapas:

1. Design do método: O método foi fundamentado numa estrutura baseada em sete variáveis, sete regras e sete *outputs* possíveis, estrutura que foi criada através do *Fuzzy Logic Designer* da *Fuzzy Logic Toolbox* do MatLab (Figura 89).

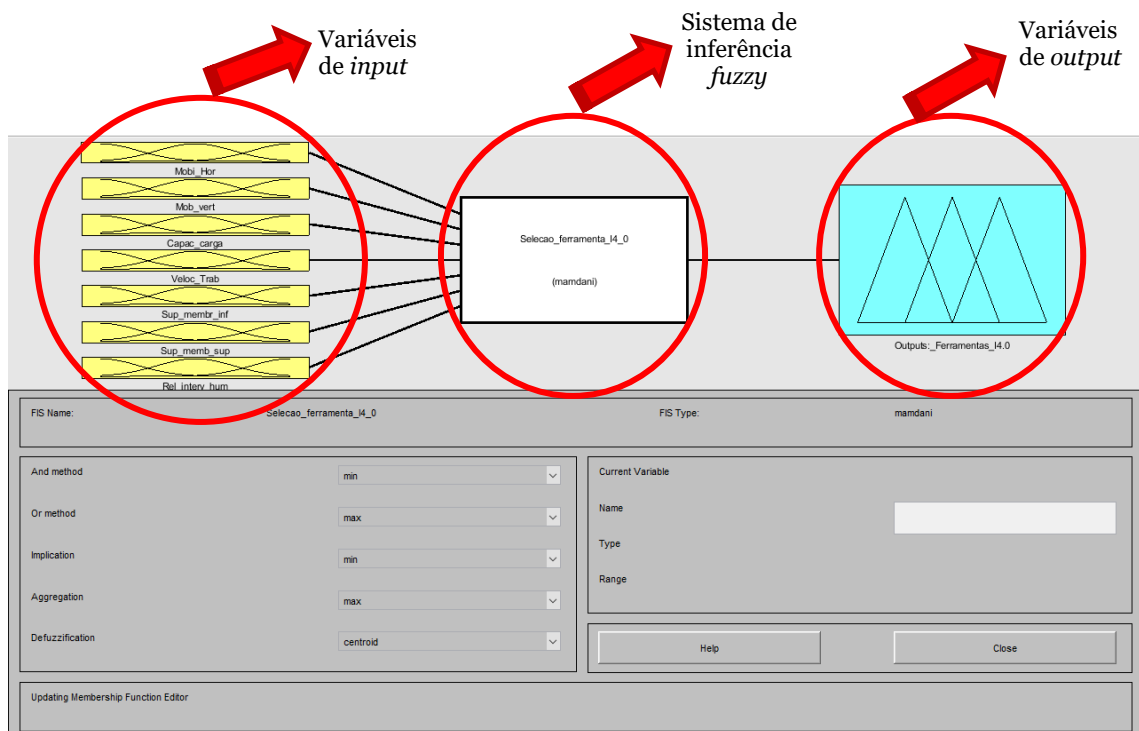


Figura 89 - Design da estrutura do método de seleção.

Criação das variáveis: Através do *Membership Function Editor* foram criadas sete variáveis, de acordo com os requisitos das atividades selecionadas:

1. Mobilidade horizontal;
2. Mobilidade vertical;
3. Capacidade de transporte de carga;
4. Velocidade/ritmo de trabalho;
5. Suporte aos membros inferiores;
6. Suporte aos membros superiores;
7. Relevância da intervenção humana.

Para cada uma das variáveis foram criadas três funções de pertença ou *Memberships functions com distribuição gaussiana*, as quais correspondem a três atributos: reduzida, baixa, média e boa, existindo uma exceção para o caso da variável relevância da intervenção humana, a qual se baseia numa distribuição triangular e apenas possui dois atributos: relevante e não relevante.

Relativamente à variável de *output*, esta foi criada com sete atributos, os quais correspondem às ferramentas de Indústria 4.0 mais adequadas à minimização dos riscos ergonômicos.

É de salientar que as variáveis de *output* variam numa escala de 0 a 60, enquanto que as restantes variam ao longo de uma escala entre 0 a 20.

No que se refere às regras criadas, as quais se encontram descritas no Apêndice IX, estas foram fundamentadas nas possíveis interações entre as variáveis criadas, de acordo com a natureza das atividades/tarefas e o potencial de aplicabilidade de cada ferramenta da Indústria 4.0.

Regra 1 - Seleção do sistema integrado e automatizado:

Mobilidade horizontal: Boa;

Mobilidade vertical: Boa;

Capacidade de transporte de carga: Boa;

Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;

Suporte aos membros inferiores: Não considerada;

Suporte aos membros superiores: Não considerada;

Relevância da intervenção humana: Não relevante.

Regra 2 - Seleção do robô autónomo:

Mobilidade horizontal: Boa;

Mobilidade vertical: Média;

Capacidade de transporte de carga: Boa;

Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;

Suporte aos membros inferiores: Não considerada;

Suporte aos membros superiores: Não considerada;

Relevância da intervenção humana: Não relevante.

Uma vez que a presença humana não é relevante para a execução da tarefa em questão, o apoio aos membros superiores e inferiores não foram considerados nas regras 1 e 2.

Regra 3 - Seleção do robô colaborativo ou *cobot*:

Mobilidade horizontal: Reduzida;

Mobilidade vertical: Média;

Capacidade de transporte de carga: Boa;

Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;

Suporte aos membros inferiores: Não considerada;

Suporte aos membros superiores: Não considerada;
Relevância da intervenção humana: Relevante.

Embora a presença humana seja relevante para a execução da tarefa em questão, o apoio aos membros superiores e inferiores não foram considerados nesta regra, pois trata-se de um sistema não vestível.

Regra 4 - Seleção do exosqueleto com apoio para o corpo inteiro:

Mobilidade horizontal: Boa;
Mobilidade vertical: Boa;
Capacidade de transporte de carga: Boa;
Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;
Suporte aos membros inferiores: Boa;
Suporte aos membros superiores: Boa;
Relevância da intervenção humana: Relevante.

Regra 5 - Seleção do exosqueleto com apoio para os membros superiores do corpo:

Mobilidade horizontal: Reduzida;
Mobilidade vertical: Boa;
Capacidade de transporte de carga: Boa;
Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;
Suporte aos membros inferiores: Reduzida;
Suporte aos membros superiores: Boa;
Relevância da intervenção humana: Relevante.

Regra 6 - Seleção do exosqueleto com apoio para os membros inferiores do corpo:

Mobilidade horizontal: Boa;
Mobilidade vertical: Boa;
Capacidade de transporte de carga: Boa;
Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;
Suporte aos membros inferiores: Boa;
Suporte aos membros superiores: Reduzida;

Relevância da intervenção humana: Relevante.

Regra 7 - Seleção do sistema elevatório:

Mobilidade horizontal: Baixa;

Mobilidade vertical: Boa;

Capacidade de transporte de carga: Boa;

Velocidade/ritmo de trabalho: Boa;

Suporte aos membros inferiores: Boa;

Suporte aos membros superiores: Reduzida;

Relevância da intervenção humana: Relevante.

9.4.4. Resultados Obtidos

De acordo com a Tabela 81, apresentada no Apêndice IX foram selecionadas 37 atividades, com as respectivas tarefas, as quais possuem um maior impacto no aumento dos riscos ergonômicos (com METs superiores a 5,8), de acordo com a avaliação de riscos descrita no capítulo 7.

Posteriormente, foi efetuada a síntese da análise das atividades e respectivas tarefas fisicamente mais exigentes (com METs superiores a 5,8), associadas aos fatores de risco ergonômico, ao tipo de esforço relevância da presença humana e tipo de deslocação necessária, como é possível observar através da Tabela 82 localizada no Apêndice IX.

A criação do método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 apropriadas à minimização de riscos ergonômicos foi iniciado com a criação das seguintes variáveis:

1. Mobilidade horizontal;
2. Mobilidade vertical;
3. Capacidade de transporte de carga;
4. Velocidade/ritmo de trabalho;
5. Suporte aos membros inferiores;
6. Suporte aos membros superiores;
7. Relevância da intervenção humana.

Seguidamente, foram selecionadas as ferramentas da Indústria 4.0, cuja implementação pode contribuir significativamente para a minimização dos riscos ergonômicos, dada a natureza de cada tipo de atividade. As ferramentas foram:

- SE – Sistema elevatório: consiste num simples sistema de elevação, o qual embora possa ser manobrado pelo operador, possui sensores de segurança (Figura 90);



Figura 90 - Exemplo de plataforma elevatória industrial (Direct Industry, 2021).

- EMI - Exosqueletos com suporte para membros inferiores (Figura 91);



Figura 91 - Exemplo de um exosqueleto para apoio dos membros inferiores (Näf et al., 2018).

- EMS - Exosqueletos com suporte para membros superiores (Figura 92);



Figura 92 - Exemplo de um exosqueleto para apoio dos membros superiores (Gull, Bai & Bak, 2020).

- ECI - Exosqueletos com suporte para corpo inteiro (Figura 93);



Figura 93 - Exemplo de um exosqueleto com apoio para o corpo inteiro (RoboticsBiz, 2020).

- RC - Robôs colaborativos (Figura 94);

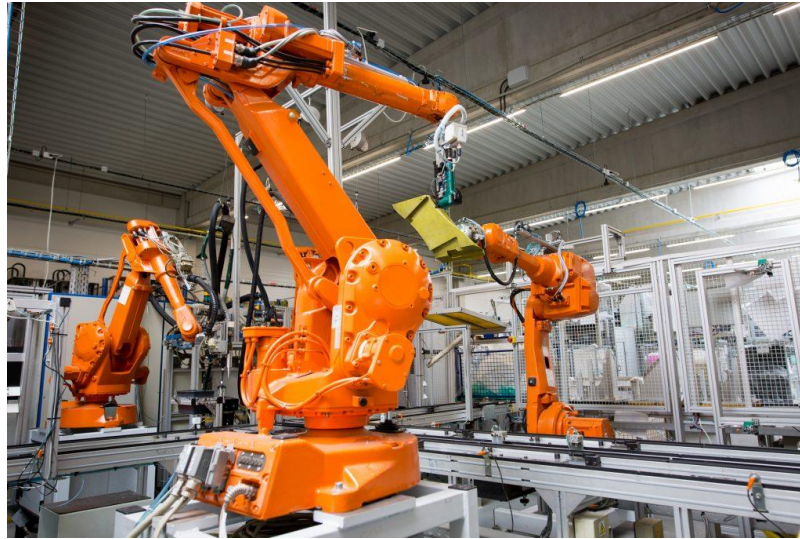


Figura 94 - Exemplo de robôs colaborativos ou *cobots* (RBR, 2019).

- RA - Robôs autônomos (Figura 95);



Figura 95 - Exemplo de um robô autônomo móvel (Spiegel, 2018).

- IAS - Integração e automatização de sistemas: consiste num sistema automatizado que permite acompanhar os processos através da obtenção de dados provenientes de diversos tipos de sondas/sensores, medidores de fluxo de líquidos e sólidos, e câmaras de vídeo, atuando sobre os processos mediante vários tipos de mecanismos, como por exemplo electroválvulas (Figura 96).



Figura 96 - Exemplo de um sistema Integrado e automatizado (Winegrid, 2021).

Finalmente, foi realizada a avaliação das principais características, que correspondem às variáveis utilizadas no método, sendo então aplicado o método de seleção, de modo a obter como resultado a ferramenta mais adequada para cada atividade, de acordo com a natureza das tarefas associadas, como se encontra exemplificado através da Figura 97, para a atividade de recepção e descarga das uvas.

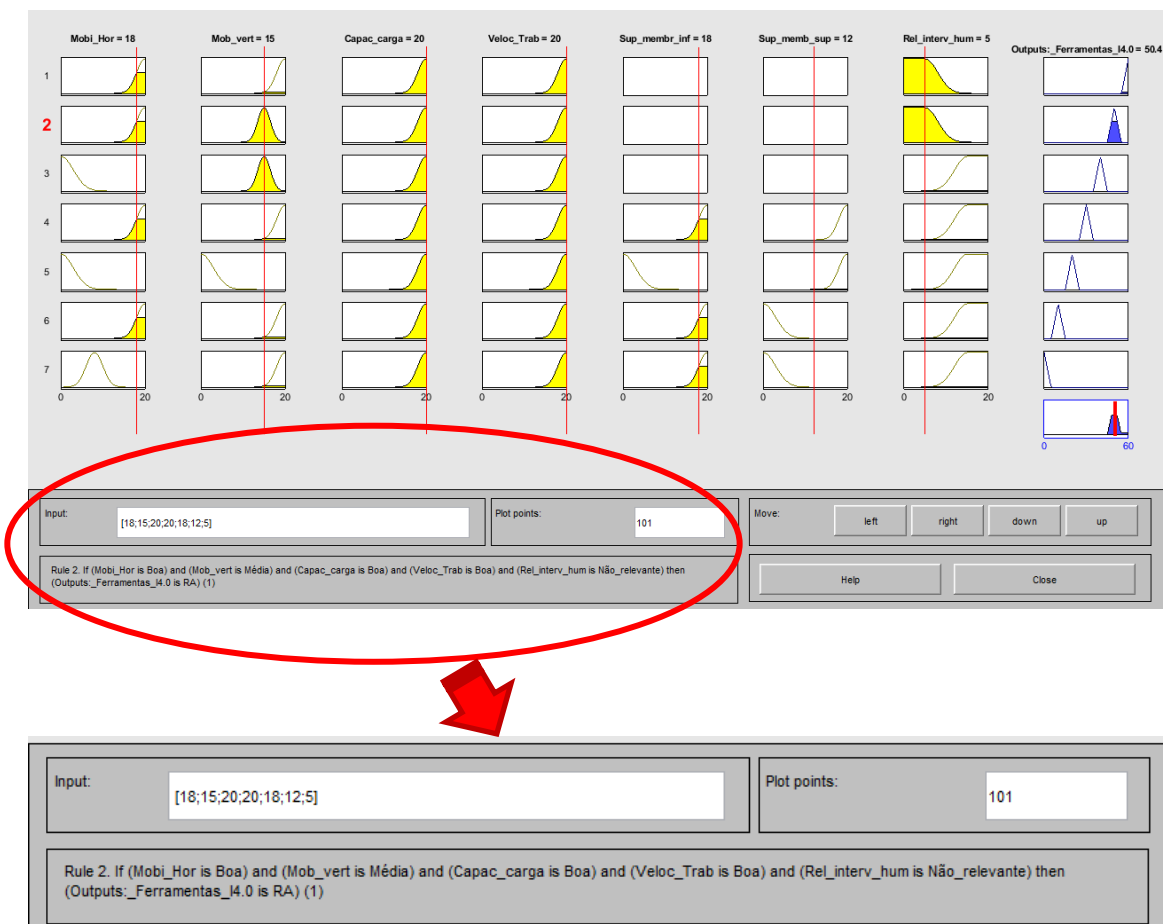


Figura 97 - Resultado obtido após aplicação do método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 à atividade recepção e descarga das uvas.

Através da Figura 97 é possível observar que a ferramenta sugerida como mais adequada, tendo em consideração os parâmetros especificados, é o robô autónomo (RA).

Analogamente, o método foi aplicado às restantes atividades, sendo que os resultados obtidos são apresentados na Tabela 70.

Tabela 70 - Resultados obtidos para cada atividade após a aplicação do método baseado em lógica difusa.

| Atividades | Avaliação das principais características | | | | | | | Ferramentas I4.0 |
|---|--|----|----|----|----|----|----|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1) Receção e descarga das uvas | 18 | 15 | 20 | 20 | 18 | 12 | 5 | RA |
| 2) Verificação/ manutenção/ limpeza de tegão | 17 | 18 | 19 | 20 | 19 | 5 | 17 | EMI |
| 3) Seleção/ triagem das uvas | 18 | 15 | 18 | 20 | 5 | 19 | 5 | RA |
| 4) Desengace/ Esmagamento | 19 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 5 | RA |
| 5) Verificação/ Manutenção de sistema de Desengace/ Esmagamento/ extração | 17 | 19 | 20 | 20 | 19 | 19 | 17 | ECI |
| 6) Sulfitagem | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 7) Clarificação de mostos | 19 | 15 | 19 | 20 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 8) Preparação do mosto | 19 | 19 | 19 | 20 | 19 | 19 | 17 | ECI |
| 9) Controlo da Fermentação Alcoólica | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 10) Verificação/ acompanham. da Maceração | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 11) Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 12) Sangria/ Desencuba | 19 | 15 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 13) Esgotamento/ Prensagem | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 14) Verificação/ Manutenção das prensas | 17 | 19 | 20 | 20 | 19 | 19 | 17 | ECI |
| 15) Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 16) Fortificação (adição de aguardente vínica) | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 17) Ajustes enológicos | 19 | 15 | 19 | 20 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 18) Elaboração de lotes base | 19 | 19 | 19 | 19 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 19) Estabilização/ Clarificação | 19 | 19 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | IAS |

| Atividades | Avaliação das principais características | | | | | | | Ferramentas I4.0 |
|--|--|----|----|----|----|----|----|------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 20) Filtragem | 19 | 15 | 19 | 20 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 21) Preparação das barricas de madeira | 5 | 15 | 19 | 20 | 5 | 19 | 17 | RC |
| 22) Armazenamento/ Estágio (barricas de madeira) | 19 | 19 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 23) Armazenamento/ Estágio (cubas inox) | 19 | 19 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 24) Estufagem (Produção de vinho Madeira) | 19 | 19 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 25) Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 19 | 19 | 20 | 20 | 17 | 17 | 17 | ECI |
| 26) Correções finais | 19 | 15 | 19 | 20 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 27) Receção de materiais de embalagem | 8 | 19 | 17 | 20 | 17 | 5 | 19 | SE |
| 28) Enxaguamento de garrafas | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 29) Enchimento | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 30) Rolhamento ou vedação | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 31) Capsulagem | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 32) Rotulagem e marcação de lote | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 33) Encaixotamento | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 34) Fecho e marcação das caixas | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |
| 35) Paletização | 17 | 15 | 19 | 20 | 5 | 5 | 5 | RA |
| 36) Armazenagem | 19 | 19 | 20 | 20 | 5 | 5 | 5 | IAS |
| 37) Expedição | 8 | 19 | 17 | 20 | 19 | 5 | 19 | SE |

Em termos globais, de acordo com a Tabela 71, os tipos de ferramenta de Indústria 4.0 mais sugeridos recaíram principalmente sobre os sistemas integrados automatizados, os robôs autónomos e os sistemas elevatórios.

Tabela 71 - Resumo das soluções encontradas para a minimização de riscos ergonómicos nas atividades laborarias selecionadas.

| Ferramentas de Indústria 4.0 sugeridas para implementação | Quantidade de atividades abrangidas pelas soluções |
|---|--|
| Integração e automatização de sistemas | 13 |
| Robô Autónomo | 9 |
| Sistema elevatório | 9 |
| Exosqueleto com apoio para o corpo inteiro | 4 |
| Robô Colaborativo | 1 |
| Exosqueleto com apoio para os membros inferiores | 1 |

9.5. Nota Conclusiva sobre os Design e Aplicação dos Modelos de Otimização

Este subcapítulo é composto por três secções, nas quais se encontram descritas as principais conclusões relativamente aos modelos de otimização e ao método seleção de ferramentas da Indústria 4.0 para minimização de riscos.

9.5.1. Otimização de *Layouts* Produtivos

Relativamente à otimização de *layouts* foi efetuada a aplicação do modelo baseado no algoritmo genético, partindo de um *layout* de referência com algumas alterações, tendo em consideração dois tipos de avaliação de riscos: a avaliação de riscos gerais ocupacionais, obtido através de revisão bibliográfica, e a avaliação de riscos ergonómicos, com base na estimativa do gasto de energia metabólica, fundamentada através de vários trabalhos (como por exemplo os trabalhos de Ainsworth et al. (1993); Ainsworth et al. (2000); Ainsworth et al. (2011), gasto de energia este que ocorre na execução das diversas tarefas inerentes ao processo de produção em cada uma das zonas estabelecidas.

Assim, com a aplicação do método de otimização, com base na diferenciação dos dois tipos de riscos, verificou-se que os processos reorganização de zonas ocorrem de forma similar em ambos os casos, sendo que as zonas com grau de perigosidade mais elevado ou índice de risco mais elevado tendem a ficar realocadas nas áreas mais internas ao edifício, enquanto que as restantes são distribuídas junto à periferia do edifício de acordo com os respetivos níveis de risco.

No que se refere à influência da época de vindima na reorganização das zonas de laboração, verifica-se que nos cenários, nos quais foi considerada a avaliação de riscos gerais, existe uma maior influência da vindima, sendo que na época de vindima existe uma tendência na realocação das áreas de fermentação, de armazenamento/envelhecimento de vinhos em barricas de madeira e de elaboração de lotes no interior do edifício, enquanto que na época baixa (após vindima) a tendência altera-se para a realocação das áreas de elaboração de lotes, de engarrafamento e expedição, sugerindo deste modo um perfil de implantação a dois níveis ou pisos.

Quanto aos cenários, nos quais foi considerada a avaliação de riscos ergonómicos, verifica-se que a época de vindima tem uma menor influência no processo de realocação de zonas, observando-se tendencialmente uma realocação das zonas de filtragem, de armazenamento/envelhecimento de vinhos em barricas de madeira e de elaboração de

lotes no interior do edifício e redistribuição das restantes zonas junto à periferia do edifício.

No que respeita ao efeito da presença da área específica de estufagem, utilizada para a produção de vinho Madeira, não se verificam efeitos significativos no processo de otimização/reorganização de zonas de trabalho, tanto nos cenários nos quais foram considerados a avaliação de riscos gerais, como nos cenários que foram considerados os riscos ergonómicos especificamente.

É de referir que em cada cenário, as simulações efetuadas convergiram para o mesmo valor mínimo, variando naturalmente em cada um dos cenários de acordo com a época, sendo que nos cenários que incluíram a época de vindima apresentam custos mais elevados, e de acordo com a inclusão ou exclusão do processo de estufagem, verificando-se custos mais elevados nos cenários que incluíram o processo de estufagem, como seria expectável.

9.5.2. Otimização do Planeamento das Atividades Laborais

No que concerne à otimização do planeamento das atividades laborais foi efetuada a aplicação do modelo baseado no algoritmo de otimização de colónia de formigas, partindo de uma sequência de tarefas usualmente aplicada ao setor, tendo em consideração a avaliação de riscos ergonómicos, com base na estimativa do gasto de energia metabólica, que ocorre na execução das diversas tarefas inerentes ao processo de produção.

O modelo de otimização foi aplicado em quatro cenários, os quais se diferenciam quanto às épocas, durante a vindima e após a vindima (cenários 1 e 2, e cenários 3 e 4 respetivamente), bem como em relação à inclusão e exclusão da etapa de estufagem (específica da produção de vinho Madeira), onde os cenários 1 e 2 incluem o processo de estufagem, enquanto que nos cenários 3 e 4 esta etapa foi excluída.

Assim, quanto à influência da época de vindima na reorganização do planeamento de tarefas, verifica-se que nos cenários 1 e 2, as 22 etapas comuns são reorganizadas de forma diferente, mantendo-se apenas a sequência de tarefas associadas ao processo de engarrafamento, verificando-se uma situação similar nos cenários 3 e 4.

No que concerne ao efeito do processo de estufagem na reorganização das atividades, nos cenários 1 e 3 (durante a época de vindima) verificam-se apenas algumas trocas de

atividades entre os ramos A e B, nomeadamente no que se refere às tarefas de clarificação de mostos e sulfitagem, assim como em relação às tarefas relacionadas com a elaboração de lotes, com a estabilização/clarificação, com a filtragem e sulfitagem. No que se refere aos cenários 2 e 4, referentes ao período após vindima, verificam-se apenas a troca de ramos das atividades Armazenamento/Estágio, as quais passam a integrar o ramo A (mais longo).

De um modo geral, foi possível obter soluções eficazes em termos de operacionalização de processos, aliadas à minimização de riscos, tanto na otimização de *layouts* produtivos (com a exceção dos cenários da época baixa, os quais apenas podem ser considerados como complemento aos cenários globais), assim como na otimização do planeamento das atividades relacionadas como o processo produtivo.

9.5.3. Seleção de Ferramentas da Indústria 4.0 para a Minimização de Riscos ergonómicos

Após a análise de avaliação de riscos ergonómicos efetuada no capítulo 7 e após a seleção das atividades que representam um maior potencial para a ocorrência de riscos ergonómicos, foi possível selecionar e sugerir ferramentas da Indústria 4.0, cuja implementação poderá contribuir para redução de riscos desta natureza.

Verifica-se que as ferramentas sugeridas mediante os resultados da aplicação do método, para além da sua contribuição para a minimização de riscos, visam também melhorar a eficiência de produção, mediante o incremento da velocidade/ritmo de trabalho, para além da potencial e substancial melhoria da qualidade dos produtos acabados, através da minimização de erros de operador, nomeadamente nos casos de implementação de sistemas integrados de controlo e execução.

Relativamente às soluções sugeridas, verifica-se uma forte tendência para a recomendação de sistemas mais autónomos, nomeadamente os sistemas integrados automatizados e os robôs autónomos, sendo na sua maioria recomendados para as atividades relacionadas com os processos de vinificação, estabilização/clarificação, filtragem e armazenamento/estágio. No que diz respeito às atividades de verificação e manutenção ligeira, foi sugerida implementação de sistemas elevatórios.

As soluções encontradas dizem respeito às tarefas selecionadas, sendo que naturalmente deverá haver uma partilha/abrangência destes recursos entre as diversas áreas.

Capítulo 10:

Avaliação de Riscos Ergonômicos Após Implementação das Ferramentas da Indústria 4.0

A transição para a Indústria 4.0, e conseqüentemente o aumento dos sistemas ciberfísicos, implica a necessidade de mudanças técnicas, organizacionais e humanas em todos os estratos hierárquicos das organizações (Kadir, Broberg & Da Conceição, 2019). Desta forma, a introdução destas novas tecnologias digitais proporciona novas formas de interação entre os humanos e as máquinas, afetando diretamente os trabalhadores ao nível operacional, bem como a natureza do trabalho. Estes novos desafios incluem:

- A ocorrência de stress e da Síndrome de *Burnout* causados pela redução da autonomia e o aumento das exigências de trabalho (Casio & Montealegre, 2016), de novas aptidões e de requisitos de competência, bem como a sobrecarga de informações (Czerniak, Brandl & Mertens, 2017);
- A segurança dos trabalhadores ao trabalhar com as tecnologias de automação tangíveis, por exemplo, robôs autônomos e veículos autônomos (Fletcher et al., 2020);
- O aumento da carga cognitiva e a alteração do equilíbrio e da proporção entre a carga física e cognitiva (Kong, 2019);
- A frustração e a perda de motivação causada pelo medo do desemprego e das oportunidades de trabalho limitadas (Adam, Aringer-Walch & Bengler, 2019).

Como forma de superar estes desafios e garantir uma transição bem-sucedida para a Indústria 4.0, vários autores como Pacaux-Lemoine et al. (2017); Richter et al. (2018); Romero, Stahre & Taisch (2020) sugerem a aplicação de novas filosofias de design e engenharia centradas no ser humano, as quais tenham em consideração as capacidades físicas, cognitivas e sensoriais dos trabalhadores.

Assim, na sequência da seleção de ferramentas da Indústria 4.0 com vista à minimização dos riscos ergonômicos, torna-se pertinente a realização de uma avaliação de riscos, de modo a aferir o impacto destas ferramentas no bem-estar dos operadores humanos.

De acordo com Whittington & Dogan (2018), antes da realização da avaliação de tarefas é necessário realizar uma Análise Hierárquica de Tarefas (HTA), de modo a obter um

melhor entendimento das tarefas envolvidas, sendo que a AHRQ Digital Healthcare Research (2021) sugere a realização de uma HTA antes da aplicação do método NASA-TLX *Load Index*.

Assim, neste capítulo, a avaliação de riscos ergonômicos após implementação das ferramentas da Indústria 4.0 foi efetuada em duas etapas, onde a primeira etapa englobou a realização de uma Análise Hierárquica de Tarefas (HTA) e numa segunda etapa foi efetuada a aplicação da técnica NASA *Task Load Index* (NASA-TLX).

10.1. Análise Hierárquica de Tarefas (HTA)

O método de Análise Hierárquica de Tarefas ou *Hierarchical Task Analysis* (HTA) foi originalmente desenvolvido para dar resposta à necessidade de uma maior compreensão das tarefas cognitivas (Stanton et al., 2005). De acordo com Annett & Duncan (1967), engloba a exploração das tarefas em termos de hierarquia de objetivos, subobjetivos, operações e planos. O resultado final corresponde a uma descrição exaustiva da atividade da tarefa (Annett & Stanton, 2004).

10.1.1. Estratégia de Abordagem ao método HTA

A necessidade de uma estratégia sistemática para a análise de tarefas torna-se particularmente importante em grandes tarefas constituídas por múltiplas atividades, facilitando a aplicação de métodos mais focados, como a análise cognitiva de tarefa, a qual necessita de uma estrutura para uma aplicação mais realista (Annett & Stanton, 2004).

De acordo com Stanton et al. (2018), o procedimento de aplicação baseia-se em seis etapas, as quais são descritas de seguida:

- 1. Definir a tarefa em análise:** consiste em definir claramente a(s) tarefa(s) em análise e definir o objetivo da análise de tarefa;
- 2. Processo de recolha de dados:** devem ser recolhidos dados específicos sobre a tarefa, designadamente os dados sobre as etapas da tarefa envolvidas, a tecnologia usada, a interação entre o homem e a máquina e os membros da equipa, a tomada de decisões e as restrições da tarefa. Existem várias maneiras de efetuar a recolha dos dados, incluindo observações, entrevistas com PMEs, questionários e orientações;
- 3. Determinação do objetivo geral da tarefa:** o objetivo geral da tarefa em análise deve primeiro ser especificado no topo da hierarquia;

4. **Determinação dos subobjetivos da tarefa:** consiste na divisão do objetivo geral em subobjetivos significativos, os quais quando juntos, formam as tarefas necessárias para atingir o objetivo geral.
5. **Decomposição dos subobjetivos:** baseia-se na divisão dos subobjetivos identificados durante a quarta etapa noutros subobjetivos e operações, de acordo com a etapa da tarefa em questão. Este processo deve continuar até que uma operação apropriada seja alcançada, sendo que o nível inferior de qualquer ramificação numa HTA deverá ser sempre uma operação, a qual refere realmente o que é necessário ser feito.
6. **Análise de planos:** nesta etapa são adicionados os planos que determinam como os objetivos são alcançados. Quando o plano é concluído, o agente retorna ao nível de superordenada. Os planos não são necessariamente lineares, podendo existir diversos tipos de planos, como mostra a Tabela 72. Por outro lado, a saída de um HTA pode ser apresentada em vários formatos, podendo ser como diagrama de árvore ou como diagrama tabular (tipo tabela).

Tabela 72 - Exemplo de planos HTA (Stanton et al., 2018).

| Tipo de Plano | Exemplo |
|----------------------|--|
| Linear | Fazer 1, depois 2 e depois 3 |
| Não-linear | Fazer 1, 2 e 3 em qualquer ordem |
| Simultâneo | Fazer 1, depois 2 e 3 simultaneamente |
| Ramificado | Fazer 1, se x estiver presente, fazer 2 e 3, se x não estiver presente, sair |
| Cíclico | Fazer 1, depois 2, depois 3 e repetir até x |
| De seleção | Fazer 1 depois 2 ou 3 |

Resumidamente, o método HTA é uma ferramenta flexível que pode ser adaptada a uma variedade de situações e necessidades. Os dados podem derivar de qualquer número de diferentes fontes, sendo que a análise pode ser continuada até qualquer nível de detalhe desejado e não há uma prescrição rígida em relação a forma como os resultados podem ser usados.

10.1.2. Aplicação de método HTA ao contexto em estudo

O método HTA foi aplicado aos contextos de antes e depois da implementação das ferramentas de Indústria 4.0.

De acordo com a descrição das operações em cada etapa dos processos de produção dos vários tipos de vinho (Eurisko, 2011; Vernhet, 2019; Strobl, 2019; Giacosa et al., 2019; Gil-Sánchez, Suáldea & Moreno-Arribas, 2019; Morata et al., 2019; Comuzzo & Battistutta, 2019; Medina et al., 2019; WSET, 2020; Grainger & Tattersall, 2015, 2016; Cabrita, Garcia & Catarino, 2016; Castilhos & Del Bianchi, 2016; Kocher & Nikhanj, 2016; El Rayess et al., 2016; Domínguez & Sanza, 2016; Ribereau-Gayon et al., 2006; Moreira & de Pinho, 2011; Perestrelo et al., 2011; Tesniere & Flanzy, 2011; Jackson, 2020, 2014), procedeu-se à aplicação do método às atividades específicas, para as quais foi sugerida a implementação de ferramentas da Indústria 4.0, e que apresentam um maior impacto no aumento dos riscos ergonómicos (MET superior a 5,8), de acordo com a avaliação de riscos descrita no capítulo 8 e a seleção de tarefas sintetizada o Apêndice IX,

Após a aplicação do método HTA antes da implementação das ferramentas da Indústria 4.0 (Pré-I4.0), cujos resultados são apresentados no Apêndice X, procedeu-se à aplicação do método ao cenário após implementação das ferramentas da Indústria 4.0, tendo sido feita a estimativa das novas tarefas e obtido conseqüentemente o diagrama em árvore para a atividade de receção e descarga das uvas (Figura 98).

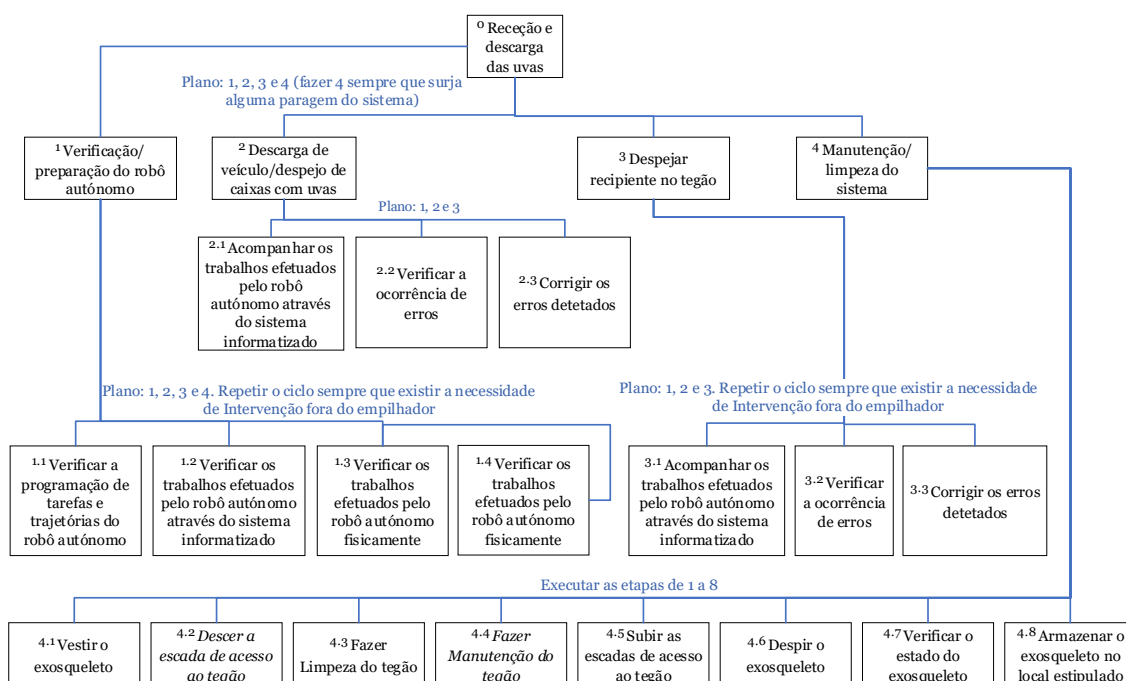


Figura 98 - Diagrama em árvore referente a atividade Receção e descarga de uvas após a implementação das ferramentas de Indústria 4.0.

O método foi aplicado às restantes atividades do processo produtivo depois da implementação das ferramentas de Indústria 4.0. Após terem sido feitas as estimativas

para as novas tarefas foram obtidos os diagramas tubulares apresentados através das seguintes que constam no Apêndice XI.

Como seria de esperar, no cenário após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0 (Pós-I4.0) verificou-se uma grande redução da ação humana nas tarefas, desde a receção e descarga das uvas até as operações de preparação de vinhos para engarrafamento, com a exceção dos trabalhos, que carecem de mão de obra humana, dada a variabilidade e a natureza dos detalhes que implicam diversos tipos de tomada de decisão e execução, como é possível observar através da Tabela 73.

Tabela 73 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do método HTA após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0,

| Atividades/Tarefas | | Pré-I4.0 | Pós-I4.0 |
|--------------------|---|--|--------------------------------|
| | | Tipo de intervenção | |
| 1 | Receção e descarga das uvas | Humana | Robô autónomo |
| | Manutenção/limpeza do tegão | Humana | Humana com ECI |
| 2 | Seleção/triagem das uvas | Humana | Humana |
| | Movimentação as caixas com uvas rejeitadas | Humana | Robô autónomo |
| 3 | Desobstrução/limpeza do sistema de desengace/ esmagamento de uvas | Humana | Robô autónomo |
| 4 | Sulfitagem | Humana/sistema semiautomático com bombas elétricas | Sistema integrado automatizado |
| 5 | Clarificação de mostos | Humana | Robô autónomo |
| 6 | Preparação do mosto | Humana | Humana com ECI |
| 7 | Controlo da Fermentação Alcoólica | Humana/sistema de arrefecimento automático com sondas de temperatura | Sistema integrado automatizado |
| 8 | Verificação/acompanhamento da Maceração | Humana/sistema semiautomático com bombas de remontagem | Sistema integrado automatizado |
| 9 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 10 | Sangria/Desencuba | Humana | Robô autónomo |
| 11 | Esgotamento/Prensagem | Humana/prensa | Sistema integrado automatizado |
| 12 | Verificação/Manutenção das prensas | Humana | Humana com ECI |
| 13 | Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 14 | Fortificação (adição de aguardente vínica – vinhos licorosos) | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 15 | Ajustes enológicos | Humana | Robô autónomo |
| 16 | Elaboração de lotes base | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 17 | Estabilização/Clarificação | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 18 | Filtragem | Humana | Robô autónomo |
| 19 | Sulfitagem | Humana/sistema semiautomático com bombas elétricas | Sistema integrado automatizado |

| Atividades/Tarefas | | Pré-I4.0 | Pós-I4.0 |
|--------------------|---|---------------------|---|
| | | Tipo de intervenção | |
| 20 | Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | Humana/empilhador | Humana/Robô colaborativo/Sistema integrado automatizado |
| 21 | Armazenamento/Estágio (cubas inox) | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 22 | Estufagem (Produção de vinho Madeira) | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 23 | Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | Humana | Humana com ECI |
| 24 | Estabilização/Clarificação | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 25 | Filtragem | Humana | Robô autônomo |
| 26 | Correções finais | Humana | Robô autônomo |
| 27 | Receção de materiais de embalagem | Humana | Humana com sistema elevatório |
| 28 | Despaletização | Humana | Humana com sistema elevatório |
| 29 | Módulos das linhas de engarrafamento | Humana | Humana com sistema elevatório |
| 30 | Paletização | Humana | Robô autônomo |
| 31 | Armazenagem | Humana | Sistema integrado automatizado |
| 32 | Expedição | Humana | Humana com sistema elevatório |

Relativamente aos processos de verificação à chegada e saída de materiais e produtos, existe intervenção humana significativa, devido à variabilidade e à natureza dos detalhes que implicam diversos tipos de tomada de decisão.

Por outro lado, dado o elevado grau de autonomia e automatização dos módulos que integram as linhas de engarrafamento, existe apenas a necessidade de ação humana em tarefas de supervisionamento e controlo, *setup* das máquinas, manutenção e limpeza.

10.2.O NASA *Task Load Index* (NASA-TLX)

O método NASA-TLX (*National Aeronautics and Space Administration Task Load Index*) foi desenvolvido por Hart & Staveland (1988). Tratando-se de uma técnica multidimensional permite uma determinação e identificação das fontes específicas da carga de trabalho, contribuindo para o índice global de carga de trabalho na avaliação da tarefa.

A ferramenta consiste na recolha classificações subjetivas por parte dos operadores sujeitos a ambientes com sistemas homem-máquina (Hart & Staveland, 1988). De acordo com (Stanton et al., 2005) método NASA-TLX é composto por oito etapas:

- 1) Definir a tarefa em análise;
- 2) Efetuar um HTA;
- 3) Selecionar os participantes;

- 4) Instruir os participantes sobre a tarefa;
- 5) Realizar a tarefa em análise;
- 6) Efetuar o procedimento de ponderação;
- 7) Proceder à classificação NASA-TLX;
- 8) Calcular da pontuação TLX.

O NASA *Task Load Index* (NASA-TLX) consiste em seis subescalas que representam grupos de variáveis independentes: Exigências Mentais, Físicas e Temporais, Frustração, Esforço e Desempenho. Presume-se que a combinação destas dimensões (subescalas) representa a carga de trabalho experienciada pela maioria das pessoas que executam a maioria das tarefas (Hart, 2006).

De acordo com Hart (2006), as dimensões que integram a ferramenta NASA-TLX foram selecionadas após uma extensa análise dos fatores primários que definem (e não definem) a experiência subjetiva de carga de trabalho para diferentes pessoas que executam uma variedade de atividades. Coincidentemente, estas dimensões também correspondem a várias teorias que equiparam a carga de trabalho com a magnitude das exigências impostas ao operador, respostas físicas, mentais e emocionais a estas exigências ou, inclusivamente a capacidade do operador em satisfazer estas exigências.

Cada uma das dimensões bipolares do NASA-TLX consiste numa escala crescente de valores entre zero e cem (0-100), sendo o valor mínimo e o valor máximo descritores verbais, respetivamente de “baixo” e “alto”, com exceção da dimensão do desempenho, em que os descritores verbais se invertem, ou seja, para o valor zero, o descritor tem a denominação de “alto” e para o valor cem, tem a denominação de “baixo”. As dimensões estão equitativamente divididas em 20 intervalos de cinco pontos cada. As definições das dimensões, traduzidas e adaptadas de Hart & Staveland (1988) podem ser visualizadas no Anexo II.

10.2.1. Aplicação do Método NASA *Task Load Index* (NASA-TLX)

A aplicação do método é efetuada em duas fases: na primeira, cada sujeito compara e assinala de entre as quinze combinações possíveis das seis dimensões, organizadas por pares, aquela que lhe induziu maior variação de carga de trabalho na execução das suas tarefas, ou seja, no total são feitas quinze comparações, como se pode ver no Anexo II (Hart & Staveland, 1988).

Na segunda fase, cada sujeito indica um valor, em cada uma das seis dimensões, o qual será assinalado na escala respetiva, de acordo com as escalas referenciadas no Anexo II (Hart & Staveland, 1988).

As escalas, divididas em 20 intervalos iguais, são apenas marcadas com traços, e não com valores numéricos. Se o sujeito assinalar precisamente em cima do traço, o valor a considerar será esse mesmo valor em absoluto. Se o sujeito assinalar entre dois traços, o valor a considerar será o que corresponde à marca posicionada mais à direita (NASA, 1986).

O tratamento dos dados pelo investigador requer que sejam efetuados vários passos de forma a ser aferido o resultado. Assim, no primeiro passo verifica-se o número de vezes em que foi escolhida uma determinada dimensão consequente da comparação entre as quinze combinações (que poderá resultar num valor numérico no mínimo de zero vezes ou no máximo de cinco vezes).

No segundo passo, multiplica-se o número de vezes obtido anteriormente em cada dimensão, pelo valor assinalado na escala da dimensão respetiva (de zero a 100)

No terceiro passo, é feito o somatório dos resultados alcançados anteriormente, sendo que, o resultado anterior é dividido por quinze (resultante do somatório das vezes em que cada dimensão foi escolhida quando da comparação entre as outras dimensões). O valor resultante corresponde ao índice médio ponderado da carga de trabalho (*Mean Weighted Workload Score*), o qual indica a carga de trabalho mental em termos de valor percentual (Geddie et al., 2001).

10.2.2. Resultados obtidos

Para o efeito, foi feita a divisão das atividades analisadas, constantes nos diagramas tubulares HTA após a implementação das ferramentas de Indústria 4.0, em seis conjuntos:

- Com ação de robô autónomo;
- Com ação de robô colaborativo (*cobot*);
- Com ação de sistema integrado automatizado;
- Com ação humana com ECI;
- Com ação humana com sistema elevatório;
- Com ação humana.

Para cada conjunto foi efetuada uma simulação de resposta por parte de um grupo de operadores que supostamente executaram as tarefas dos conjuntos aqui formados.

Desta forma, procedeu-se à aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria de ação de robô autônomo.

Após aplicação da primeira fase do método, foi obtido o resultado referente à comparação de fontes de trabalho, conforme é possível observar através da Tabela 74.

Tabela 74 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Exigência Mental | I I I I I | 5 |
| Exigência Física | ----- | 0 |
| Exigência Temporal | I I I | 3 |
| Desempenho | I I I I | 4 |
| Nível de Esforço | I | 1 |
| Nível de Frustração | I I | 2 |

Contagem total = 15

É de salientar que a contagem indicada na Tabela 74 advém dos resultados obtidos através da comparação e preenchimento dos cartões de comparação de fontes de trabalho (Anexo II), por parte do suposto grupo de colaboradores, conforme o procedimento de aplicação descrito na secção 10.2.1., referente à aplicação do método NASA-TLX.

Com a aplicação da segunda fase do método, foi obtido o resultado referente à avaliação ponderada, conforme é possível observar através da Tabela 75.

Tabela 75 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo.

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Exigência Mental | 5 | 90 | 450 |
| Exigência Física | 0 | 15 | 0 |
| Exigência Temporal | 3 | 80 | 240 |
| Desempenho | 4 | 10 | 40 |
| Nível de Esforço | 1 | 40 | 40 |

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Nível de Frustração | 2 | 10 | 20 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 790

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 53\%$$

Assim, a avaliação efetuada para o conjunto de tarefas realizadas com o apoio de robôs autônomos evidencia um resultado de 53% de carga de trabalho. Valor este que foi majorado fundamentalmente pelas exigências mental, temporal e o elevado nível de esforço, neste caso o esforço mental.

Analogamente, foi feita a aplicação do método aos restantes grupos de tarefas seguindo o mesmo procedimento, cujas etapas e resultados se encontram no Apêndice XII.

A Tabela 76, mostra o resumo dos resultados obtidos após a aplicação do método NASA-TLX aos cinco conjuntos de tarefas.

Tabela 76 - Resumo dos resultados obtidos após a aplicação do método NASA-TLX aos cinco conjuntos de tarefas.

| Cenários | Carga de Trabalho Associada (%) |
|--|--|
| 1. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô autônomo | 53 |
| 2. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô colaborativo | 45 |
| 3. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de sistema integrado automatizado | 57 |
| 4. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI | 67 |
| 5. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com sistema elevatório | 58 |
| 6. Conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana sem apoio de ferramentas da Indústria 4.0 | 69 |

Através da Tabela 76 é possível verificar, de acordo com a aplicação do método NASA-TLX em modo de simulação, que os conjuntos de tarefas que apresentam menores cargas de trabalho correspondem aos conjuntos com apoio das ferramentas da Indústria 4.0.

Através da Figura 99 é possível observar as classificações individuais ponderadas de subescala ou dimensão obtidas após a aplicação da primeira etapa do método NASA-TLX.

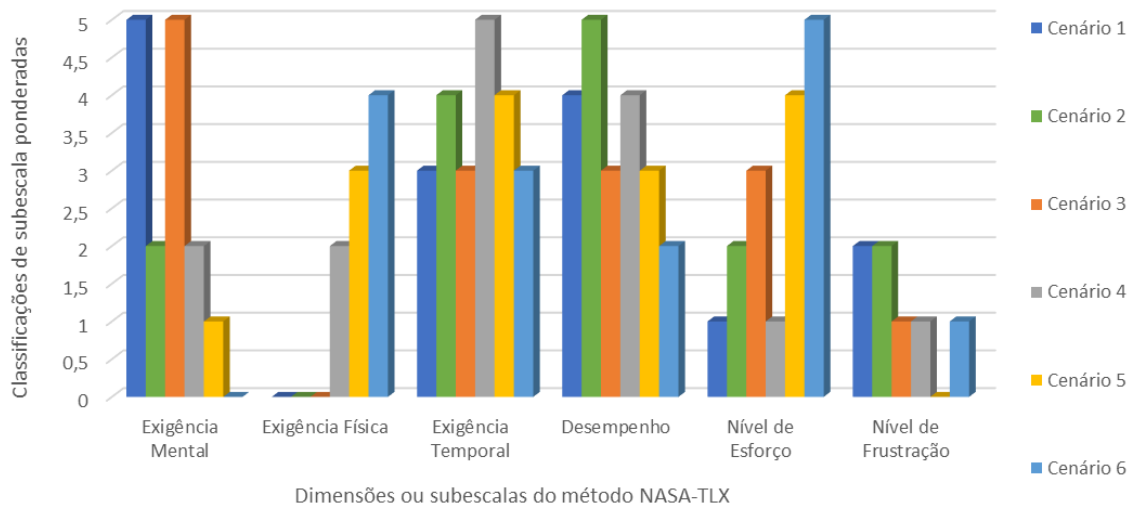


Figura 99 - Representação gráfica das classificações individuais ponderadas de subescala ou dimensão obtidas após a aplicação da primeira etapa do método NASA-TLX.

Através da Figura 99 é possível verificar que os cenários que apresentam um maior peso, em termos de exigência mental, na avaliação efetuada são os cenários que integram soluções robotizadas autónomas e os sistemas integrados automatizados.

Por outro lado, o conjunto de tarefas executadas por operadores humanos sem o apoio das ferramentas da Indústria 4.0 apresentam maiores níveis de esforço e exigência física.

No que concerne à dimensão de exigência temporal, ou exigência relativa ao ritmo de trabalho, o cenário que inclui as tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI apresenta um maior nível de exigência.

No que respeita ao desempenho, o cenário que inclui o apoio do robô colaborativo apresenta um melhor potencial desempenho em relação às respetivas tarefas.

Finalmente, relativamente à frustração, verificam-se níveis baixos em todos os cenários, sendo ligeiramente mais elevados os cenários que incluem soluções robóticas.

10.3. Nota Conclusiva sobre a Avaliação de Riscos Ergonômicos Após a Implementação das Ferramentas da Indústria 4.0

Através da aplicação do método HTA foi possível obter uma descrição detalhada do processo produtivo inicial (Apêndice X), ou seja, sem a implementação das Ferramentas da Indústria 4.0.

Partindo deste cenário inicial, foi possível fazer uma estimativa para um cenário contemplando a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, com a descrição detalhada das diversas etapas do processo produtivo.

Os resultados obtidos, através a aplicação do método HTA, permitiram simular a avaliação de riscos ergonômicos, mediante a aplicação do método NASA-TLX, após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, tendo sido possível verificar quais os conjuntos de tarefas que proporcionam maiores potenciais de risco, bem como, quais as ferramentas da Indústria 4.0 que contribuem para a minimização dos mesmos.

Capítulo 11:

Conclusões Finais

Através da revisão bibliográfica efetuada foi possível aprofundar o estudo sobre a Indústria 4.0, nomeadamente no que concerne aos principais pilares e vetores de atuação, os princípios chave para o design, as metodologias para a implementação da Indústria 4.0 e os respetivos graus de desenvolvimento, permitindo estabelecer uma relação entre a Higiene e Segurança no Trabalho, a Ergonomia e a Indústria 4.0.

A revisão bibliográfica possibilitou conhecer, ainda, os vários setores industriais, permitindo aferir quais os setores com maior impacto na economia portuguesa, verificando-se um lugar de destaque relativamente à indústria vitivinícola portuguesa.

Assim, procedeu-se à caracterização do setor vitivinícola português em termos de evolução e dimensão, como também em termos de processos produtivos, tendo sido efetuado um estudo comparativo detalhado sobre as operações que fazem parte dos processos de produção na indústria vitivinícola, permitindo, de acordo com as especificidades produtivas do setor, o agrupamento das principais operações utilizadas em dois tipos de produção abrangentes:

- A produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira – Neste grupo foram incluídas as operações de produção de vinhos de mesa tinto, branco e rosé, bem como a produção dos vários tipos de vinho Madeira;
- A produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto - Deste grupo fazem parte as operações de produção de vinhos de mesa tinto, branco e rosé, bem como a produção dos vários tipos de vinho do Porto.

Paralelamente à caracterização do setor vitivinícola português em termos de processos e operações de produção, foram também compilados, através de revisão bibliográfica, os principais riscos ocupacionais inerentes às diversas etapas dos processos produtivos, permitindo assim estabelecer os perfis, em termos de riscos ocupacionais, para os dois grupos de produção formados.

Relativamente aos métodos de avaliação de riscos, o método William T. Fine permitiu a obtenção de uma estimativa semiquantitativa relativamente aos riscos associados a cada uma das áreas produtivas, mediante a determinação dos respetivos graus de perigosidade médio.

De acordo com a revisão bibliográfica efetuada, conclui-se que o método utilizado na avaliação de riscos ergonómicos baseado no dispêndio de energia metabólica proporciona resultados objetivos e reproduzíveis (Battini et al., 2016; Hills, Mokhtar & Byrne, 2014), facto que foi comprovado através da aplicação deste método na avaliação dos riscos ergonómicos associados aos processos produtivos do setor vitivinícola.

Embora o método de determinação do gasto de energia metabólica tenha sido aplicado de forma indireta, ou seja, com base na comparação com várias tarefas já caracterizadas e estudadas sob o ponto de vista de dispêndio de energia, por Ainsworth et al. (1993); Ainsworth et al. (2000); Ainsworth et al. (2011), o método proporcionou a objetividade necessária para permitir a aplicação dos modelos de otimização de *layouts* e de planeamento de tarefas.

Sendo um dos objetivos deste trabalho, a aplicação do modelo de otimização de *layouts* baseado no algoritmo genético permitiu obter soluções viáveis, tanto em termos de operacionalidade produtiva, como no que diz respeito à minimização de riscos ocupacionais, sendo que nos cenários de época alta, nos quais foram consideradas todas as áreas de laboração com as avaliações de riscos efetuadas, foi possível obter soluções mais eficientes, tanto em termos de operacionalidade de processos produtivos, como na redução de riscos ergonómicos.

Relativamente ao efeito do processo de estufagem na otimização dos *layouts*, verificou-se que não existem diferenças substanciais na reorganização otimizada das áreas produtivas, sendo de realçar que a aplicação do modelo de otimização a ambos os cenários (com e sem processo de estufagem) permitiu a obtenção de pelo menos uma solução viável, em termos operacionais com minimização dos riscos ocupacionais, para cada caso.

No que concerne à diferenciação da aplicação do modelo de otimização de *layouts* tendo como base o tipo de riscos avaliados, verificou-se que a aplicação do modelo de otimização aos cenários baseados na avaliação de riscos ergonómicos com inclusão do processo de estufagem na época alta proporciona duas soluções alternativas, sendo uma delas mais direcionada para a produção em massa com baixa variedade de produtos, e a outra mais compatível com o tipo de produção de uma maior variedade de produtos.

No que respeita à aplicação do modelo baseado no algoritmo de otimização de colónias de formigas aos cenários estabelecidos, tendo em consideração a avaliação de riscos

ergonômicos, foram encontradas soluções viáveis, tanto ao nível ergonômico como ao nível operacional, para todos os cenários estabelecidos permitindo assim uma maior rotatividade/alternância entre as sequências de tarefas com equivalentes metabólicos mais elevados e as tarefas com valores mais baixos.

De acordo com os resultados obtidos foi possível constatar que após a reorganização do encadeamento de tarefas em dois ramos, os cenários reorganizados conservaram o encadeamento de tarefas com maior afinidade operacional, favorecendo assim a eficiente operacionalização de processos, passando a existir um maior equilíbrio no que concerne à prevenção de potenciais riscos ergonômicos, através da rotatividade de tarefas mais exigentes em termos ergonômicos.

Através dos resultados obtidos, após a aplicação do modelo de otimização do planeamento de tarefas, foi possível estabelecer e sugerir a reorganização dos recursos humanos para cada cenário estipulado, proporcionando a minimização dos riscos ergonômicos, conservando a eficiência operacional os processos.

Quanto à escolha de ferramentas da Indústria 4.0 apropriadas à minimização de riscos ergonômicos, o método utilizado, baseado em lógica difusa, permitiu selecionar de entre várias alternativas, as ferramentas mais adequadas à cada tarefa, de acordo com os principais requisitos das atividades selecionadas, designadamente em termos de:

- Mobilidade horizontal;
- Mobilidade vertical;
- Capacidade de transporte de carga;
- Velocidade/ritmo de trabalho;
- Apoio aos membros inferiores;
- Suporte aos membros superiores;
- Relevância da intervenção humana.

Relativamente às soluções sugeridas após o método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0, verificou-se uma forte tendência para a recomendação de sistemas mais autónomos, nomeadamente os sistemas integrados automatizados e os robôs autónomos, sendo que, como forma de racionalização de recursos deverá haver uma partilha e/ou maior abrangência destes recursos entre as diversas áreas produtivas.

Após a aplicação do método HTA foi possível obter uma descrição detalhada do processo produtivo inicial, ou seja, sem a implementação das Ferramentas da Indústria 4.0, a

partir do qual foi possível fazer uma estimativa para um cenário contemplando a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, com a descrição detalhada das diversas etapas do processo produtivo, no qual se verifica uma grande redução da ação humana nas tarefas, com a exceção dos trabalhos, que carecem de mão de obra humana, dada a variabilidade e a natureza dos detalhes que implicam diversos tipos de tomada de decisão e execução.

Com os resultados obtidos, através a aplicação do método HTA, foi possível simular a avaliação de riscos ergonômicos, mediante a aplicação do método NASA-TLX, após a implementação das ferramentas da Indústria 4.0, tendo sido possível verificar que os conjuntos de tarefas que apresentam menores cargas de trabalho correspondem aos conjuntos com apoio das ferramentas da Indústria 4.0.

11.1. Limitações do Estudo

O presente estudo foi fundamentado essencialmente na revisão bibliográfica efetuada, tanto em termos de fundamento teórico, como em relação à aplicação prática. Por esta razão, as principais limitações decorrentes deste estudo prendem-se com a utilização de dados obtidos por estimativa, os quais foram fundamentados em trabalhos anteriores de vários autores, nomeadamente no que concerne ao levantamento e avaliação de riscos ocupacionais, bem como em relação à compilação das operações que integram os diversos processos produtivos, sendo que estes dados carecem de atualização e confirmação em termos aplicabilidade prática.

Outra limitação a considerar no âmbito do presente trabalho diz respeito à falta de dados objetivos e reprodutíveis relativamente à avaliação de riscos ocupacionais gerais nas diversas operações que compõem os processos produtivos. Esta lacuna inviabilizou a comparação de resultados entre cenários que integrem avaliações de riscos ergonômicos, com cenários que englobem avaliações de riscos gerais, limitado desta forma a aplicação do modelo de otimização de planeamento de tarefas.

11.2. Trabalhos Futuros

Como trabalho futuros, em primeiro lugar, torna-se pertinente a atualização e confirmação dos dados referentes ao levantamento e avaliação de riscos ocupacionais, bem como das operações que integram os diversos processos produtivos em termos aplicabilidade prática, sendo sugerida uma abordagem prática num ambiente laboral de uma organização, ou de várias organizações, de modo a aferir todas as metodologias de

produção, as respetivas operações integrantes e os riscos associados, tanto ao exercício das atividades, como em relação às áreas físicas onde as atividades são executadas.

Outro aspeto que pode contribuir significativamente para o aperfeiçoamento da metodologia associada aos modelos aplicados no presente trabalho prende-se com o desenvolvimento de um método de apoio à decisão multicritério (TOPSIS, PROMETHEE ou VIKOR, entre outros métodos), o qual possibilite a seleção da melhor alternativa, entre os vários cenários, permitindo assim a interligação entre os modelos de otimização de *layout* e de planeamento de tarefas com o método de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 adequadas à minimização de riscos ergonómicos.

Finalmente, seria de grande interesse a implementação de outros algoritmos aos modelos de otimização de *layouts* e de planeamento de tarefas (como por exemplo os algoritmos híbridos), de modo a aferir a eficácia dos modelos aplicados o presente trabalho.

Bibliografia

- ACT (2015) A Autoridade para as Condições do Trabalho e os Inquéritos de Acidente de Trabalho e Doença Profissional. *Autoridade para as Condições do Trabalho*. [Online]. Available from: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/A Autoridade para as Condições do Trabalho e os Inquéritos de Acidente de Trabalho e Doença Profissional.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/A Autoridade para as Condições do Trabalho e os Inquéritos de Acidente de Trabalho e Doença Profissional.pdf) [Accessed: 10 April 2021].
- ACT (2021) *Estatística de Acidentes de Trabalho*. [Online]. Autoridade para as Condições do Trabalho. Available from: [https://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx](https://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/default.aspx) [Accessed: 28 April 2021].
- ACT (2018) *Relatório Atividade de Inspeção do Trabalho*. [Online]. Available from: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Relatorio_AI_2012.pdf](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/crc/PublicacoesElectronicas/Documents/Relatorio_AI_2012.pdf) [Accessed: 17 January 2021].
- Adam, C., Aringer-Walch, C. & Bengler, K. (2019) Digitalization in Manufacturing – Employees, Do You Want to Work There? BT - Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). In: Sebastiano Bagnara, Riccardo Tartaglia, Sara Albolino, Thomas Alexander, et al. (eds.). *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*, 31st August and 1st September, Florence, Italy, Springer International Publishing. pp. 267–275. DOI: 10.1007/978-3-319-96068-5_30
- AHRQ Digital Healthcare Research (2021) *NASA Task Load Index*. [Online]. 2021. Agency for Healthcare Research and Quality: Informing Improvement in Care Quality, Safety, and Efficiency. Available from: <https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/nasa-task-load-index> [Accessed: 11 September 2021].
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Leon, A.S., Jacobs, D.R., Montoye, H.J., Sallis, J.F., Paffenbarger, R.S. (1993) Compendium of Physical Activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25 (1), 71-80. Available from: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1993/01000/Compendium_of_Physical_Activities_classification.11.aspx.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.M., Strath, S.J.,

- O'Brien, W.L., Bassett, D.R., Schmitz, K.H., Emplainscourt, P.O., Jacobs, D.R., Leon, A.S. (2000) Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (9 Suppl), S498-504. DOI: 10.1097/00005768-200009001-00009.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Herrmann, S.D., Meckes, N., Bassett, D.R., Tudor-Locke, C., Greer, J.L., Vezina, J., Whitt-Glover, M., Leon, A.S. (2011) 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43 (8), 1575-1581. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31821ece12
- Akdil, K.Y., Ustundag, A. & Cevikcan, E. (2018) Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer Series in Advanced Manufacturing*, Springer, Cham. pp. 61-94. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_4
- El Alaoui, M. (2021) *Fuzzy TOPSIS: Logic, Approaches, and Case Studies*. 1st Edition. [Online]. Boca Raton, CRC Press. DOI: 10.1201/9781003168416.
- Albay, E.M. & Eisma, D.V. (2021) Performance task assessment supported by the design thinking process: Results from a true experimental research. *Social Sciences & Humanities Open*, 3 (1), 1–9. DOI: 10.1016/j.ssaho.2021.100116.
- Alcácer, V. & Cruz-Machado, V. (2019) Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (3), 899–919. DOI: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- Alt, B., Weckesser, M., Becker, C., Hollick, M., Kar, S., Klein, A., Klose, R., Kluge, R., Koepl, H., Koldehofe, B., Khudabukhsh, W.R., Luthra, M., Mousavi, M., Mühlhäuser, M., Pfannemüller, M., Rizk, A., Schürr, A., Steinmetz, R. (2019) Transitions: A Protocol-Independent View of the Future Internet. *Proceedings of the IEEE*, 107(4), 835–846. DOI: 10.1109/JPROC.2019.2895964
- Anastasi, S., Madonna, M. & Monica, L. (2021) Implications of embedded artificial intelligence - Machine Learning on safety of machinery. *Procedia Computer Science*, 180, 338–343. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.171.
- Anaya-Aguilar, R., Suárez-Cebador, M., Rubio-Romero, J.C. & Galindo-Reyes, F. (2018) Delphi assessment of occupational hazards in the wineries of Andalusia, in southern Spain. *Journal of Cleaner Production*, 196(20), 297–303. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.008.
- Anderson, J., Granat, M.H., Williams, A.E. & Nester, C. (2019) Exploring occupational standing activities using accelerometer-based activity monitoring. *Ergonomics*, 62 (8), 1055–1065. DOI: 10.1080/00140139.2019.1615640.
- Annett, J. (2003) *Hierarchical Task Analysis*. In: Erik Hollnagel (ed.). *Handbook of Cognitive Task Design*. 1st Edition. Boca Raton, CRC Press, 17–35.

- Annett, J. & Duncan, K.D. (1967) Task analysis and training design. *Journal of Occupational Psychology*, 41, 211–221. Available from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED019566.pdf>
- Annett, J. & Stanton, A.N. (2004) *Task Analysis*. New York, Taylor & Francis.
- AnyLogic (2020) *An introduction to digital twin development*. [Online]. Available from: <https://www.anylogic.com/resources/white-papers/an-introduction-to-digital-twindevelopment/> [Accessed: 12 October 2020].
- Asadi, H., Zhou, G., Lee, J.J., Aggarwal, V., Yu, D. (2020) A computer vision approach for classifying isometric grip force exertion levels. *Ergonomics*, 63 (8), 1010–1026. DOI: 10.1080/00140139.2020.1745898.
- Asim, M., Wang, Y., Wang, K. & Huang, P.-Q. (2020) A Review on Computational Intelligence Techniques in Cloud and Edge Computing. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 4 (6), 742–763. DOI: 10.1109/TETCI.2020.3007905.
- Audi Mediacycenter (2017) *Audi production: working without backache with the exoskeleton*. [Online]. Audi MediaTV. Available from: <https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/audi-production-working-without-backache-with-the-exoskeleton-56446> [Accessed: 4 March 2021].
- Baber, C. & Mellor, B. (2001) Using critical path analysis to model multimodal human–computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54 (4), 613–636. DOI: 10.1006/ijhc.2000.0452.
- Baber, C. & Stanton, N. (2002) Task analysis for error identification: Theory, method and validation. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 212–227. DOI: 10.1080/14639220210124094.
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B. & Souissi, A.S. (2018) Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, 403–411. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.06.012.
- Bahadir, M. & Satoglu, S.I. (2012) A Decision Support System for Robot Selection based on Axiomatic Design Principles. In: *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Istanbul. pp. 674–683.
- Bai, Y. & Wang, D. (2006). Fundamentals of Fuzzy Logic Control — Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications. In: Bai, Y., Zhuang, H. & Wang, D. (eds.). *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. London: Springer London. pp. 17–36. DOI: 10.1007/978-1-84628-469-4_2.
- Baker, L.B. & Wolfe, A.S. (2020) Physiological mechanisms determining eccrine sweat composition. *European Journal of Applied Physiology*, 120 (4), 719–752. DOI:

10.1007/s00421-020-04323-7.

- Bances, E., Schneider, U., Siegert, J. & Bauernhansl, T. (2020) Exoskeletons Towards Industrie 4.0: Benefits and Challenges of the IoT Communication Architecture. *Procedia Manufacturing*,] 42, 49–56. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.087.
- Banco de Portugal (2017) *Análise das empresas da indústria das bebidas*. [Online] Estudos da Central de Balanços Janeiro. Available from: https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/pdf-boletim/estudos_da_cb_27_2017.pdf [Accessed: 4 January 2021].
- Bartodziej, C.J. (2017) *The Concept Industry 4.0 - An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Gabler Verlag. DOI: 10.1007/978-3-658-16502-4
- Battini, D., Calzavara, M., Otto, A. & Sgarbossa, F. (2017) Preventing ergonomic risks with integrated planning on assembly line balancing and parts feeding. *International Journal of Production Research*, 55 (24), 7452–7472. DOI: 10.1080/00207543.2017.1363427.
- Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Persona, A., Sgarbossa, F. (2016) Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: a multi-objective model. *International Journal of Production Research*, 54 (3), 824–845. DOI: 10.1080/00207543.2015.1074299.
- Baykasoğlu, A. & Özbakır, L. (2015) Discovering task assignment rules for assembly line balancing via genetic programming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76 (1), 417–434. DOI: 10.1007/s00170-014-6295-4.
- Baykasoğlu, A. & Özbakır, L. (2007) Stochastic U-line balancing using genetic algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (1), 139–147. DOI: 10.1007/s00170-005-0322-4.
- Beetz, M., Bartels, G., Albu-Schäffer, A., Bálint-Benczédi, F., Belder, R., Beßler, D., Haddadin, S., Maldonado, A., Mansfeld, N., Wiedemeyer, T., Weitschat, R., Worch, J.-H. (2015) Robotic agents capable of natural and safe physical interaction with human co-workers. In: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 6528–6535. DOI: 10.1109/IROS.2015.7354310.
- Berlin, C. & Adams, C. (2017) *Production Ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. London, Ubiquity Press. DOI: 10.5334/bbe.
- Bersini, H. (2012) UML for ABM. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15 (1), 9. DOI: 10.18564/jasss.1897
- Bonabeau, E. & Meyer, C. (2001) Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think About Business. *Harvard Business Review*, May. Available from:

- <https://hbr.org/2001/05/swarm-intelligence-a-whole-new-way-to-think-about-business> [Accessed: 3 January 2021].
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., Faccio., M. (2017) Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 5700–5705. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1121.
- Bouchner, P., Faber, J., Novotný, S. & Tichý, T. (2009) Driver's attention level improvement with use of biofeedback stimulation incorporated into driving simulator. *Neural Network World*, 19 (1), 109–118.
- Breakwell, G.M., Hammond, S., Fife-Schaw, C. & Smith, J.A. (2006) *Research Methods in Psychology*. 3rd Edition. Glynis M. Breakwell (ed.). Los Angeles, SAGE Publications Inc.
- Breque, M., Nul, L. De & Petridis, A. (2021) *Industry 5.0 -Towards a sustainable, human- centric and resilient European industry*. European Commission. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/> [Accessed: 18 May 2021].
- Bruer, L.R. (2006) *Safety and Health for Engineers*. 2nd Edition. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014) *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. 1st Edition. New York, W.W. Norton & Company.
- Bubeník, P. & Horák, F. (2014) Proactive Approach to Manufacturing Planning. *Quality, Innovation, Prosperity*, 18 (1), 23–32. DOI: 10.12776/QIP.V18I1.208.
- Bukchin, Y. & Raviv, T. (2018) Constraint programming for solving various assembly line balancing problems. *Omega*, 78, July, 57–68. DOI: 10.1016/j.omega.2017.06.008.
- Burgess-Limerick, R. (2018) Participatory ergonomics: Evidence and implementation lessons. *Applied Ergonomics*, 68, April, 289–293. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.12.009.
- Burns, C. (2013) Cognitive Work Analysis: New Dimensions. In: Pedro Campos, Torkil Clemmensen, José Abdelnour Nocera, Dinesh Katre, et al. (eds.). *Human Work Interaction Design. Work Analysis and HCI. IFIP Working Conference on Human Work Interaction Design - Human Work Interaction Design Work Analysis and HCI*. 5-6 December, Copenhagen, Denmark. pp. 1–11. DOI: 10.1007/978-3-642-41145-8.
- Butzke, C. (2010) *Winemaking Problems Solved*. 1st Edition. Christian E. Butzke (ed.). Boca Raton, CRC Press. DOI: 10.1533/9781845690188.
- Cabrita, M., Garcia, R. & Catarino, S. (2016). Recent Developments in Wine Tartaric Stabilization. In: Jordão, M.A. & Cosme, F. (eds.). *Recent Advances in Wine*

- Stabilization and Conservation Technologies*. New York: Nova Science Publishers, Inc. Chapter 2. pp. 49-63. ISBN: 9781634848992.
- Calafiore, C.G. & Ghaoui, E.L. (2014) *Optimization Models*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Cardoso, J., Voigt, K. & Winkler, M. (2008). Service Engineering for the Internet of Services. In Filipe, J. & Cordeiro, J. (eds.). *Enterprise Information Systems*, 10th International Conference, ICEIS 2008, Barcelona, Spain, 12-16 June:pp. 15-27. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 19. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-642-00670-8_2.
- Cascio, W.F. & Montealegre, R. (2016) How Technology Is Changing Work and Organizations. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 3 (1), 349–375. DOI: 10.1146/annurev-orgpsych-041015-062352.
- Castilhos, B.M.M. & Del Bianchi, V.L. (2016). Winemaking Procedures and Their Influence on Wine Stabilization: Effect on the Chemical Profile. In: Jordão, M.A. & Cosme, F. (eds.). *Recent Advances in Wine Stabilization and Conservation Technologies*. New York: Nova Science Publishers, Inc. Chapter 3. pp. 65-94. ISBN: 9781634848992.
- Cecchi, A. & Casazza, S. (2012) Risk factors in the wine industry. In: *International Conference RAGUSA SHWA 2012 - Safety Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems*. Ragusa. pp. 201–206.
- Chen, T.-L., Chen, J.C., Huang, C.-F. & Chang, P.-C. (2020) Solving the layout design problem by simulation-optimization approach—A case study on a sortation conveyor system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 106, January, 102192. DOI: 10.1016/j.simpat.2020.102192.
- Cheng, W.-J., Pien, L.-C. & Cheng, Y. (2021) Occupation-level automation probability is associated with psychosocial work conditions and workers' health: A multilevel study. *American Journal of Industrial Medicine*, 64 (2), 108–117. DOI: 10.1002/ajim.23210.
- Cheng, Y., Sun, F., Zhang, Y. & Tao, F. (2019) Task allocation in manufacturing: A review. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, September, 207–218. DOI: 10.1016/j.jii.2018.08.001.
- Ciarapica, F.E. & Giacchetta, G. (2009) Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: An Italian study. *Safety Science*, 47 (1), 36–49. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.01.006.
- Claudon, L., Desbrosses, K., Gilles, M.A., Pichené-Houard, A., Remy, O., Wild, P. (2020) Temporal leeway: can it help to reduce biomechanical load for older workers performing repetitive light assembly tasks? *Applied Ergonomics*, 86, July, 103081.

- DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103081.
- Códax, M. (2020) *Estabilización de los vinos*. [Online]. Bodegas Cuatro Pasos. Available from: <https://www.cuatropasos.es/2016/10/14/estabilizacion-de-los-vinos/> [Accessed: 8 June 2021].
- COEH (2018) *A New Way to Solve Old Problems: The History of Ergonomics*. [Online]. Center for Occupational & Environmental Health. Available from: <https://www.coeh.berkeley.edu/post/history-of-ergonomics> [Accessed: 10 February 2021].
- Cohen, Y., Golan, M., Singer, G. & Faccio, M. (2018) Workstation–Operator Interaction in 4.0 Era: WOI 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (11), 399–404. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.327.
- Colgate, J.E., Witaya, W. & Peshkin, M.A. (1999) Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators. *Industrial Robot*, 26 (5), 335–341.
- Colim, A., Faria, C., Braga, A., Sousa, N., Rocha, L., Carneiro, P., Costa, N., Arezes, P. (2020) Towards an Ergonomic Assessment Framework for Industrial Assembly Workstation - A Case Study. *Applied Sciences*, 10 (9), 3048. DOI: 10.3390/app10093048
- Comissão Europeia (2020) *Índice de Digitalidade da Economia e da Sociedade (IDES), Relatório por País de 2020 - Portugal*. [Online]. Available from: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=66950 [Accessed: 18 February 2021].
- Comuzzo, P. & Battistutta, F. (2019). Acidification and pH Control in Red Wines. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st Edition. London: Academic Press. Chapter 2. pp. 17-34. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00002-5.
- Cosner, R.R., Hynds, E.J., Fusfeld, A.R., Loweth, C. V, Scouten, C., Albright, R. (2007) Integrating Roadmapping into Technical Planning. *Research-Technology Management*. [Online] 50 (6), 31–48. DOI: 10.1080/08956308.2007.11657471.
- COTEC (2020) *Indústria 4.0*. [Online]. Available from: https://cotecportugal.pt/wp-content/uploads/2020/02/industria4_omedidas-pt-1.pdf [Accessed: 12 October 2020].
- Cottureau, P. (2010) Hygienic Standards in Winemaking. *Internet Journal of Enology and Viticulture*, 7 (3), 1–4. Available from: <https://www.infowine.com/intranet/libretti/libretto8151-01-1.pdf>.
- Crawford, J.O., Graveling, R., Davis, A., Giagloglou, E., Fernandes, M., Markowska, A., Jones, M., Fries-Tersch, E. (2020) *Work-related musculoskeletal disorders: from research to practice. What can be learnt?* [Online] Publications Office of the European Union. European Agency for Safety and Health at Work – EU-OSHA.

- Available from: https://euosha.blumm.it/bundles/app/assets/website/download/Work_related_musculoskeletal_disorders_from_research_to_practice_What%20can_be_learned.pdf [Accessed: 18 February 2021].
- Cuevas, E. & Rodríguez, A. (2021) *Metaheuristic Computation with MATLAB*. 1st Edition. Boca Raton, Chapman and Hall/CRC.
- CVP (2021) *Receção de uva, Desengace, Esmagamento e Esgotamento*. [Online]. Clube Vinhos Portugueses. Available from: <https://www.clubevinhosportugueses.pt/> [Accessed: 28 May 2021].
- Czerniak, J.N., Brandl, C. & Mertens, A. (2017) Designing human-machine interaction concepts for machine tool controls regarding ergonomic requirements. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 1378–1383. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.236.
- D’Acierno, L., Montella, B. & De Lucia, F. (2006). A Stochastic Traffic Assignment Algorithm Based on Ant Colony Optimisation. In Dorigo, M., Gambardella, L.M., Birattari, M., Martinoli, A., Poli, R. & Stützle, T. (eds.). 5th International Workshop, ANTS 2006, Brussels, 2006: pp. 25-36. DOI: 10.1007/11839088.
- Daecher, A., Sniderman, B., Cotteleer, M., Murphy, T. (2018) *The industry 4.0 paradox: Overcoming disconnects on the path to digital transformation*. Deloitte Development LLC. [Online]. Available from: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/energy-resources/Industry_4.0_Paradox_Report.pdf [Accessed: 18 February 2021].
- Dahmen, C. & Constantinescu, C. (2020) Methodology of Employing Exoskeleton Technology in Manufacturing by Considering Time-Related and Ergonomics Influences. *Applied Sciences*, 10 (5). DOI: 10.3390/app10051591.
- Daim, T.U. & Oliver, T. (2008) Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency. *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (5), 687–720. DOI: 10.1016/j.techfore.2007.04.006.
- Davis, J.P., Eisenhardt, K.M. & Bingham, C.B. (2007) Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32 (2), 480–499. DOI: 10.5465/AMR.2007.24351453.
- Demir, H.I. & Erden, C. (2020) Dynamic integrated process planning, scheduling and due-date assignment using ant colony optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 149, November, 106799. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106799.
- Demir, K.A., Döven, G. & Sezen, B. (2019) Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688–695. DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.104.
- Deneubourg, J.-L., Aron, S., Goss, S. & Pasteels, J.M. (1990) The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant. *Journal of Insect Behavior*, 3 (2), 159–168.

- DOI: 10.1007/BF01417909.
- Direct Industry (2021) *Plataformas elevatórias*. [Online]. Virtualexpo Group. Available from: <https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/plataforma-elevatoria-61432.html> [Accessed: 8 September 2021].
- Dishman, D., Fallacaro, M.D., Damico, N., Wright, M.C. (2020) Adaptation and Validation of the Situation Awareness Global Assessment Technique for Nurse Anesthesia Graduate Students. *Clinical Simulation in Nursing*, 43, June, 35–43. DOI: 10.1016/j.ecns.2020.02.003.
- Domínguez, N.I. & Sanza, M.d.A. (2016). Wine Aging Technologies. In: Jordão, M.A. & Cosme, F. (eds.). *Recent Advances in Wine Stabilization and Conservation Technologies*. New York: Nova Science Publishers, Inc. Chapter 9. pp. 209-246. ISBN: 9781634848831.
- Dorigo, M. & Stützle, T. (2004) *Ant Colony Optimization*. Massachusetts, The MIT Press.
- Dote, Y. & Ovaska, S.J. (2001) Industrial applications of soft computing: a review. *Proceedings of the IEEE*, 89 (9), 1243–1265. DOI: 10.1109/5.949483.
- Dworschak, B. & Zaiser, H. (2014) Competences for Cyber-physical Systems in Manufacturing – First Findings and Scenarios. *Procedia CIRP*, 25, 345–350. DOI: 10.1016/j.procir.2014.10.048.
- El Rayess, Y., Azzi-chkouty, S., Rizk, Z., Ghanem, C. & Nehme, N. (2016). Clarification and Stabilization of Wines Using Membrane Processes. In: Jordão, M.A. & Cosme, F. (eds.). *Recent Advances in Wine Stabilization and Conservation Technologies*. New York: Nova Science Publishers, Inc. Chapter 5. pp. 111-134. ISBN: 9781634848831.
- Elm, W., Potter, S., Gualtieri, J., Roth, E., Easter, J.R. (2003) Applied Cognitive Work Analysis: A pragmatic Methodology for Designing Revolutionary Cognitive Affordances. In: Erik Hollnagel (ed.). *Handbook of Cognitive Task Design*, 1st Edition. Boca Raton, CRC Press. pp. 357–382.
- Embrey, D. (1986) SHERPA: A systematic human error reduction and prediction approach. In: *Proceedings of the International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems*. 1 January, Tennessee. pp. 184–193.
- Endsley, M. (2000) Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. In: Mica R. Endsley & Daniel J. Garland (eds.). *Situation Awareness Analysis and Measurement*. Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. pp. 3–32.
- Endsley, M.R. (1988) Situation awareness global assessment technique (SAGAT). In: *Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference*, 789–795 vol.3. DOI: 10.1109/NAECON.1988.195097.
- Erol, S., Schumacher, A. & Sihn, W. (2016) Strategic guidance towards industry 4.0 – A

- three-stage process model. *Internantional Conference on Competitive Manufacturing*, (January), 495–501.
- EU-OSHA (2021) *Lesões musculoesqueléticas*. [Online]. Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. Available from: <https://osha.europa.eu/pt/themes/musculoskeletal-disorders> [Accessed: 17 February 2021].
- Eurisko, S.A. (2011) *Manual de Boas Práticas - Indústria da Alimentação e das Bebidas*. AEP – Associação Empresarial de Portugal (ed.). Available from: <http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/1795777>. [Accessed: 16 February 2021].
- European Commission (2019) *Digital Economy and Society Index (DESI) Country Report: Portugal*. European Commision. [Online]. Available from: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-portugal> [Accessed: 16 February 2021].
- Evans, D. (2011) The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. *Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)*. [Online]. Available from: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+Internet+of+Things+-+How+the+Next+Evolution+of+the+Internet+is+Changing+Everything#0> [Accessed: 3 January 2021].
- Fantini, P., Pinzone, M. & Taisch, M. (2020) Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers and Industrial Engineering*, 139, February, 1–11. DOI: 10.1016/j.cie.2018.01.025.
- Fast-Berglund, Å., Palmkvist, F., Nyqvist, P., Ekered, S., Åkerman, M. (2016) Evaluating Cobots for Final Assembly. *Procedia CIRP*, 44, 175–180. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.114.
- FEES (2015) *What is ergonomics?* [Online]. Federation of the European Ergonomics Societies. Available from: <https://www.ergonomics-fees.eu/node/7> [Accessed: 9 February 2021].
- Fernández, M.M., Fernández, J.Á., Bajo, J.M. & Delrieux, C.A. (2020) Ergonomic risk assessment based on computer vision and Machine Learning. *Computers & Industrial Engineering*, 149, November, 106816. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106816.
- Ferreira, W. P., Armellini, F. & De Santa-Eulalia, L.A. (2020) Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, November, 106868. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106868.

- Filho, J.R., Alippi, C. & Treleven, P. (1994) Genetic-algorithm programming environments. *Computer*, 27 (6), 28–43. DOI: 10.1109/2.294850
- Finco, S., Abdous, M.-A., Battini, D., Calzavara, M., Delorme, X. (2019) Assembly line design with tools vibration. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 247–252. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.176.
- Fine, W. (1971) Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157-166.
- Flanagan, J.C. (1954) The Critical Incident Technique. *Psychological bulletin*, 51 (4), 327–358. DOI: 10.1037/h0061470.
- Fletcher, S.R., Johnson, T., Adlon, T., Larreina, J., Casla, P., Parigot, L., Alfaro, P.J., Otero, M.M. (2020) Adaptive automation assembly: Identifying system requirements for technical efficiency and worker satisfaction. *Computers & Industrial Engineering*, 139, January, 105772. DOI: 10.1016/j.cie.2019.03.036.
- Fox, R. & Hao, W. (2018) *Internet Infrastructure: Networking, Web Services, and Cloud Computing*. Boca Raton, CRC Press.
- Freitas, L.C. (2019) *Manual de Segurança e Saúde do Trabalho*. 4ª Edição. Lisboa, Edições Sílabo.
- Fu, Y., Li, M., Luo, H., Huang, G.Q. (2019) Industrial robot selection using stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. *Robotics and Autonomous Systems*, 122, December, 103304. DOI: 10.1016/j.robot.2019.103304.
- Fugelsang, C.K. & Edwards, G.C. (2007) *Wine Microbiology: Practical Applications and Procedures*. 2nd Edition. [Online]. New York, Springer. DOI: 10.1007/978-0-387-33349-6_9
- Gabinete do Ministro Adjunto e da Economia (2018) *Portugal i4.0*. [Online]. Available from:
<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/comunicado?i=primeiro-ministro-e-ministro-adjunto-e-da-economia-na-apresentacao-na-nova-fase-do-i40> [Accessed: 1 October 2020].
- Gajsek, B., Marolt, J., Rupnik, B., Lerher, T., Sternad, M. (2019) Using Maturity Model and Discrete-Event Simulation for Industry 4.0 Implementation. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 18 (3), 488–499. DOI: 10.0.9.203/IJSIMM18(3)489.
- Ganzarain, J. & Errasti, N. (2016) Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1119–1128. DOI: 10.3926/jiem.2073
- Gao, Z., Wanyama, T., Singh, I., Gadhri, A., Schmidt, R. (2020) From Industry 4.0 to Robotics 4.0 - A Conceptual Framework for Collaborative and Intelligent Robotic

- Systems. *Procedia Manufacturing*, 46, 591–599. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.03.085.
- Gardner, D.M. (2016) *Cold Stabilization Options for Wineries*. Penn State Extension Association in Enology. Available from: <https://extension.psu.edu/cold-stabilization-options-for-wineries> [Accessed: 5 June 2021].
- Garg, A., Chaffin, D.B. & Herrin, G.D. (1978) Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39 (8), 661–674. DOI: 10.1080/0002889778507831.
- Gašová, M., Gašo, M. & Štefánik, A. (2017) Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept. *Procedia Engineering*, 192, 219–224. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.038.
- Gayam, R.N., Shanmuganandam, K. & Vinodh, D. (2020) Layouts in production industries: A review. *Materials Today: Proceedings* (In Press, Corrected Proof). DOI: 10.1016/j.matpr.2020.10.191.
- Gazzaneo, L., Padovano, A. & Umbrello, S. (2020) Designing Smart Operator 4.0 for Human Values: A Value Sensitive Design Approach. *Procedia Manufacturing*, 42, 219–226. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.073.
- Geddie, J., Boer, L., Edwards, R., Enderwick, T., Graff, N. (2001) *NATO Guidelines on Human Engineering Testing and Evaluation*. [Online]. Available from: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA392142.pdf> [Accessed: 5 April 2021].
- Geissbauer, R., Vedso, J. & Schrauf, S. (2016) *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. Global Industry 4.0 Survey: Building the digital enterprise. [Online]. PwC. Available from: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> [Accessed: 16 January 2021].
- Geng, J., Weng, L. & Liu, S. (2011) An improved ant colony optimization algorithm for nonlinear resource-leveling problems. *Computers & Mathematics with Applications*, 61 (8), 2300–2305. DOI: 10.1016/j.camwa.2010.09.058.
- Geveke, B.J. & Runnebaum, R.C. (2020) The Future of Potassium Bitartrate Stabilization: Minimizing Energy, Wine Loss, and Treatment Time. *Catalyst: Discovery into Practice*, November, 4(2), 98-106. DOI: 10.5344/catalyst.2020.20004.
- Ghelichi, Z. & Kilaru, S. (2020) Analytical models for collaborative autonomous mobile robot solutions in fulfillment centers. *Applied Mathematical Modelling* 91, March, 438–457. DOI: 10.1016/j.apm.2020.09.059.
- Ghobakhloo, M. (2018) The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29 (6),

- 910–936. DOI: 10.1108/JMTM-02-2018-0057.
- Giacosa, S., Río Segade, S., Cagnasso, E., Caudana, A., Rolle, L. & Gerbi, V. (2019). SO₂ in Wines: Rational Use and Possible Alternatives. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st Edition. London: Academic Press. Chapter 21. pp. 309-321. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00021-9.
- Gilchrist, A. (2016) *Industry 4.0 - The Industrial Internet of Things*. [Online]. New York, Berkeley, CA : Apress. DOI: 10.1007/978-1-4842-2047-4.
- Gil-Sánchez, I., Suáldea, B.B. & Moreno-Arribas, M.V. (2019). Malolactic Fermentation. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st Edition. London: Academic Press. Chapter 6. pp. 8-98. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00006-2.
- Gobinath, V.M. (2019). An Overview of Industry 4.0 Technologies and Benefits and Challenges That Incurred While Adopting It. In Arockiarajan, A., Duraiselvam, M. & Raju, R. (eds.). *Advances in Industrial Automation and Smart Manufacturing ICAIASM 2019*, Singapore, 26th and 27th July: pp. 1-12. DOI: 10.1007/978-981-15-4739-3_1.
- Goddard, S. (2019) *Winemaking*. [Online]. Sarah Sommelier Wine Study. Available from: <http://sarahsommelier.com/3313-2/> [Accessed: 8 June 2021].
- Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á.-J., Pérez-Alonso, J., Díaz-Pérez, M., Carrillo-Castrillo, J.A. (2020) Musculoskeletal Risks: RULA Bibliometric Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (12). DOI: 10.3390/ijerph17124354.
- Gómez, J., Tascón, A. & Ayuga, F. (2018) Systematic layout planning of wineries: the case of Rioja region (Spain). *Journal of Agricultural Engineering*, 49 (1), 34–41. DOI: 10.4081/jae.2018.778.
- Goode, J. (2020) *Extraction: Making Red Wines*. [Online]. Wine Anorak. Available from: <http://wineanorak.com/extraction.htm#top> [Accessed: 29 May 2021].
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M. & Zühlke, D. (2014) Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 289–294. DOI:10.1109/INDIN.2014.6945523
- Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J.L., Pasteels, J.M. (1989) Self-organized shortcuts in the Argentine ant. *Naturwissenschaften*, 76 (12), 579–581. DOI: 10.1007/BF00462870.
- Grainger, K. & Tattersall, H. (2015) *Wine Production: Vine to Bottle*. 1st Edition. Keith, Blackwell Publishing Ltd.
- Grainger, K. & Tattersall, H. (2016) *Wine Production and Quality*. 2nd Edition. [Online]. Hoboken, NJ, Wiley Blackwell. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=PT%0Ahttp://eur->

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012PC0011:pt:NOT.

- Gregor, M., Matuszek, J., Medvecký, S. & Stefanik, A. (2009) Digital factory. *Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 3(3), 123–132.
- Gualtieri, L., Rauch, E. & Vidoni, R. (2020) Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, May, 1–30. DOI: 10.1016/j.rcim.2020.101998.
- Gualtieri, L., Palomba, I., Wehrle, E.J. & Vidoni, R. (2020a) The Opportunities and Challenges of SME Manufacturing Automation: Safety and Ergonomics in Human–Robot Collaboration. In: Matt D., Modrák V., Zsifkovits H. (eds) *Industry 4.0 for SMEs*. Palgrave Macmillan, Cham. pp. 105–144. DOI: 10.1007/978-3-030-25425-4_4.
- Gualtieri, L., Monizza, G.P., Rauch, E., Vidoni, R., Matt, D.T. (2020b) From Design for Assembly to Design for Collaborative Assembly - Product Design Principles for Enhancing Safety, Ergonomics and Efficiency in Human-Robot Collaboration. *Procedia CIRP*, 91, 546–552. DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.212.
- Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R. & Matt, D.T. (2020c) Safety, Ergonomics and Efficiency in Human-Robot Collaborative Assembly: Design Guidelines and Requirements. *Procedia CIRP*, 91, 367–372. DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.188.
- Gull, M., Bai, S. & Bak, T. (2020) A Review on Design of Upper Limb Exoskeletons. *Robotics*, 9(1), 16. DOI: 10.3390/robotics9010016.
- Gumasing, M.J.J., Llamas, C.M.A. & Martin, C.A.A. (2020) The effects of energy expenditure on the mental fatigue of construction workers. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2020 Dubai. pp. 1210–1220.
- Gyula, S. (2014) *Practice of Ergonomics*. Budapest, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering.
- Han, Y., Jeong, J., Ko, M.H., Lee, S., Kim, J. (2018) Analysis of global competitiveness of engineering modeling and simulation technology for next-manufacturing innovation: Using quantitative analysis of patents and papers. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 9 (4), 339–346.
- Harenčárová, H. (2015) Structured Analysis of Critical Decision Method Data – Emergency Medicine Case Study. *Human Affairs*, 25, 443–459. DOI: 10.1515/humaff-2015-0036.
- Harrison, J.R., Lin, Z., Carroll, G.R. & Carley, K.M. (2007) Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32 (4), 1229–1245. DOI: 10.5465/AMR.2007.26586485.

- Hart, S.G. (2006) NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50 (9), 904–908. DOI: 10.1177/154193120605000909.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Peter A Hancock & Najmedin B T - Advances in Psychology Meshkati (eds.). *Human Mental Workload*, 52, 139–183. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
- He, W. & Xu, L. (2015) A state-of-the-art survey of cloud manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 28 (3), 239–250. DOI: 10.1080/0951192X.2013.874595.
- Healey, J.A. & Picard, R.W. (2005) Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6 (2), 156–166. DOI: 10.1109/TITS.2005.848368.
- Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016) Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In: *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 5-8 Jan., Koloa, USA. pp. 3928–3937. DOI: 10.1109/HICSS.2016.488.
- Hills, A., Mokhtar, N. & Byrne, N. (2014) Assessment of Physical Activity and Energy Expenditure: An Overview of Objective Measures. *Frontiers in Nutrition*, 1(5), 1-16. DOI: 10.3389/fnut.2014.00005
- Holland, J.H. (1992) *Adaptation in Natural and Artificial Systems - An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. 2nd Edition. Massachusetts, MIT Press.
- Holm, M. (2018) The future shop-floor operators, demands, requirements and interpretations. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 35–42. DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.03.004.
- Horton, M. (2020) *Red Fermentation Vessels*. [Online]. The drifting winemaker. Available from: <http://www.thedriftingwinemaker.com/red-fermentation-vessels/> [Accessed: 3 June 2021].
- Hosseinian, S.M., Zhu, Y., Mehta, R.K., Erraguntla, M., Lawley, M.A. (2019) Static and Dynamic Work Activity Classification from a Single Accelerometer: Implications for Ergonomic Assessment of Manual Handling Tasks. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7 (1), 59–68. DOI: 10.1080/24725838.2019.1608873.
- Houston, C., Goberman-Hill, S., Mathie, R., Kennedy, A., Li, Y., Baiz, P. (2017) Case Study for the Return on Investment of Internet of Things Using Agent-Based Modelling and Data Science. *Systems*, 5(1), 4. DOI: 10.3390/systems5010004
- Hu, S.J., Ko, J., Weyand, L., ElMaraghy, H.A., Liem, T.K., Koren, Y., Bley. H.,

- Chryssolouris, G., Nasr, N., Shpitalni, M. (2011) Assembly system design and operations for product variety. *CIRP Annals*, 60 (2), 715–733. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.05.004.
- Hughes, C., Baber, C., Bienkiewicz, M., Worthington, A., Hazell, A., Hermsdörfer, J. (2014) The application of SHERPA (Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach) in the development of compensatory cognitive rehabilitation strategies for stroke patients with left and right brain damage. *Ergonomics*, 58(1), 75-95. DOI: 10.1080/00140139.2014.957735.
- Human Factors and Ergonomics Society (2020) *Human Factors and Ergonomics Society Policy Statement on Occupational Ergonomics for Industry 4.0*. [Online]. Available from: [https://www.hfes.org/Portals/o/Documents/Government Relations/HFES Policy - Occupational Ergonomics 11.11.2020 - FINAL.pdf?ver=2020-11-11-130626-293](https://www.hfes.org/Portals/o/Documents/Government%20Relations/HFES%20Policy%20-%20Occupational%20Ergonomics%2011.11.2020%20-%20FINAL.pdf?ver=2020-11-11-130626-293) [Accessed: 17 January 2021].
- IAPMEI (2018) *Indústria 4.0*. [Online]. 2018. Available from: <https://www.iapmei.pt/Paginas/Industria-4-0.aspx> [Accessed: 22 November 2020].
- IEA (n.d.) *Definition, Domains of Specialization, Systemic Approach*. [Online]. International Ergonomics Association. Available from: <https://iea.cc/definition-and-domains-of-ergonomics/> [Accessed: 11 February 2021].
- IEDI (2018) *Estratégias nacionais para a Indústria 4.0*. [Online]. Available from: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180705-estrategias_nacionais_para_a_industria_4_o.pdf [Accessed: 18 January 2021].
- IFV (2016) *Guide de Bonnes Pratiques D'Hygiène Filière vins: Évaluation des Risques et Moyens de Maîtrise*. [Online]. Available from: https://www.vignevin.com/wp-content/uploads/2019/03/GBPH_Guide_Complet_DEF.pdf [Accessed: 12 January 2021].
- IGAS (2018) Manual de Segurança e Saúde no Trabalho. *Inspeção Geral das Atividades em Saúde*. [Online]. Available from: http://www.igas.min-saude.pt/wp-content/uploads/2017/04/Manual_Seguranca_e_saude_no_trabalho.pdf [Accessed: 3 November 2021].
- INE (2007) *Classificação Portuguesa das Atividades Económicas Rev.3*. [Online]. Available from: https://www.ine.pt/ine_novidades/semin/cae/CAE_REV_3.pdf [Accessed: 29 April 2021].
- INE (2021) Empresas em Portugal 2019. *Instituto Nacional de Estatística, I.P.* [Online]. Available from: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=437546392&PUBLICACOESstema=55579&PUBLICACOESmodo

- =2 [Accessed: 29 April 2021].
- INOXPA S.A.U. (2020) *Red Wine Pump Over*. [Online]. INOXPA. Available from: <https://www.inoxpa.com/products/processes/processes/red-wine-pump-over> [Accessed: 29 May 2021].
- Iqbal, M.U., Srinivasan, B. & Srinivasan, R. (2020) Dynamic assessment of control room operator's cognitive workload using Electroencephalography (EEG). *Computers & Chemical Engineering*, 141, October, 106726. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2020.106726.
- ISO (2016a) *ISO 6385:2016 - Ergonomics principles in the design of work systems*. [Online]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6385:ed-3:v1:en>.
- ISO (2016b) *NP EN ISO 31010:2016 - Gestão do Risco. Técnicas de Avaliação do Risco (ISO/IEC 31010:2009)*.
- IVBAM (2020) *Processo de vinificação: Vinho Madeira*. [Online]. Instituto do Vinho, do Bordado e do Artesanato da Madeira, I.P. - R.A.M. Available from: <https://vinhomadeira.com/o-vinho-madeira/vinificacao-e-envelhecimento> [Accessed: 8 June 2021].
- IVV (2021a) *Evolução da Produção Nacional por Região Vitivinícola*. [Online]. Instituto da Vinha e do Vinho. Available from: <https://www.ivv.gov.pt/np4/36/> [Accessed: 16 June 2021].
- IVV (2021b) *Exportação/Expedição de Vinhos - 2020*. [Online]. Instituto da Vinha e do Vinho. Available from: <https://www.ivv.gov.pt/np4/37/> [Accessed: 16 June 2021].
- Jackson, R.S. (2014) *Wine Science: Principles and Applications*. 4th Editio. San Diego, Academic Press.
- Jackson, S.R. (2020) *Wine Science: Principles and Applications*. 5th Edition. London, Academic Press.
- Jeong, J.Y., Han, Y., Kim, J.S., Jeong, S.C., Ko, M.H., Lee, S. (2018) Empirical study of engineering modeling and simulation in manufacturing innovation to lead 4th industrial revolution. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 9 (5), 421–427.
- Jetté, M., Sidney, K. & Blümchen, G. (1990) Metabolic equivalents (METs) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinical cardiology*, 13 (8), 555–565. DOI: 10.1002/clc.4960130809.
- Kadir, B.A., Broberg, O. & Da Conceição, S.C. (2019) Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. *Computers and Industrial Engineering*, 137, July, 1–12. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106004.
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013a) *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic*

- initiative INDUSTRIE 4.0*. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. [Online]. (April). Available from: http://forschungsunion.de/pdf/industrie_4_o_final_report.pdf [Accessed: 2 February 2021].
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013b) *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing; final report of the Industrie 4.0 Working Group: Forschungsunion*. [Online]. Available from: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> [Accessed: 18 February 2021].
- Kamada, M., Kitayuguchi, J., Lee, I.-M., Hamano, T., Imamura, F., Inoue, S., Miyachi, M., Shiwaku, K. (2014) Relationship between physical activity and chronic musculoskeletal pain among community-dwelling Japanese adults. *Journal of Epidemiology*, 24 (6), 474–483. DOI: 10.2188/jea.je20140025.
- Kappeler-Setz, C., Gravenhorst, F., Schumm, J., Arnrich, B., Tröster, G. (2013) Towards long term monitoring of electrodermal activity in daily life. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17 (2), 261–271. DOI: 10.1007/s00779-011-0463-4.
- Kara, Y., Atasagun, Y., Gökçen, H., Hezer, S., Demirel, N. (2014) An integrated model to incorporate ergonomics and resource restrictions into assembly line balancing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27 (11), 997–1007. DOI: 10.1080/0951192X.2013.874575.
- Karvouniari, A., Michalos, G., Dimitropoulos, N. & Makris, S. (2018) An approach for exoskeleton integration in manufacturing lines using Virtual Reality techniques. *Procedia CIRP*, 78, 103–108. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.315.
- Katch, V.L., McArdle, W.D. & Katch, F.I. (2011) *Essentials of Exercise Physiology*. 4th Edition. Baltimore, Lippincott Williams & Wilkins.
- Kiel, D., Müller, J.M., Arnold, C. & Voigt, K.I. (2017) Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21 (8), 1740015. DOI: 10.1142/S1363919617400151.
- Klitou, D., Conrads, J., Rasmussen, M., CARSA, Probst, L., Pedersen, B., PwC (2017) *Germany: Industrie 4.0*. [Online]. Available from: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie_4.0_DE.pdf [Accessed: 14 January 2021].
- Klötzer, C. & Pflaum, A. (2017) Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain. In: Tung Bui (ed.). *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, Waikoloa Village, AIS Electronic Library. p. DOI:

- 10.24251/HICSS.2017.509.
- Kocher, S.G. & Nikhanj, P. (2016). A Review on Process Parameters for Development of Quality Wines. In: Jordão, M.A. & Cosme, F. (eds.). *Recent Advances in Wine Stabilization and Conservation Technologies*. New York: Nova Science Publishers, Inc. Chapter 1. pp. 1-48. DOI: 9781634848831.
- Koelewijn, A.D., Heinrich, D. & van den Bogert, A.J. (2019) Metabolic cost calculations of gait using musculoskeletal energy models, a comparison study. *PloS One*, 14 (9), e0222037–e0222037. DOI: 10.1371/journal.pone.0222037.
- Kong, F. (2019) Development of metric method and framework model of integrated complexity evaluations of production process for ergonomics workstations. *International Journal of Production Research*, 57 (8), 2429-2445 DOI: 10.1080/00207543.2018.1519266.
- KPMG Portugal (2019) *i4.0: Indústria 4.0 - Fase II*. [Online]. Available from: <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=178423e7-fe69-4183-8b19-cddd612de42> [Accessed: 12 October 2020].
- Kramer, O. (2017) *Genetic Algorithm Essentials*. Cham, Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-52156-5.
- Kroemer, K.H.E. (2017) *Fitting the Human - Introduction to Ergonomics/Human Factors Engineering*. 7th Edition. Boca Raton, CRC Press. DOI: 10.1201/9781420055412.
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.J. & Kroemer-Elbert, K.E. (2020) *Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/Ergonomics*. 5th Edition. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-642-12883-7.
- Kuang, S.L., Hu, L., Zhang, S.T. & Gao, D.H. (2009) Applying TAFEI Method to Orthopaedic Robot System's Requirements Analysis. In: *2009 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 21-23 Oct., Beijing, China. pp. 66–70. DOI: 10.1109/ICIEEM.2009.5344634.
- Kuehn, W. (2006) Digital Factory - Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 3-6 Dec., Monterey, USA. pp. 1899–1906. DOI: 10.1109/WSC.2006.322972.
- Kutilla, M., Jokela, M., Markkula, G. & Rue, M.R. (2007) Driver Distraction Detection with a Camera Vision System. In: *2007 IEEE International Conference on Image Processing*, 16 Sept.-19 Oct., San Antonio, USA. pp. VI-201-VI–204. DOI: 10.1109/ICIP.2007.4379556.
- Lahiri, A., Cormican, K. & Sampaio, S. (2021) Design thinking: From products to projects. *Procedia Computer Science*, 181, 141–148. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.114.

- Lamy, J.L. (2015) *The Business of Winemaking*. Judith Chien (ed.). San Francisco, Wine Appreciation Guild.
- Lee, W., Seto, E., Lin, K.-Y. & Migliaccio, G.C. (2017) An evaluation of wearable sensors and their placements for analyzing construction worker's trunk posture in laboratory conditions. *Applied ergonomics*, 65, 424–436. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.03.016.
- Leondes, C.T. (1996) *Control and Dynamic Systems - Advances in Theory and Applications*. Cornelius T. Leondes (ed.). London, Academic Press.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., Forstnhäusler, S. (2016) SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. In: *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 11-14 Sept., Gdansk, Poland. pp. 1297–1302.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., Schröter, M. (2015) IMPULS: Industrie 4.0 Readiness. *VDMA's IMPULS-Stiftung*. Available from: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/ob5fd521-9ee2-2deo-f377-93bdd01ed1c8 [Accessed: 18 February 2021].
- Lockyer, K. & Gordon, J. (2005) *Project Management and Project Network Techniques*. 7th Edition. Essex, Pearson Education Limited.
- Longo, F., Nicoletti, L. & Padovano, A. (2017) Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers and Industrial Engineering*, 113, November, 144–159. DOI: 10.1016/j.cie.2017.09.016.
- Lootsma, F.A. (1997) *Fuzzy Logic for Planning and Decision Making*. 1st Edition. Panos M. Pardalos & Donald Hearn (eds.). Boston, Springer.
- Loshkareva, E., Luksha, P., Ninenko, I., Smagin, I., Sudakov, D. (2015) *Skills of the future: How to thrive in the complex new world*. Global Education Future & World Skills Russia. [Online]. Available from: https://worldskills.ru/assets/docs/media/WSDoklad_12_okt_eng.pdf?platform=hootsuite [Accessed: 18 February 2021].
- Lucke, D., Constantinescu, C. & Westkämper, E. (2008) Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing - Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier. In: Mamoru Mitsuishi, Kanji Ueda, & Fumihiko Kimura (eds.). *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 26-28 May, Tokyo, Japan, Springer London. pp. 115–118. DOI: 10.1007/978-1-84800-267-8_23.

- Mahiques, A. (2012) *El vino: Trásiego, clarificación y filtrado*. [Online]. Coma Bien. Available from: <http://comabien.es/baclaradovino.htm> [Accessed: 8 June 2021].
- Malvoni, M., Congedo, P.M. & Laforgia, D. (2017) Analysis of energy consumption: a case study of an Italian winery. *Energy Procedia*, 126, September, 227–233. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.08.144.
- Maurtua, I., Ibarguren, A., Kildal, J., Susperregi, L., Sierra, B. (2017) Human–robot collaboration in industrial applications: Safety, interaction and trust. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14 (4), July-August, 1-10. DOI: 10.1177/1729881417716010.
- Medina, K., Martin, V., Boido, E. & Carrau, F. (2019). Yeast Biotechnology for Red Winemaking. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st Edition. London: Academic Press. Chapter 5. pp. 69-83. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00005-0.
- Melanie, M. (1999) *An Introduction to Genetic Algorithms*. 1st Edition. Massachusetts, MIT Press. ISBN: 9780262631853.
- Microsoft (2020) *What is cloud computing? A beginner's guide*. [Online]. Microsoft Institutional website. Available from: <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/> [Accessed: 9 December 2020].
- Ministério da Agricultura, Pêscas e Alimentação (1988) *Decreto-Lei n.º 326/88 de 23 de setembro*. [Online]. pp.3907–3909. Available from: https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/355480/details/normal?p_p_auth=7obm5OGN [Accessed: 6 June 2021].
- Minturn, A. & Lomax, M. (2018) *A practical roadmap for the implementation of Industry 4.0*. [Online]. Available from: https://dc-gb.resource.bosch.com/media/gb/trends_and_topics_7/industry_4_0/white_paper/BOR1359_-_Industry_4.0_whitepaper_-_AW-HR.pdf [Accessed: 22 December 2020].
- Mirjalili, S. (2019) *Evolutionary Algorithms and Neural Networks: Theory and Applications*. 1st Edition. Brisbane, Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-93025-1.
- Mirjalili, S., Dong, S.J. & Lewis, A. (2020). Ant Colony Optimizer: Theory, Literature Review, and Application in AUV Path Planning. In: Mirjalili, S., Dong, S.J. & Lewis, A. (eds.). *Nature-Inspired Optimizers: Theories, Literature Reviews and Applications*. Cham: Springer. pp. 7-21. DOI: 10.1007/978-3-030-12127-3_2.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., Barbaray, R. (2018) The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56 (3), 1118–1136. DOI: 10.1080/00207543.2017.1372647.

- Morata, A., González, C., Tesfaye, W., Loira, I. & Suárez-Lepe, J.A. (2019). Maceration and Fermentation: New Technologies to Increase Extraction. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st Edition. London: Academic Press. Chapter 3. pp. 35-49. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00003-7.
- Moreira, N. & de Pinho, P.G. (2011). Port Wine. In: Jackson, S.R. (ed.). *Speciality Wines*. 1st Edition ed. San Diego: Academic Press. Chapter 5. pp. 119-143. DOI: 10.1016/B978-0-12-384927-4.00005-1.
- Mouayni, I. El, Demesure, G., Haouzi, H.B.-E., Charpentier, P., Siadat, A. (2019) Jobs scheduling within Industry 4.0 with consideration of worker's fatigue and reliability using Greedy Randomized Adaptive Search Procedure. *IFAC-PapersOnLine*. [Online] 52 (19), 85–90. Available from: DOI:https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.114.
- Mrówczyńska, M., Skiba, M., Sztubecka, M., Bazan-Krzywoszańska, A., Kazak, J.K., Gajownik, P. (2020) Scenarios as a tool supporting decisions in urban energy policy: The analysis using fuzzy logic, multi-criteria analysis and GIS tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110598. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110598.
- Müller, J. (2020) *Enabling Technologies for Industry 5.0 - Results of a workshop with Europe's technology leaders*. [Online]. (September). Available from: <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en> [Accessed: 5 February 2021].
- Müller, J.M., Kiel, D. & Voigt, K.-I. (2018) What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. *Sustainability*, 10 (1), 247. DOI: 10.3390/su10010247.
- Mura, M.D. & Dini, G. (2019) Optimizing ergonomics in assembly lines: A multi objective genetic algorithm. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 27, November, 31–45. DOI: 10.1016/j.cirpj.2019.08.004.
- Näf, M.B., Koopman, A.S., Baltrusch, S., Rodriguez-Guerrero, C., Vanderborght, B., Lefeber, D. (2018) Passive Back Support Exoskeleton Improves Range of Motion Using Flexible Beams. *Frontiers in Robotics and AI*, June, 572. DOI: 10.3389/frobt.2018.00072
- NASA (2020) *NASA TLX: Task Load Index*. [Online]. 2020. NASA TLX. Available from: <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/> [Accessed: 20 May 2021].
- NASA (1986) *NASA TLX Paper and Pencil Version Instruction Manual*. [Online]. Available from: https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLX_pappen_manual.pdf [Accessed: 20 May 2021].
- Nasrollahi, M., Ramezani, J. & Sadraei, M. (2020) A FBWM-PROMETHEE approach for

- industrial robot selection. *Heliyon*, 6 (5), e03859. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03859.
- Negahban, A. & Smith, J.S. (2014) Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33 (2), 241–261. DOI: 10.1016/j.jmsy.2013.12.007.
- Nguyen, H.T. & Walker, E.A. (2006) *A First Course in Fuzzy Logic*. 3rd Edition. Boca Raton, Chapman and Hall/CRC.
- NIOSH (2015) *Hierarchy of Controls*. [Online]. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html> [Accessed: 18 September 2021].
- Niu, S. (2010) Ergonomics and occupational safety and health: An ILO perspective. *Applied Ergonomics*, 41 (6), 744–753. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.03.004.
- OIT (2016) *Guia sobre a Harmonização de Estatísticas da Inspeção do Trabalho*. [Online]. Available from: www.ilo.org/publns [Accessed: 18 February 2021].
- Otto, A. & Battaia, O. (2017) Reducing physical ergonomic risks at assembly lines by line balancing and job rotation: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 111, September, 467–480. DOI: 10.1016/j.cie.2017.04.011.
- Otto, A. & Scholl, A. (2011) Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212 (2), 277–286. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.01.056.
- Öztürk, K. (2016) *Winery Design Final*. [Online]. Architectural Design IV. Available from: <https://ozturkkubra.wordpress.com/2016/05/30/winery-design-final/> [Accessed: 12 June 2021].
- Pacaux-Lemoine, M.P., Trentesaux, D., Rey, Z.G. & Millot, P. (2017) Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Computers and Industrial Engineering*, 111, September, 581–595. DOI: 10.1016/j.cie.2017.05.014.
- Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F., Mummolo, G. (2019) The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, December, 103125. DOI: 10.1016/j.compind.2019.103125.
- Palmaccio, M., Dicuonzo, G. & Belyaeva, Z.S. (2020) The internet of things and corporate business models: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 131, July, 610-618. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.069.
- Panjaitan, N. & Ali, A.Y. Bin (2019) Clasification of Ergonomics Levels for Research. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 505, 012040. DOI: 10.1088/1757-899X/505/1/012040.

- Paschek, D., Mocan, A. & Draghici, A. (2019) Industry 5.0 - The Expected Impact Of Next Industrial Revolution. In: *International Conference 2019- Technology, Innovation and Industrial Management*, 15-17 May, Piran, Slovenia. pp. 125–132.
- Pasia, M.J., Hartl, F.R. & Doerner, F.K. (2006). Solving a Bi-objective Flowshop Scheduling Problem by Pareto-Ant Colony Optimization. In Dorigo, M., Gambardella, L.M., Birattari, M., Martinoli, A., Poli, R. & Stützle, T. (eds.). 5th International Workshop, ANTS 2006, Brussels, 2006: pp. 60-71. DOI: 10.1007/11839088.
- Pata, A. & Moura, A. (2016) Sistema de Apoio à Decisão para a programação de horários de trabalho com exposição equilibrada nas fontes de LMERT. In: *16ª Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação (CAPSI'2016)*. Porto, 2016: pp. 105–123.
- Pera-Pellenc, S.A. (2021) *Continuous, Industrial Press and Drainage*. [Online]. Available from: <https://www.perapellenc.com/english/industry-presses-drainers.asp> [Accessed: 28 May 2021].
- Perestrelo, R., Albuquerque, F., Rocha, M.S. & Câmara, S.J. (2011). Distinctive Characteristics of Madeira Wine Regarding Its Traditional Winemaking and Modern Analytical Methodologies. In: Jackson, S.R. (ed.). *Speciality Wines*. 1st Edition ed. San Diego: Academic Press. Chapter 7. pp. 207-244. DOI: 10.1016/B978-0-12-384927-4.00007-5.
- Phaal, R., Farrukh, C. & Probert, D. (2004a) Customizing Roadmapping. *Research-Technology Management*, 47 (2), 26–37. DOI: 10.1080/08956308.2004.11671616.
- Phaal, R., Farrukh, C.J.P. & Probert, D.R. (2004b) Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71 (1), 5–26. DOI: 10.1016/S0040-1625(03)00072-6.
- Phillips, C. (2010) *Product Review: Wine and Must Transfer Pumps*. [Online]. Wine Business Monthly. Available from: <https://www.winebusiness.com/wbm/?go=getArticleSignIn&dataId=81500> [Accessed: 29 May 2021].
- Pinto, R., Gonçalves, J., Cardoso, H.L., Oliveira, E., Pinto, R. (2016) A Facility Layout Planner tool based on Genetic Algorithms. In: *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI 2016)*, Athens, Greece, 6-9 December. pp. 1-8 DOI: 10.1109/SSCI.2016.7850280.
- Popkova, E.G. (2019) Preconditions of formation and development of industry 4.0 in the conditions of knowledge economy. In: Popkova E., Ragulina Y., Bogoviz A. (eds) *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 169. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-94310-

7_6.

- Popov, G., Lyon, B.K. & Hollcroft, B. (2016) *Risk Assessment - A Practical Guide to Assessing Operational Risks*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- PORDATA (2021) *Retrato de Portugal: Edição 2020*. [Online] PORDATA: Bases de Dados Portugal Contemporâneo. Available from: <https://www.pordata.pt/ebooks/PT2020v20200710/mobile/index.html> [Accessed: 6 March 2021].
- Posada, J., Zorrilla, M., Dominguez, A., Simoes, B., Eisert, P., Stricker, D., Rambach, J., Döllner, J., Guevara, M. (2018) Graphics and Media Technologies for Operators in Industry 4.0. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38 (5), 119–132. DOI: 10.1109/MCG.2018.053491736.
- Price, A.D.F. (1990) Calculating relaxation allowances for construction operatives — Part 1: Metabolic cost. *Applied Ergonomics*, 21 (4), 311–317. DOI: 10.1016/0003-6870(90)90202-9.
- Psota, T. & Chen, K.Y. (2013) Measuring energy expenditure in clinical populations: rewards and challenges. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67 (5), 436–442. DOI: 10.1038/ejcn.2013.38.
- Qattawi, A. & Madathil, S.C. (2019) Assembly line design using a hybrid approach of lean manufacturing and balancing models. *Production & Manufacturing Research*, 7 (1), 125–142. DOI: 10.1080/21693277.2019.1604274.
- Rabbani, M., Kazemi, S.M. & Manavizadeh, N. (2012) Mixed model U-line balancing type-1 problem: A new approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 31 (2), 131–138. DOI: 10.1016/j.jmsy.2012.02.002.
- Rashedi, E., Kim, S., Nussbaum, M.A., Agnew, M.J. (2014) Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. *Ergonomics*, 57 (12), 1864–1874. DOI: 10.1080/00140139.2014.952682.
- Rativa, D., Fernandes, B.J.T. & Roque, A. (2018) Height and Weight Estimation From Anthropometric Measurements Using Machine Learning Regressions. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 6, 1–9, Art no. 4400209. DOI: 10.1109/JTEHM.2018.2797983.
- RazaviAlavi, S. & AbouRizk, S. (2017) Site Layout and Construction Plan Optimization Using an Integrated Genetic Algorithm Simulation Framework. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4), 04017011. DOI:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000653
- RBR (2019) *How Edge Intelligence Will Make Smarter Industrial Robots*. [Online]. Robotics Business Review. Available from: <https://www.roboticsbusinessreview.com/events/how-edge-intelligence-will->

- make-smarter-industrial-robots/ [Accessed: 8 September 2021].
- Reis, Z.J. & Gonçalves, F.R. (2018). The Role of Internet of Services (IoS) on Industry 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA). In Moon, I., Lee, G.M., Park, J., Kiritsis, D. & Cieminski, G.V. (eds.). *Advances in Production Management Systems - Smart Manufacturing for Industry 4.0*, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2018, Seoul: pp. 20-26. DOI: 10.1007/978-3-319-99707-0_3.
- Ribereau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Doneche, B., Lonvaud, A. (2006) *Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications*. 2nd Edition. DOI: 10.1002/0470010363.
- Rich, R. (2021) *Tournament genetic algorithm to calculate the min-cost design (load x distance) for job shop layout*. [Online]. Available from: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64362-mld_ga_basic-popsizer-numiter-len-wid-loads [Accessed: 3 July 2021].
- Richter, A., Heinrich, P., Stocker, A., Schwabe, G. (2018) Digital Work Design: The Interplay of Human and Computer in Future Work Practices as an Interdisciplinary (Grand) Challenge. *Business & Information Systems Engineering*, 60 (3), 259–264. DOI: 10.1007/s12599-018-0534-4.
- Ridden, P. (2019) *Audi trials two exoskeletons for overhead work*. [Online]. New Atlas - Health & Wellbeing. Available from: <https://newatlas.com/health-wellbeing/audi-exoskeleton-trial-ingolstadt/> [Accessed: 4 March 2021].
- Rissanen, S.M., Koivu, M., Hartikainen, P., Pekkonen, E. (2021) Ambulatory surface electromyography with accelerometry for evaluating daily motor fluctuations in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 132 (2), 469–479. DOI: 10.1016/j.clinph.2020.11.039.
- RoboticsBiz (2020) *Top 12 industrial exoskeleton technologies for industrial workers*. [Online]. Wearables Technology. Available from: <https://roboticsbiz.com/top-12-industrial-exoskeleton-technologies-for-industrial-workers/> [Accessed: 8 September 2021].
- Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund Å. (2016) The Operator 4.0: Human Cyber-Physical Systems & Adaptive Automation Towards Human-Automation Symbiosis Work Systems. In: Nääs I. et al. (eds) *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World. APMS 2016. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 488. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-51133-7_80.
- Romero, D., Mattsson, S., Fasth Åsa, F.-B., Wuest, T., Gorecky, D., Stahre, J. (2018) Digitalizing Occupational Health, Safety and Productivity for the Operator 4.0. *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for*

- Industry 4.0*. Springer, Cham. pp. 473–481.
- Romero, D., Stahre, J. & Taisch, M. (2020) The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106128. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106128.
- Rosado, A.S., Guedes, J.C.C., Baptista, J.S., Duarte, J., Araújo, A., Vaz, A.P. (2020) Ergonomic Analysis in the Stamping Industry in Manufacturing and Comparison of Results with Nordic Questionnaire BT - Occupational and Environmental Safety and Health II. In: Pedro M. Arezes, J. Santos Baptista, Mónica P. Barroso, Paula Carneiro, et al. (eds.). *Occupational and Environmental Safety and Health II*. Cham, Springer International Publishing. pp. 389–397. DOI: 10.1007/978-3-030-41486-3_42.
- Roth, E.M., Sushereba, C., Militello, L.G., DiIulio, J., Ernst, K. (2019) Function Allocation Considerations in the Era of Human Autonomy Teaming. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 13 (4), 199–220. DOI: 10.1177/1555343419878038.
- Saberi, S. & Yusuff, R.M. (2011) Advanced Manufacturing Technology Implementation Performance: Towards A Strategic Framework. In: Ahad Ali (ed.). *Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 22 – 24 January, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 145-150.
- Sahu, J., Choudhury, B.B., Muni, M.K., Patra, M.R. (2015) An Effective Selection of Mobile Robot Model Using Fuzzy Logic Approach. *Materials Today: Proceedings*, 2 (4), 2605–2614. DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.216.
- Salunkhe, O., Stensöta, O., Åkerman, M., Berglund, Å.F., Alveflo, P.-A. (2019) Assembly 4.0: Wheel Hub Nut Assembly Using a Cobot. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 1632–1637. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.434.
- Sánchez, A.S. (2014) The Importance of Ergonomics in Industrial Engineering. *Industrial Engineering and Management*, 3(1). DOI: 10.4172/2169-0316.1000e121.
- Santos, M., Almeida, A., Lopes, C. & Oliveira, T. (2018) Metodologias para a Avaliação de Riscos: William Fine. *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional on line*, 6 (1–3), 1–6. DOI:10.31252/RPSO.18.11.2018
- Sariff, B.N. & Buniyamin, N. (2010) *Genetic Algorithm Versus Ant Colony Optimization Algorithm - Comparison of Performances in Robot Path Planning Application*. SciTePress. DOI: 10.5220/0002892901250132.
- Sarvari, P.A., Ustundag, A., Cevikcan, E., Kaya, I., et al. (2018) Technology Roadmap for

- Industry 4.0. In: Alp Ustundag & Emre Cevikcan (eds.). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer Series in Advanced Manufacturing. pp. 95–103. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5_5.
- Savino, M.M., Battini, D. & Riccio, C. (2017) Visual management and artificial intelligence integrated in a new fuzzy-based full body postural assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 111, September, 596–608. DOI: 10.1016/j.cie.2017.06.011.
- Sawyer, J., Mitea, D.R.E. & Stan, I.C. (2020) Sensing, Smart, and Sustainable Technologies in Cyber-Physical Manufacturing Systems. *Economics, Management, and Financial Markets*, 15 (2), 9–15. DOI: 10.22381/EMFM15220201.
- Scheidegger, A.P.G., Pereira, T.F., Oliveira, M.L.M., Banerjee, A., Montevechi, J.A.B. (2018) An introductory guide for hybrid simulation modelers on the primary simulation methods in industrial engineering identified through a systematic review of the literature. *Computers & Industrial Engineering*, 124, October, 474–492. DOI: 10.1016/j.cie.2018.07.046.
- Schneider, E. & Irastorza, X. (2010) *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU – Facts and figures* [Online]. European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) Available from: <https://osha.europa.eu/en/publications/osh-figures-work-related-musculoskeletal-disorders-eu-facts-and-figures/view> [Accessed: 29 May 2021].
- Schneider, P. (2018) Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field. *Review of Managerial Science*, 12, 803–848 DOI: 10.1007/s11846-018-0283-2.
- Schumacher, A., Erol, S. & Sihm, W. (2016) A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- Schwab, K. (2016) *The Fourth Industrial Revolution*. [Online]. World Economic Forum. Available from: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> [Accessed: 23 May 2021].
- Scrucca, L. (2013) GA: A package for genetic algorithms. *Journal of Statistical Software*, 53 (4), 1–37. DOI: 10.18637/jss.v053.i04.
- Seal, L. (2016) *Hand sorting grapes at Temet winery, Serbia*. [Online]. Decanter. Available from: <https://www.decanter.com/wine-news/2016-wine-harvest-photos-329718/attachment/harvest-serbia-temet-hand-sorting/> [Accessed: 29 May 2021].
- Sendova-Franks, A. & Franks, N.R. (1993) Task allocation in ant colonies within variable environments (a study of temporal polyethism: Experimental). *Bulletin of*

- Mathematical Biology*, 55 (1), 75–96. DOI: 10.1016/S0092-8240(05)80062-X.
- Shao, X.-F., Liu, W., Li, Y., Chaudhry, H.R., Yue, X.-G. (2020) Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 162, January, 120354. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120354.
- Singh, S.K. & Dhurandher, S.K. (2020) Architecture of Fog Computing, Issues and Challenges: A Review. In: *2020 IEEE 17th India Council International Conference (INDICON)*. 10-13 Dec., New Delhi, India. pp. 1–6. DOI: 10.1109/INDICON49873.2020.9342074.
- Sinha, D. & Roy, R. (2020) Reviewing Cyber-Physical System as a Part of Smart Factory in Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 48 (2), 103–117. DOI: 10.1109/EMR.2020.2992606.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. & Deepa, S.N. (2007) *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-35781-0.
- SNS (2021) *Temas da Saúde*. [Online]. Serviço Nacional de Saúde. Available from: <https://www.sns24.gov.pt/tema/doencas-oncologicas/fatores-de-risco-para-o-cancro/#sec-2> [Accessed: 6 June 2021].
- Soderstrom Architects (2020) *Woollaston Estate Winery*. [Online]. Available from: <https://sdra.com/woollaston-estate-winery/> [Accessed: 7 June 2021].
- Sonne, M. (2021) Ergonomics and Artificial Intelligence. [Online] *Ergonomics Canada*, 14–17. Available from: https://www.ergonomicscanada-digital.com/acea/0021_annual_2021/MobilePagedArticle.action?articleId=1669167#articleId1669167 [Accessed: 8 September 2021].
- Sparrow, W.A. & Newell, K.M. (1998) Metabolic energy expenditure and the regulation of movement economy. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(2), 173–196. DOI: 10.3758/BF03212943.
- Spiegel, R. (2018) *Automated Mobile Robots Are Delivering Efficiencies to Manufacturing*. [Online]. DesignNews. Available from: <https://www.designnews.com/automation-motion-control/automated-mobile-robots-are-delivering-efficiencies-manufacturing> [Accessed: 8 September 2021].
- Stacey, N., Ellwood, P., Bradbrook, S., Reynolds, J., Reynolds, J., Williams, H., Lye, D. (2018) *Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with information and communication technologies and work location by 2025*. [Online]. Available from: <https://osha.europa.eu/en/publications/foresight-new-and-emerging-occupational-safety-and-health-risks-associated> [Accessed: 20 October 2020].

- Stanton, A.N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H.W. (2005) *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. 3rd Edition. Boca Raton, CRC Press. DOI: 10.1201/9781420055948.ch36.
- Stanton, A.N., Salmon, M.P., Walker, H.G., Baber, C., Jenkins, D.P. (2018) *Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design*. New York, Routledge.
- Stanton, A.N., Young, M.S. & Harvey, C. (2014) *Guide to methodology in Ergonomics: Designing for Human use*. 2nd Edition. Boca Raton, CRC Press. DOI: 10.1080/00140139.2014.1000019.
- Stanton, N.A. (2006) Hierarchical task analysis: developments, applications, and extensions. *Applied Ergonomics*, 37(1), 55–79. DOI: 10.1016/j.apergo.2005.06.003.
- Stephens, M.P. & Meyers, F.E. (2013) *Manufacturing Facilities - Design & Material Handling*. 5th Edition. Indiana, Pearson Education, Inc. DOI: 10.2307/j.ctv15wxptd.
- Stinson, L. (2015) *An Exoskeleton That Acts Like a Wearable Chair*. [Online]. WIRED. Available from: <https://www.wired.com/2015/03/exoskeleton-acts-like-wearable-chair/> [Accessed: 4 March 2021].
- Strobl, M. (2019). Red Wine Bottling and Packaging. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st ed. London: Academic Press. Chapter 22. pp. 323-339. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00022-0.
- Sukhodolov, Y. (2019) The Notion, Essence, and Peculiarities of Industry 4.0 as a Sphere of Industry. In: E. Popkova, Y. Ragulina, & A. Bogoviz (eds.). *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century. Studies in Systems, Decision and Control, vol 169*. Springer, Cham. pp. 3–10. DOI: 10.1007/978-3-319-94310-7_1.
- Sundmaeker, H., Guillemin, P., Friess, P., Woelfflé, S. (2010) *Vision and challenges for realizing the internet of things*. [Online]. Luxembourg, Publications Office of the European Union. Available from: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Clusterbook_March_2010.pdf. [Accessed: 14 February 2021].
- Taghavifard, M.T. (2012) Scheduling Cellular Manufacturing Systems Using ACO and GA. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*, 3(1), January, 48–64. DOI: 10.4018/jamc.2012010105
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F. (2018) Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9), 3563–3576. DOI: 10.1007/s00170-017-0233-1.

- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C. (2019) Digital Twin in Industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415. DOI: 10.1109/TII.2018.2873186.
- Tao, F., Zhang, M. & Nee, A.Y.C. (2019) *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*. London, Elsevier Inc. DOI: 10.1016/C2018-0-02206-9.
- Tappin, D.C., Vitalis, A. & Bentley, T.A. (2016) The application of an industry level participatory ergonomics approach in developing MSD interventions. *Applied Ergonomics* 52, January, 151–159. DOI: 10.1016/j.apergo.2015.07.007.
- Tavares, A.C. (2020) *Causas Básicas da Sinistralidade Laboral - 3 Níveis de Ação*. [Online]. Security Magazine - Revista dos Profissionais da Segurança. Available from: <https://www.securitymagazine.pt/2020/09/10/causas-basicas-da-sinistralidade-laboral-3-niveis-acao/> [Accessed: 26 April 2021].
- Teixeira, J., Reis, A., Mendes, F., Vergara, L. (2019) Collaborative Robots. In: Pedro M. Arezes, João S. Baptista, Mónica P. Barroso, Paula Carneiro, et al. (eds.). *Occupational and Environmental Safety and Health - Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham. pp. 791–796. DOI: 10.1007/978-3-030-14730-3_83.
- Tesniere, C. & Flanzky, C. (2011). Carbonic Maceration Wines: Characteristics and Winemaking Process. In: Jackson, S.R. (ed.). *Advances in Food and Nutrition Research*. 1st Edition. San Diego: Academic Press. Chapter 1. pp. 1-15. DOI: 10.1016/B978-0-12-384927-4.00001-4.
- The MathWorks Inc. (2021) *Build Fuzzy Systems Using Fuzzy Logic Designer*. [Online]. MathWorks. Available from: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/building-systems-with-fuzzy-logic-toolbox-software.html> [Accessed: 9 September 2021].
- Theurel, J., Desbrosses, K., Roux, T., Savescu, A. (2018) Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Applied Ergonomics*, 67, February, 211–217. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.10.008.
- Thilmany, J. (2017) Digital World Spawns Identical Twins. *Mechanical Engineering*, 139 (10), 32–37. DOI: 10.1115/1.2017-Oct-1.
- Tiacci, L. (2020) Object-oriented event-graph modeling formalism to simulate manufacturing systems in the Industry 4.0 era. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 99, February, 102027. DOI: 10.1016/j.simpat.2019.102027.
- Toro-Jarrín, M.A., Ponce-Jaramillo, I.E. & Güemes-Castorena, D. (2016) Methodology for the of building process integration of Business Model Canvas and Technological Roadmap. *Technological Forecasting and Social Change*, 110, 213–225. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.01.009.
- Torreggiani, D., Benni, S., Corzani, V., Tassinari, P., Galassi, S. (2011) A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical Italian wine

- productions. *Land Use Policy*, 28(1), 11–18. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.04.001.
- Trillas, E. & Eciolaza, L. (2015) *Fuzzy Logic: An Introductory Course for Engineering Students*. Janusz Kacprzyk (ed.). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-14203-6.
- Tsutsui, S. (2006). An Enhanced Aggregation Pheromone System for Real-Parameter Optimization in the ACO Metaphor. In Dorigo, M., Gambardella, L.M., Birattari, M., Martinoli, A., Poli, R. & Stützle, T. (eds.). 5th International Workshop, ANTS 2006, Brussels, 2006: pp. 60-71. DOI: 10.1007/11839088.
- Umbarkar, A.J. & Sheth, P.D. (2015) Crossover Operators in Genetic Algorithms: A Review. *ICTACT Journal on Soft Computing*, 6 (1), October, 1083-1092. DOI: 10.21917/ijsc.2015.0150
- Unger, H., Markert, T. & Müller, E. (2018) Evaluation of use cases of autonomous mobile robots in factory environments. *Procedia Manufacturing*, 17, 254–261. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.10.044.
- Vaidya, S., Ambad, P. & Bhosle, S. (2018) Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.034.
- Vasilyev, N., Gromyko, V. & Anosov, S. (2019) Deep-Learned Artificial Intelligence and System-Informational Culture Ergonomics. In: Tareq Ahram (ed.). *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering, Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Artificial Intelligence and Social Computing, the AHFE International Conference on Human Factors, Software, Service and Systems Engineering, and the AHFE International Conference of Human Factors in Energy*, 24-28 July, Washington D.C., USA. pp. 142-153. DOI: 10.1007/978-3-030-20454-9_14
- Veile, J., Daniel, K., Marius, M.J., Kai-Ingo, V. (2019) Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977–997. DOI: 10.1108/JMTM-08-2018-0270.
- Venkataramanaiah, S. (2008) Scheduling in cellular manufacturing systems: an heuristic approach. *International Journal of Production Research*, 46(2), 429–449. DOI: 10.1080/00207540601138577.
- Vernhet, A. (2019). Red Wine Clarification and Stabilization. In: Morata, A. (ed.). *Red Wine Technology*. 1st ed. London: Academic Press. Chapter 16. pp. 237-251. DOI: 10.1016/B978-0-12-814399-5.00016-5.
- Vestin, A., Säfsten, K. & Löfving, M. (2020). Revealing the Content of Industry 4.0: A Review of Literature. In Säfsten, K. & Elgh, F. (eds.). 9th Swedish Production Symposium (SPS2020), JTH, Industrial Product Development, Production and

- Design, School of Engineering, Jönköping University, 2020: pp. 563-574. DOI: 10.3233/ATDE200195.
- Vila, J. (2004) Psychophysiological Assessment. *Encyclopedia of Applied Psychology*, 197–203. DOI: 10.1016/B0-12-657410-3/00512-2.
- Wang, D. & Bai, Y. (2006). Implementation of Fuzzy Logic Control Systems. In: Bai, Y., Zhuang, H. & Wang, D. (eds.). *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*. London: Springer London. pp. 37-52. DOI: 10.1007/978-1-84628-469-4_3.
- Wang, L., Gao, R., Váncza, J., Krüger, J., Wang, X.V., Makris, S., Chryssolouris, G. (2019) Symbiotic human-robot collaborative assembly. *CIRP Annals*, 68(2), 701–726. DOI: 10.1016/j.cirp.2019.05.002.
- Wang, R., Wang, Y., Gundersen, T., Wu, Y., Feng, X., Liu, M. (2020) A layout design method for an industrial park based on a novel arrangement algorithm – Consideration of pipe network and multiple hazard sources. *Chemical Engineering Science*, 227, December, 115929. DOI: 10.1016/j.ces.2020.115929.
- Weckenborg, C., Kieckhäfer, K., Müller, C., Grunewald, M., Spengler, T.S. (2019) Balancing of assembly lines with collaborative robots. *Business Research*, 13(1), 93–132. DOI: 10.1007/s40685-019-0101-y.
- Weckenborg, C. & Spengler, T.S. (2019) Assembly Line Balancing with Collaborative Robots under consideration of Ergonomics: a cost-oriented approach. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1860–1865. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.473.
- WEG (2020) *As fábricas inteligentes da Indústria 4.0*. [Online]. WEG Institutional Website. Available from: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/as-fabricas-inteligentes-da-industria-4-0> [Accessed: 8 December 2020].
- Weir, J.B. (1949) New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of Physiology*, Aug, 109(1-2), 1-9. DOI: 10.1113/jphysiol.1949.sp004363.
- Whittington, P. & Dogan, H. (2018) 8 - Human Factors in Transportation Cyber-Physical Systems: A Case Study of a Smart Automated Transport and Retrieval System (SmartATRS). *Transportation Cyber-Physical Systems*, pp. 201–226. DOI: 10.1016/B978-0-12-814295-0.00008-3.
- Wickens, C. (2008) Multiple Resources and Mental Workload. *Human factors*, 50(3), 449–455. DOI: 10.1518/001872008X288394.
- Wilms, M., Bergs, T., Arntz, K., Johannsen, L., Strassburg, S. (2019) Development of a decision logic for the selection of a flexible robotic system for the automated manufacturing in tooling. *Procedia CIRP*, 81, 435–440. DOI:

- 10.1016/j.procir.2019.03.075.
- Wilson, R.J. & Sharples, S. (2015). Methods in the Understanding of Human Factors. In: Wilson, R.J. & Sharples, S. (eds.). *Evaluation of Human Work*. 4th Edition ed. Boca Raton: CRC Press. Chapter 1. pp. 1-36. DOI: 10.1201/9781420055948.ch1.
- Wine Communications Group, I. (2021) *The Leading Source for Wine Industry Data*. [Online]. Wines Vines Analytics. Available from: <https://winesvinesanalytics.com> [Accessed: 29 May 2021].
- Winegrid (2021) *Sistemas de Monitorização*. [Online]. Innovation Award. Available from: <https://www.winegrid.com/pt/> [Accessed: 8 September 2021].
- Winter, J.C.F., Eisma, Y.B., Cabrall, C.D.D., Hancock, P.A., Stanton, N.A. (2019) Situation awareness based on eye movements in relation to the task environment. *Cognition, Technology & Work*, 21(1), 99–111. DOI: 10.1007/s10111-018-0527-6.
- Wolf, S.P., Klein, G.A. & Thordsen, M.L. (1991) Decision-centered design requirements. In: *Proceedings of the IEEE 1991 National Aerospace and Electronics Conference (NAECON 1991)*, 20-24 May, Dayton, USA. pp. 800–805, vol.2. DOI: 10.1109/NAECON.1991.165845.
- WorkSafeBC (2009) Health and safety for Small and Medium-sized Wineries. *Workers' Compensation Board of British Columbia*. [Online]. Available from: <https://www.worksafebc.com/en/health-safety/industries/manufacturing/types/food-beverage-processing> [Accessed: 12 June 2021].
- WorkSafeBC (2018) *Health and Safety for Wineries and Vineyards*. [Online] WorkSafeBC. Available from: <https://www.worksafebc.com/resources/health-safety/books-guides/health-and-safety-for-winerries-vineyards?lang=en&direct> [Accessed: 12 June 2021].
- WSET (2016) *WSET Level 3 Award in Wines*. London, Wine & Spirit Education Trust.
- WSET (2020) *WSET Level 4 Diploma in Wines*. London, Wine & Spirit Education Trust.
- Xie, W., Deng, Z., Ding, B. & Kuang, H. (2015) Fixture layout optimization in multi-station assembly processes using augmented ant colony algorithm. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, Part 1, 277–289. DOI: 10.1016/j.jmsy.2014.08.005.
- Xu, R., Chen, H. & Li, X. (2013) A bi-objective scheduling problem on batch machines via a Pareto-based ant colony system. *International Journal of Production Economics*, 145(1), 371–386. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.04.053.
- Yang, J.H., Mao, Z., Tijerina, L., Pilutti, T., Coughlin, J.F., Feron, E. (2009) Detection of Driver Fatigue Caused by Sleep Deprivation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 39 (4), 694–705. DOI: 10.1109/TSMCA.2009.2018634.

- Yarpiz (2021) *Ant Colony Optimization (ACO)*. [Online]. Available from: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52859-ant-colony-optimization-aco> [Accessed: 12 August 2021].
- Yoo, Y., Boland, R.J., Lyytinen, K. & Majchrzak, A. (2012) Organizing for innovation in the digitized world. *Organization Science*, 23(5). DOI: 10.1287/orsc.1120.0771.
- Youakim, S. (2006) Occupational health risks of wine industry workers. *British Columbia Medical Journal*, 48(8), 386–391.
- Young, M.S., Brookhuis, K.A., Wickens, C.D. & Hancock, P.A. (2015) State of Science: Mental Workload in Ergonomics. *Ergonomics*, 58 (1), 1–17. DOI: 10.1080/00140139.2014.956151.
- Zalazar, D.G., Muñoz, G.M. & Rodriguez, R.A. (2015) Risk Analysis in the Production of Wine. *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research*, 2(6), June, 0446–0454.
- Zhan, T., Yin, K., Xiong, J., He, Z., Wu, S.-T. (2020) Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges. *iScience*, 23(8), 101397. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101397.
- Zhang, Y., Sun, J., Jiang, T. & Yang, Z. (2019) Cognitive Ergonomic Evaluation Metrics and Methodology for Interactive Information System. In: Tareq Ahram (ed.). *Advances in Artificial Intelligence, Software and Systems Engineering, Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Artificial Intelligence and Social Computing, the AHFE International Conference on Human Factors, Software, Service and Systems Engineering, and the AHFE International Conference of Human Factors in Energy*, 24-28 July, Washington D.C., USA. pp. 559-570. DOI:10.1007/978-3-030-20454-9_55.
- Zhang, Z., Tang, Q., Ruiz, R. & Zhang, L. (2020) Ergonomic risk and cycle time minimization for the U-shaped worker assignment assembly line balancing problem: A multi-objective approach. *Computers & Operations Research*, 118, June, 104905. DOI: 10.1016/j.cor.2020.104905.
- Zhao, Q. (2020). Presents the Technology, Protocols, and New Innovations in Industrial Internet of Things (IIoT). In: Kanagachidambaresan, G.R., Balasubramanian, R.a.E. & Mahima, V. (eds.). *Internet of Things for Industry 4.0: Design, Challenges and Solutions*. Cham: Springer. Chapter 3. pp. 39-56. doi: 10.1007/978-3-030-32530-5_3.
- Zhou, J., Yao, X., Lin, Y., Chan, F.T.S., Yun, L. (2018) An adaptive multi-population differential artificial bee colony algorithm for many-objective service composition in cloud manufacturing. *Information Sciences*, 456, August, 50–82. DOI: 10.1016/j.ins.2018.05.009.

Zolotová, I., Papcun, P., Kajáti, E., Miškuf, M., Mocnej, J. (2020) Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies. *Computers & Industrial Engineering*, 139, January, 105471. DOI: 10.1016/j.cie.2018.10.032.

Apêndice I:

Critérios de segurança estabelecidos com base no Método William T. Fine e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola

Critérios de segurança e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima)

A Tabela 77 apresenta os critérios de segurança estabelecidos com base da descrição do método W.T. Fine (W.F.), bem como a avaliação dos riscos identificados e compilados através da revisão bibliográfica efetuada para o caso específico do setor vinícola durante a época alta, mais concretamente durante a vindima.

É se salientar que os critérios de segurança, bem como a avaliação de riscos sintetizada na Tabela 77 foram obtidos por estimativa com base nos trabalhos realizados pelos autores Anaya-Aguilar et al. (2018); Checchi & Casazza (2012); Eurisko (2011); Youakim (2006).

Tabela 77 - Estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época alta (durante a vindima).

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|--|------------------------|----|----|----------------------|-------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área de receção de matérias-primas (Uvas) | | | | | |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Queda de objetos/materiais | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Esmagamentos | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Atropelamento | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 10 | 25 | 3 | 750 | Muito alto |
| Exposição ao ruído | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Riscos elétricos | 2 | 15 | 6 | 180 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 467,1 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|---|------------------------|----|----|----------------------|-------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área de vinificação | | | | | |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas em altura | 2 | 15 | 6 | 180 | Notável |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Exposição a gases tóxicos (CO ₂ , SO ₂) | 10 | 15 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Exposição a agentes cancerígenos | 6 | 15 | 10 | 900 | Muito alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 3 | 270 | Notável |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a ambientes hipóxicos (causados por baixas concentrações de oxigénio atmosférico) | 6 | 25 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Exposição ao ruído | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 574,6 | Muito alto |
| Área de Fermentação | | | | | |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Exposição a gases tóxicos (CO ₂ , SO ₂) | 10 | 15 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Exposição a agentes cancerígenos | 6 | 15 | 10 | 900 | Muito alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a ambientes hipóxicos (causados por baixas concentrações de oxigénio atmosférico) | 6 | 25 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 3 | 25 | 3 | 225 | Alto |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 3 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 571,5 | Muito alto |
| Área para Clarificação/Estabilização | | | | | |
| Fadiga física | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Exposição ao ruído | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 436,3 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|--|------------------------|----|----|----------------------|-------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área para Filtragem | | | | | |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Exposição ao ruído | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 462,9 | Muito alto |

| | | | | | |
|--|----|----|----|--------------|-------------------|
| Área de armazenamento/Conservação/Estágio de vinhos em cubas Inox | | | | | |
| Quedas em altura | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 3 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Exposição a vapores | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 6 | 50 | 6 | 1800 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Erosão dentária | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 3 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 580,0 | Muito alto |

| | | | | | |
|--|----|----|----|--------------|-------------------|
| Área de Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | | | | | |
| Quedas em altura | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 10 | 15 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Esmagamento | 10 | 25 | 6 | 1500 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 702,9 | Muito alto |

| | | | | | |
|--|---|----|---|-----|------------|
| Área de Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | | | | | |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 3 | 50 | 6 | 900 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|-----------------------------------|------------------------|----|---|----------------------|-----------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Dificuldades respiratórias | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Stress térmico | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Queimaduras | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 277,5 | Alto |

| Área de elaboração de lotes | | | | | |
|--|----|----|---|--------------|-------------------|
| Quedas em altura | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Choques contra objetos | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 6 | 50 | 6 | 1800 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Erosão dentária | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 582,3 | Muito alto |

| Área de engarrafamento | | | | | |
|--|----|----|----|--------------|-------------------|
| Entalamentos | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Esmagamentos | 3 | 25 | 6 | 450 | Muito alto |
| Cortes | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Exposição ao ruído | 10 | 15 | 10 | 1500 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível; | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Queda de carga | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos biológicos | 3 | 5 | 3 | 45 | Moderado |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Exposição a radiação ultravioleta; inflamação dos tecidos do globo ocular e queimaduras cutâneas; | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Radiação infravermelha: queimaduras de pele, aumento persistente da pigmentação cutânea e lesões nos olhos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Laser: queimadura da córnea ocular, lesão grave da retina ou queimaduras da pele | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 555,8 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|--|------------------------|----|----|----------------------|-----------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área de armazenagem de Materiais de Embalagem | | | | | |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Fadiga visual | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Queda de materiais | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Atropelamento | 2 | 25 | 6 | 300 | Alto |
| Capotamento do empilhador | 2 | 25 | 3 | 150 | Notável |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 293,6 | Alto |

| | | | | | |
|---|---|----|---|--------------|-------------|
| Área de armazenagem de Produto Semiacabado | | | | | |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Atropelamento | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |
| Fadiga visual | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Queda de carga | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Capotamento do empilhador | 2 | 25 | 3 | 150 | Notável |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 241,7 | Alto |

| | | | | | |
|---|----|----|---|--------------|-------------|
| Área de armazenagem de Produto Acabado | | | | | |
| Lesões músculo-esqueléticas | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Atropelamento | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Queda de carga | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 6 | 5 | 3 | 90 | Notável |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 346,7 | Alto |

| | | | | | |
|--|----|----|---|-----|------------|
| Área de embalagem | | | | | |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Esmagamentos | 3 | 25 | 6 | 450 | Muito alto |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Queda da carga | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Atropelamento | 3 | 25 | 3 | 225 | Alto |
| Queda de materiais | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 3 | 25 | 3 | 225 | Alto |
| Exposição a vibrações | 1 | 5 | 6 | 30 | Moderado |
| Exposição ao ruído | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Fadiga física | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|-----------------------------------|------------------------|----|---|----------------------|-----------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Risco elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 394,0 | Alto |

| Área de Expedição | | | | | |
|--|---|----|---|--------------|-------------------|
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga visual | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Atropelamento | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Queda da carga | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Esmagamentos | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição ao ruído | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 3 | 45 | Moderado |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 481,2 | Muito alto |

Critérios de segurança e avaliação dos riscos identificados no setor vinícola durante a época baixa (após a vindima)

A Tabela 78 apresenta os critérios de segurança estabelecidos com base da descrição do método W.F., bem como a avaliação dos riscos identificados e compilados através da revisão bibliográfica efetuada para o caso específico do setor vinícola durante a época baixa, especificamente após vindima.

Destaca-se também o facto dos critérios de segurança, bem como a avaliação de riscos sintetizada na Tabela 78, terem sido obtidos por estimativa com base nos trabalhos realizados pelos autores Anaya-Aguilar et al. (2018); Checchi & Casazza (2012); Eurisko (2011); Youakim (2006).

Tabela 78 - Estimativas dos critérios de Segurança, avaliação e quantificação dos riscos gerais no setor vinícola durante a época baixa (após vindima).

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|---|------------------------|----|-----|----------------------|------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área de receção de matérias-primas | | | | | |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Fadiga visual | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Fadiga física | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Queda de objetos/materiais | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Quedas em altura | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Quedas ao mesmo nível | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Choques contra objetos | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Entalamentos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Esmagamentos | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |
| Atropelamento | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |
| Capotamento do empilhador | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |
| Exposição ao ruído | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Exposição a vibrações | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Riscos elétricos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 0,6 | Aceitável |
| Área de vinificação | | | | | |
| Fadiga física | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Quedas ao mesmo nível | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Quedas em altura | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Choques contra objetos | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Exposição a gases tóxicos (CO ₂ , SO ₂) | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Riscos elétricos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Dificuldades respiratórias | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a ambientes hipóxicos (causados por baixas concentrações de oxigénio atmosférico) | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |
| Entalamentos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Lesões músculo-esqueléticas | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Exposição ao ruído | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a vibrações | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 0,7 | Aceitável |
| Área de Fermentação | | | | | |
| Fadiga física | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Quedas ao mesmo nível | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Quedas em altura | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Entalamentos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Choques contra objetos | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Exposição a gases tóxicos (CO ₂ , SO ₂) | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Exposição a ambientes hipóxicos (causados por baixas concentrações de oxigénio atmosférico) | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|-----------------------------------|------------------------|----|-----|----------------------|------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Lesões músculo-esqueléticas | 0,5 | 5 | 0,1 | 0,3 | Aceitável |
| Formação de atmosferas explosivas | 0,5 | 25 | 0,1 | 1,3 | Aceitável |
| Dificuldades respiratórias | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Riscos elétricos | 0,5 | 15 | 0,1 | 0,8 | Aceitável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 0,7 | Aceitável |

| Área para Clarificação/Estabilização | | | | | |
|---|---|----|----|--------------|----------------|
| Fadiga física | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Quedas ao mesmo nível | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Dificuldades respiratórias | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 3 | 5 | 10 | 150 | Notável |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Exposição ao ruído | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 166,3 | Notável |

| Área para Filtragem | | | | | |
|--|---|----|---|--------------|-------------------|
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Choques contra objetos | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Exposição a agentes cancerígenos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a substâncias químicas nocivas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Exposição ao ruído | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a vibrações | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 356,3 | Alto |

| Área de armazenamento/Conservação/Estágio de vinhos em cubas Inox | | | | | |
|--|---|----|----|--------------|-------------------|
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Lesões músculo-esqueléticas | 3 | 5 | 10 | 150 | Notável |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Choques contra objetos | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 3 | 50 | 6 | 900 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Erosão dentária | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 259,1 | Alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|--|------------------------|----|----|----------------------|-----------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Área de Armazenamento/Envelhecimento de Vinhos em Barricas de Madeira | | | | | |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 3 | 15 | 10 | 450 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Esmagamento | 3 | 25 | 6 | 450 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 270,0 | Alto |

| | | | | | |
|--|---|----|---|--------------|-------------|
| Área de Estufagem (Produção de Vinho Madeira) | | | | | |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Choques contra objetos | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 3 | 50 | 6 | 900 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Stress térmico | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Queimaduras | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Riscos elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 277,5 | Alto |

| | | | | | |
|--|----|----|---|--------------|-------------------|
| Área de elaboração de lotes | | | | | |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Entalamentos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Choques contra objetos | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a substâncias perigosas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Formação de atmosferas explosivas | 6 | 50 | 6 | 1800 | Muito alto |
| Dificuldades respiratórias | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Erosão dentária | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Riscos elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 505,9 | Muito alto |

| | | | | | |
|-------------------------------|----|----|----|------|------------|
| Área de engarrafamento | | | | | |
| Entalamentos | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Esmagamentos | 3 | 25 | 6 | 450 | Muito alto |
| Cortes | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Fadiga física | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Exposição ao ruído | 10 | 15 | 10 | 1500 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|--|------------------------|----|----|----------------------|-------------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Exposição a vibrações | 10 | 5 | 10 | 500 | Muito alto |
| Quedas em altura | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Quedas ao mesmo nível; | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Queda de carga | 10 | 15 | 6 | 900 | Muito alto |
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Riscos biológicos | 3 | 5 | 3 | 45 | Moderado |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Exposição a radiação ultravioleta; inflamação dos tecidos do globo ocular e queimaduras cutâneas; | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Radiação infravermelha: queimaduras de pele, aumento persistente da pigmentação cutânea e lesões nos olhos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| <u>Radiação não ionizante:</u> Laser: queimadura da córnea ocular, lesão grave da retina ou queimaduras da pele | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição a vapores | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 555,8 | Muito alto |

| Área de armazenagem de Materiais de Embalagem | | | | | |
|---|---|----|----|--------------|-------------|
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Fadiga visual | 6 | 5 | 10 | 300 | Alto |
| Queda de materiais | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Atropelamento | 2 | 25 | 6 | 300 | Alto |
| Capotamento do empilhador | 2 | 25 | 3 | 150 | Notável |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 293,6 | Alto |

| Área de armazenagem de Produto Semiacabado | | | | | |
|--|---|----|---|--------------|-------------|
| Lesões músculo-esqueléticas | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Atropelamento | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |
| Fadiga visual | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Queda de materiais | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Capotamento do empilhador | 2 | 25 | 3 | 150 | Notável |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 6 | 90 | Notável |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 3 | 135 | Notável |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 241,7 | Alto |

| Área de armazenagem de Produto Acabado | | | | | |
|--|----|----|---|-----|------------|
| Lesões músculo-esqueléticas | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Atropelamento | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Queda de materiais | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 6 | 25 | 3 | 450 | Muito alto |

| Riscos | Critérios de Segurança | | | Avaliação | |
|-----------------------------------|------------------------|----|---|----------------------|-----------------|
| | E | C | P | Grau de Perigosidade | Índice de Risco |
| Exposição a vibrações | 6 | 5 | 3 | 90 | Notável |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Risco elétricos | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 346,7 | Alto |

| Área de embalagem | | | | | |
|--|----|----|---|--------------|-------------|
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Esmagamentos | 3 | 25 | 6 | 450 | Muito alto |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Queda da carga | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Atropelamento | 3 | 25 | 3 | 225 | Alto |
| Queda de materiais | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 3 | 25 | 3 | 225 | Alto |
| Exposição a vibrações | 1 | 5 | 6 | 30 | Moderado |
| Exposição ao ruído | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Fadiga visual | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Fadiga física | 10 | 5 | 6 | 300 | Alto |
| Risco elétricos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 394,0 | Alto |

| Área de Expedição | | | | | |
|--|---|----|---|--------------|-------------------|
| Lesões músculo-esqueléticas (dorso lombares) | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga física | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Fadiga visual | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas em altura | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Quedas ao mesmo nível | 6 | 5 | 6 | 180 | Notável |
| Atropelamento | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Queda da carga | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Capotamento do empilhador | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Esmagamentos | 6 | 25 | 6 | 900 | Muito alto |
| Entalamentos | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Exposição ao ruído | 3 | 15 | 6 | 270 | Alto |
| Exposição a vibrações | 3 | 5 | 3 | 45 | Moderado |
| Cortes | 6 | 15 | 6 | 540 | Muito alto |
| Grau de Perigosidade Médio | | | | 481,2 | Muito alto |

Apêndice II:

Atividades dos processos produtivos do setor vinícola, principais tarefas envolvidas e as respectivas estimativas em termos de dispêndio de energia metabólica

Na Tabela 79 encontram-se descritas e detalhadas as atividades que fazem parte das várias etapas dos processos produtivos do setor vinícola, com referência das principais tarefas envolvidas e as respectivas estimativas em termos de dispêndio de energia metabólica associada. As estimativas foram efetuadas com base na comparação com várias tarefas estudadas em diversos trabalhos de investigação (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Ainsworth et al., 2011).

É de destacar que a determinação do dispêndio de energia, bem como a classificação do respetivo nível, foi efetuado tendo como base uma pessoa do sexo masculino com um peso médio de 70kg (Jetté, Sidney & Blümchen, 1990; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020; Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Ainsworth *et al.*, 2011).

Tabela 79 - Resumo das atividades integrantes dos processos produtivos do setor vinícola, com referência das principais tarefas envolvidas e as respectivas estimativas de dispêndio de energia metabólica (Eurisko, 2011; Youakim, 2006; Checchi & Casazza, 2012; Anaya-Aguilar et al., 2018; WorkSafeBC, 2018, 2009; Zalazar, Muñoz & Rodriguez, 2015; Ainsworth et al., 2000; Kroemer, Kroemer & Kroemer-Elbert, 2020; Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2011).

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|-----------------------------|---|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| Receção e descarga das uvas | Descarga de veículo/despejo de caixas com uvas (Movimentação manual de cargas) | 6,0 | 7,5 | Pesado |
| | Trabalho pesado em posição de pé | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Subir e descer da caixa de carga das viaturas/ trator com reboque (Trabalho em desnível) | 8,8 | 11,0 | Muito pesado |
| | Descer e subir escadas para acesso ao tegão para manutenção/limpeza do tegão (Trabalho em desnível) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| Média: | | 5,9 | 7,3 | Moderado |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---------------------------|---|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| Seleção/triagem das uvas | Movimentação de caixas com uvas rejeitadas (Movimentação manual de cargas) | 6,5 | 8,1 | Muito pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,0 | 6,3 | Moderado |
| Desengace/ Esmagamento | Abertura de sistema de desengace/esmagamento e desmontagem/ montagem de componentes para desobstrução/manutenção/ limpeza (Movimentação manual de cargas) | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Remoção do engaçó (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Subir e descer escadas para acesso ao sistema de extração/condutas para manutenção/limpeza do sistema de extração/condutas (Trabalho em desnível) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Manutenção/limpeza do sistema de extração/condutas | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,3 | 6,6 | Moderado |
| Sulfitagem | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| Clarificação de mostos | Transporte de materiais filtrantes (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Remoção de resíduos da filtração (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho pesado em posição de pé | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| Média: | | 6,9 | 8,6 | Moderado |
| Preparação do mosto | Higienização/preparação das cubas de fermentação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---|---|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| Controlo da Fermentação Alcoólica | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Controlo de fermentação | 4,2 | 5,3 | Leve |
| Média: | | 5,0 | 6,3 | Moderado |
| Verificação/acompanhamento da Maceração | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Muito pesado |
| Média: | | 4,7 | 5,9 | Moderado |
| Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| Sangria/Desencuba | Higienização/preparação das cubas de fermentação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Remoção das massas vínicas e operações de trasfega (Movimentação manual de cargas) | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho pesado em posição de pé | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| Média: | | 5,7 | 7,1 | Moderado |
| Esgotamento/Prensagem | Acesso às prensas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Abertura do sistema de Esgotamento/Prensagem e desmontagem/ montagem de componentes quando necessário (Movimentação manual de cargas) | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas de fermentação (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|--|--|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,9 | 7,3 | Moderado |
| Fermentação Malolática (vinhos tintos) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| Fortificação (adição de aguardente vínica) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| Ajustes enológicos | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,6 | 7,0 | Moderado |
| Elaboração de lotes base | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,8 | 7,2 | Moderado |
| Estabilização/Clarificação | Operar/controlar sistema de estabilização/clarificação | 2,5 | 3,1 | Leve |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|--|---|---|-----------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Movimentação de materiais para estabilização/clarificação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| | Média: | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| Filtragem | Transporte de materiais para filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Remoção de resíduos da filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 6,0 | 7,5 | Moderado | |
| Sulfitagem | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 4,7 | 5,9 | Moderado | |
| Armazenamento/ Estágio (barricas de madeira) | Preparação das barricas de madeira | 7,0 | 8,8 | Moderado |
| | Condução de empilhador (transporte de barricas de madeira) | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Acondicionamento/empilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos (Movimentação manual de cargas) | 7,5 | 9,4 | Moderado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Acesso às filas de barricas nos níveis mais altos (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho pesado em posição de pé | 4,5 | 5,6 | Moderado |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---|--|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Desempenhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos após estágio (Movimentação manual de cargas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| Média: | | 6,1 | 7,6 | Moderado |
| Armazenamento/ Estágio (cubas inox) | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 6,3 | 7,9 | Moderado |
| Estufagem (Produção de vinho Madeira) | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Manutenção/verificação da tubagem para circulação de água para aquecimento (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Manutenção/verificação das caldeiras para aquecimento (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 5,2 | 6,6 | Moderado |
| Elaboração de lotes (Blending) | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 6,3 | 7,9 | Moderado |
| Estabilização/ Clarificação | Operar/controlar sistema de estabilização/clarificação | 2,5 | 3,1 | Leve |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|-----------------------------------|--|---|-----------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Transporte de materiais para estabilização/clarificação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| | Média: | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| Filtragem | Transporte de materiais para filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Remoção de resíduos da filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,00 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 6,0 | 7,5 | Moderado | |
| Correções finais | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 5,6 | 7,0 | Moderado | |
| Receção de materiais de embalagem | Processo de Verificação (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 | 7,3 | Moderado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Corte e remoção de plástico | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 3,7 | 4,7 | Moderado | |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|--------------------------|---|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| Despaletização | Corte e remoção de plástico | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Abastecimento de garrafas na linha de engarrafamento (Movimentação manual de cargas) | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 3,4 | 4,2 | Moderado |
| Enxaguamento de garrafas | Operar/controlar sistema de enxaguamento de garrafas | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Enchimento | Operar/controlar sistema de enchimento | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de enchimento (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de enchimento (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de enchimento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Rolhamento ou vedação | Operar/controlar sistema de rolhamento ou vedação | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de rolhamento ou vedação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de rolhamento ou vedação (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de rolhamento ou vedação pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|------------------------------|---|---|------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Capsulagem | Operar/controlar sistema de capsulagem | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de capsulagem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de capsulagem (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de capsulagem pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Rotulagem e marcação de lote | Operar/controlar sistema de rotulagem e marcação de lote | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de rotulagem e marcação de lote (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de rotulagem e marcação de lote (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de rotulagem e marcação de lote pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Encaixotamento | Operar/controlar sistema de encaixotamento | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de encaixotamento (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Manutenção do sistema de encaixotamento (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de encaixotamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Fecho e marcação das caixas | Operar/controlar sistema de fecho e marcação das caixas | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Higienização/preparação do sistema de fecho e marcação das caixas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |

| Atividades | Principais tarefas envolvidas | Estimativa de dispêndio de energia metabólica | | Nível |
|---------------|--|---|-----------------|-----------------|
| | | MET | kcal/min | |
| | Manutenção do sistema de fecho e marcação das caixas (Movimentação manual de cargas) | 3,0 | 3,8 | Leve |
| | Acesso ao sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| | Média: | 4,9 | 6,1 | Moderado |
| Paletização | Operar/controlar sistema de paletização | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Posicionamento das paletes (Movimentação manual de cargas) | 4,5 | 5,6 | Moderado |
| | Acondicionamento das caixas de produto acabado nas paletes (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 4,2 | 5,2 | Moderado | |
| Armazenagem | Arrumação de caixas de produto acabado (Movimentação manual de cargas) | 8,0 | 10,0 | Muito pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 4,7 | 5,8 | Moderado | |
| Expedição | Verificação de paletes (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 | 9,4 | Pesado |
| | Condução de empilhador | 2,5 | 3,1 | Leve |
| | Trabalho moderado em posição de pé | 3,5 | 4,4 | Leve |
| Média: | 4,5 | 5,6 | Moderado | |

Apêndice III:

Avaliação de riscos ergonômicos com base na estimativa da energia metabólica despendida na execução das tarefas

A Tabela 80 apresenta estimativas das energias metabólicas que normalmente são despendidas durante a execução das tarefas na produção vinícola. É de destacar que as estimativas foram efetuadas com base na comparação com várias tarefas estudadas em diversos trabalhos de investigação, sendo que os valores de energia metabólica (METs) correspondem a médias obtidas tendo em consideração as diferenças de género, idade, percepção do esforço e do ritmo aplicado (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Ainsworth et al., 2011).

Tabela 80 - Estimativa comparativa da energia metabólica que normalmente é despendida na execução das tarefas durante de produção vinícola, de acordo com as tarefas estudadas em vários trabalhos de investigação (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Ainsworth et al., 2011).

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|---|--|--|-------------|
| 1 | Descarga de veículos/despejo de caixas com uvas (Movimentação manual de cargas) | Manuseamento de ferramentas pesadas, tarefas na área da construção, trabalhos de exterior | 6,0 |
| 2 | Trabalho pesado em posição de pé | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | 4,5 |
| 3 | Condução de empilhador | Tarefas sentadas, esforço moderado (por exemplo, empurrar alavancas pesadas, condução de empilhador, operação de grua) | 2,5 |
| 4 | Subir e descer da caixa de carga das viaturas/ trator com reboque (Trabalho em desnível) | Subir uma escada, ritmo acelerado | 8,8 |
| 5 | Trabalho moderado em posição de pé | Trabalho em pé com esforço moderado, levantamento de itens continuamente, 4,5 - 9 kg, com caminhada ou descanso limitado | 3,5 |
| 6 | Trabalho leve em posição de pé | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|----|---|--|-------------|
| 7 | Descer e subir escadas para acesso ao telhado para manutenção/limpeza do sistema (Trabalho em desnível) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 8 | Controlo de fermentação | Adar em velocidade lenta, carregando objetos pesados com mais de 11,34 kg | 4,2 |
| 9 | Manutenção/limpeza do telhado | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 10 | Movimentação de caixas com uvas rejeitadas (Movimentação manual de cargas) | Trabalho manual ou não especializado, esforço geral vigoroso | 6,5 |
| 11 | Abertura de sistema de desengace/esmagamento e desmontagem/ montagem de componentes para desobstrução/manutenção/ limpeza (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | 4,5 |
| 12 | Remoção do engajo (Movimentação manual de cargas) | Transportar/carregar cargas pesadas (por exemplo, tijolos, ferramentas) | 8,0 |
| 13 | Subir e descer escadas para acesso ao sistema de extração/conduitas para manutenção/limpeza do sistema (Trabalho em desnível) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 14 | Manutenção/limpeza do sistema de extração/conduitas | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | 4,5 |
| 15 | Transporte de materiais filtrantes (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 16 | Remoção de resíduos da filtragem (Movimentação manual de cargas) | Transportar/carregar cargas pesadas (por exemplo, tijolos, ferramentas) | 8,0 |
| 17 | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | Transportar/carregar cargas pesadas (por exemplo, tijolos, ferramentas) | 8,0 |
| 18 | Acesso superior às cubas de fermentação (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 19 | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 20 | Higienização/preparação das cubas de fermentação (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 21 | Acesso às prensas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 22 | Remoção das massas vínicas e operações de trasfega (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de | 4,5 |

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|----|---|--|-------------|
| | | mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | |
| 23 | Abertura do sistema de Esgotamento/Prensagem e desmontagem/ montagem de componentes quando necessário (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | 4,5 |
| 24 | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 25 | Transporte de materiais para estabilização/clarificação (Movimentação manual de cargas) | Transportar/carregar cargas pesadas (por exemplo, tijolos, ferramentas) | 8,0 |
| 26 | Preparação das barricas de madeira | Carpintaria, esforço geral, pesado ou vigoroso | 7,0 |
| 27 | Acondicionamento/empilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos (Movimentação manual de cargas) | Mover, carregar ou empurrar objetos pesados com 34 kg ou mais, apenas tempo ativo (por exemplo, mesas) | 7,5 |
| 28 | Acesso às filas de barricas nos níveis mais altos (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 8,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 29 | Desempilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos após estágio (Movimentação manual de cargas) | Mover, carregar ou empurrar objetos pesados com 34 kg ou mais, apenas tempo ativo (por exemplo, mesas) | 7,5 |
| 30 | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 31 | Manutenção/verificação da tubagem para circulação de água para aquecimento (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 32 | Manutenção/verificação das caldeiras para aquecimento (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 33 | Corte e remoção de plástico | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 34 | Abastecimento de garrafas na linha de engarrafamento (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço moderado, levantamento de objetos | 4,5 |

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|----|---|--|-------------|
| | | continuamente, 4,5 - 9 kg, com caminhada ou descanso limitado | |
| 35 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 36 | Opera/controlar sistema de enxaguamento de garrafas | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 37 | Manutenção do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 38 | Acesso ao sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 4,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 39 | Higienização/preparação do sistema de enchimento (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 40 | Operar/controlar sistema de enchimento | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 41 | Manutenção do sistema de enchimento (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 42 | Acesso ao sistema de enchimento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir escadas) | Subir escadas | 4,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 43 | Higienização/preparação do sistema de rolhamento ou vedação (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 44 | Opera/controlar sistema de rolhamento ou vedação | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 45 | Manutenção do sistema de rolhamento ou vedação (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 46 | | Subir escadas | 4,0 |

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|----|---|--|-------------|
| | Acesso ao sistema de rolhamento ou vedação pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Descer escadas | 3,5 |
| 47 | Higienização/preparação do sistema de rotulagem e marcação de lote (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 48 | Opera/controlar sistema de rotulagem e marcação de lote | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 49 | Manutenção do sistema de rotulagem e marcação de lote (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 50 | Acesso ao sistema de rotulagem e marcação de lote pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Subir escadas | 4,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 51 | Higienização/preparação do sistema de encaixotamento (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 52 | Operar/controlar sistema de encaixotamento | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 53 | Manutenção do sistema de encaixotamento (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 54 | Acesso ao sistema de encaixotamento pela parte superior (Trabalho em desnível - (Subir e descer escadas) | Subir escadas | 4,0 |
| | | Descer escadas | 3,5 |
| 55 | Higienização/preparação do sistema de fecho e marcação das caixas (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 56 | Operar/controlar sistema de fecho e marcação das caixas | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 57 | Manutenção do sistema de fecho e marcação das caixas (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 58 | | Subir escadas | 4,0 |

| | Tarefa de produção vinícola | Tarefas comparativas | METS |
|----|--|--|-------------|
| | Acesso ao sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Descer escadas | 3,5 |
| 59 | Posicionamento das paletes (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com tarefas moderadas/pesadas (por exemplo, levantamento de mais de 23 kg, trabalhos de alvenaria, pintura) | 4,5 |
| 60 | Acondicionamento das caixas de produto acabado nas paletes (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 61 | Arrumação de caixas de produto acabado (Movimentação manual de cargas) | Transporte de cargas moderadas subindo escadas, mover caixas de 11-22 kg | 8,0 |
| 62 | Operar/controlar sistema de Paletização | Operar equipamentos pesados, automatizados, não inclui condução de veículos/equipamentos | 2,5 |
| 63 | Manutenção do sistema de Paletização (Movimentação manual de cargas) | Trabalho em pé com esforço leve/moderado (por exemplo, montagem/reparação peças pesadas, soldadura, acondicionamento de peças, reparação de automóveis, empacotamento de caixas) | 3,0 |
| 64 | Verificação de paletes (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | Tarefas executadas em pé com esforço leve (por exemplo, montagem, arquivamento, duplicação, bibliotecário, ficar de pé e dialogar no trabalho, ficar em pé) | 3,0 |

Apêndice IV:

Implementação em MatLab do modelo de otimização de *layouts* produtivos com base na avaliação de riscos

De seguida são descritas as etapas de implementação do modelo de otimização de *layouts* produtivos com base na avaliação de riscos ergonômicos, o qual se baseia no algoritmo genético, tendo sido implementado na aplicação MatLab, versão R2021a (Mirjalili, Dong & Lewis, 2020; Mirjalili, 2019; Cuevas & Rodríguez, 2021; Rich, 2021; Pinto et al., 2016; Filho, Alippi & Treleaven, 1994; Melanie, 1999; Kramer, 2017).

Criação do algoritmo genético

```
function [ globalMin, opt_layout ] = mld_ga_basic(popSize, numIter, len, wid, loads )

% Inicialização das variáveis
minCost=inf; iter=0;
costHistory=[];costIteration=[];

% Procedimento caso os argumentos para a chamada de função sejam nulos
if nargin < 2
    popSize=50*2; numIter=2500; c=0;
    len=3; wid=5;          % layout rectangular
    dep=round(len*wid);    % número de zonas
    %Carga (níveis de riscos) Load= randi(80, [dep dep]); % Atribuição de cargas nocionais
    aleatoriamente
    %Áreas: 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13 14 15
    LOAD = [1.25 1.25 1.25 5.6 7.5 7.2 7.6 6.6 7.4 5.9 4.7 5.8 5.8 5.2 5.6];
    LD = LOAD + LOAD';
    loads=LD;
else
    % Variáveis iniciais
    dep=round(len*wid);
end
```

```

% Inicialização das variáveis
nPoints = dep;
popSize = 4*floor(popSize/4);
numIter = max(1,round(real(numIter(1))));
xy=zeros(len,wid);
for i=1:len
    for j=1:wid
        c=c+1;
        xy(c,1:2)=[i j]; % pontos centrais para cálculo das distâncias
    end
end
meshg = meshgrid(1:nPoints); % calc. distance
dmat = reshape(sqrt(sum((xy(meshg,:)-xy(meshg',:)).^2,2)),nPoints,nPoints);
dep=round(len*wid);
layout=1:dep;
call_plot(xy,layout);

% Inicialização da população
[n, ~]= size(xy);
pop = zeros(popSize,n);
pop(1,:) = (1:n);
for k = 2:popSize
    % Testes aleatórios de layouts das zonas produtivas
    pop(k,:) = randperm(n);
end

% Execução do algoritmo genético
globalMin = Inf;
totalCost = zeros(1,popSize);
costHistory = zeros(1,numIter);
costIteration = zeros(1,numIter);
tmpPop = zeros(4,n);
newPop = zeros(popSize,n);

for iter = 1:numIter
    % Avaliação de cada membro da população
    for p = 1:popSize

```

```

cst=0;
for j=1:n-1
    for k=j+1:n % Soma da função de custo (carga x distância)
        p1=pop(p,j);
        p2=pop(p,k);
        cst=cst+loads(p1,p2)*dmat(j,k);
    end
end
totalCost(p) = cst;
end

% Procedimento para encontrar e manter o melhor layout da população
[minCost,index] = min(totalCost);
costHistory(iter) = minCost;
costIteration(iter) = iter;
if minCost < globalMin
    globalMin = minCost;
    optLayout = pop(index,:);
    layout = optLayout(1:n); % Melhor layout
    call_plot(xy,layout);
end

% Operadores de algoritmo genético: mutações por torneio
% Reorganização aleatória a população para o torneio - jogar de diferentes formas
% Formação de equipas em cada iteração
randomOrder = randperm(popSize);

for p = 4:4:popSize
    % Reorganização aleatória da população, agrupamento por 4 elementos
    laytes = pop(randomOrder(p-3:p),:);
    csts = totalCost(randomOrder(p-3:p));
    % Determinação do layout mínimo
    [~,idx] = min(csts);
    % Determinação do melhor dos 4 layouts
    bestOf4Layout = laytes(idx,:);
    % Procedimento para seleção e classificação aleatória de dois pontos de inserção
    no layout
    routeInsertionPoints = sort(ceil(n*rand(1,2)));

```

```

    I = routeInsertionPoints(1);
    J = routeInsertionPoints(2);
    for k = 1:4 % Mutação do melhor layout para obter três novos layouts mantendo-
se o original
        % Criação de uma pequena matriz de 4 linhas do melhor layout
        tmpPop(k,:) = bestOf4Layout;
        switch k
            % Rotação do segmento entre duas das zonas
            case 2 % Rodar
                tmpPop(k,I:J) = tmpPop(k,J:-1:I);
            case 3 % Troca de zonas
                tmpPop(k,[I J]) = tmpPop(k,[J I]);
            case 4 % Deslizar as zonas para baixo
                tmpPop(k,I:J) = tmpPop(k,[I+1:J I]);
            otherwise % não fazer nada
        end
    end
    % Criação de uma nova população usando a população original
    newPop(p-3:p,:) = tmpPop;
end
pop = newPop;
end

```

```

function call_plot( xy, ~)
    subplot(1,2,1)
    plot(xy(:,1), xy(:,2),'rs','MarkerSize',40,...
'MarkerEdgeColor','black',...
'MarkerFaceColor',[1 1 1]);
    xlim([o len+1]); ylim([o wid+1]);
    hold off;
    title('Distribuição de áreas funcionais');
    xlabel('Largura do edificio'); ylabel('Comprimento do edificio');
    labels = cellstr( num2str(layout) );
    text(xy(:,1), xy(:,2), labels, 'HorizontalAlignment','center')
    drawnow;
    if iter>0
        subplot(1,2,2)
    end

```



```
dH=costHistory(costHistory>0);
dI=costIteration(costIteration>0);
plot(dI, dH,'b-');
title(sprintf('Custo mínimo= %1.0f',minCost));
xlabel('Nº de iterações'); ylabel('Custo');
end
end
opt_layout=optLayout;
end
```

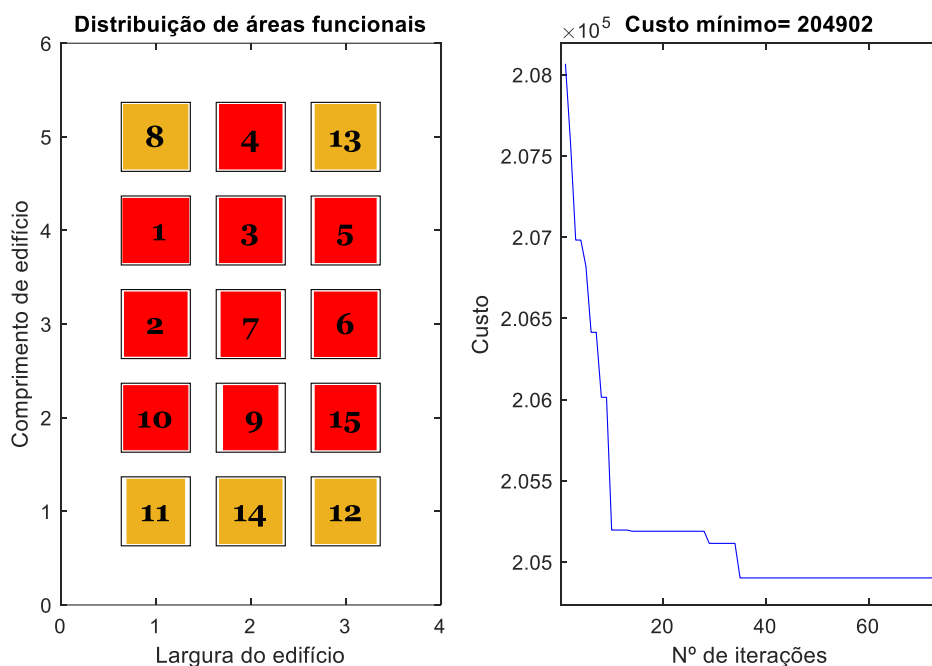

Apêndice V:

Otimização de *layout* produtivo com base na avaliação de riscos ocupacionais gerais

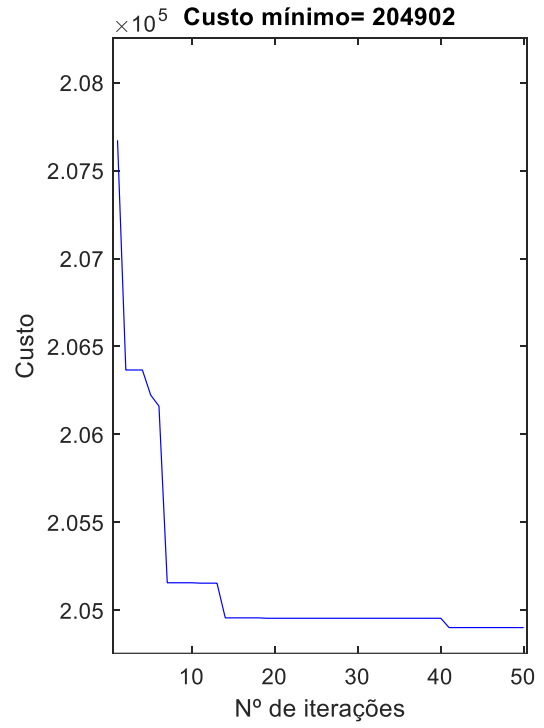
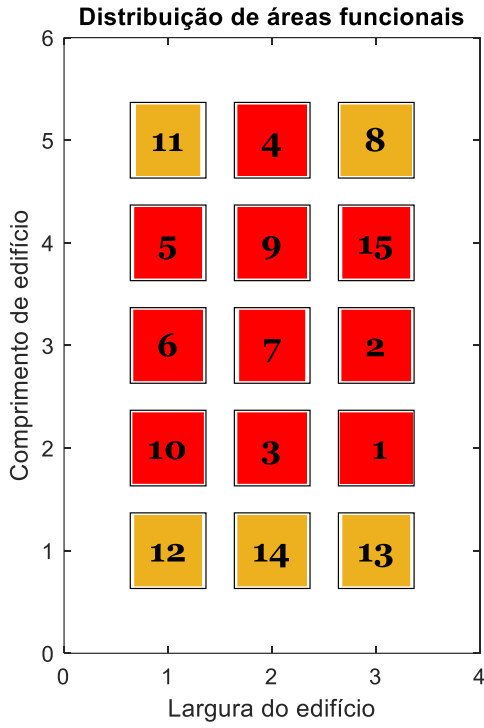
Soluções obtidas para a otimização do *layout* produtivo com base na avaliação de riscos ocupacionais gerais, incluindo a distribuição das áreas funcionais e a evolução do custo mínimo em relação ao número de iterações.

Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta

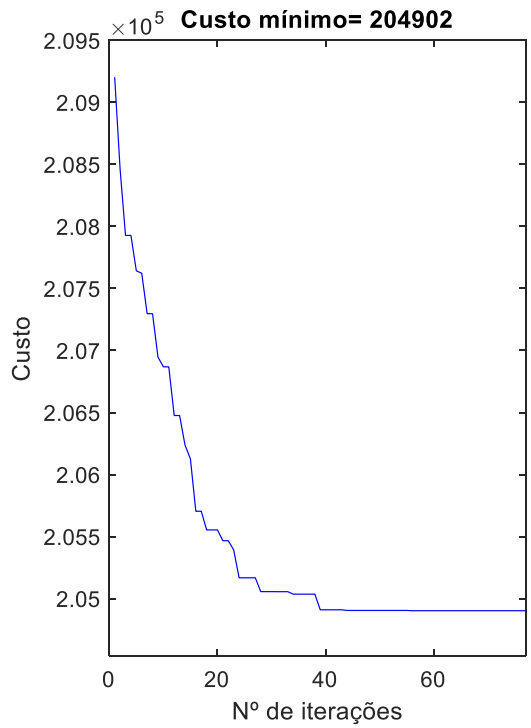
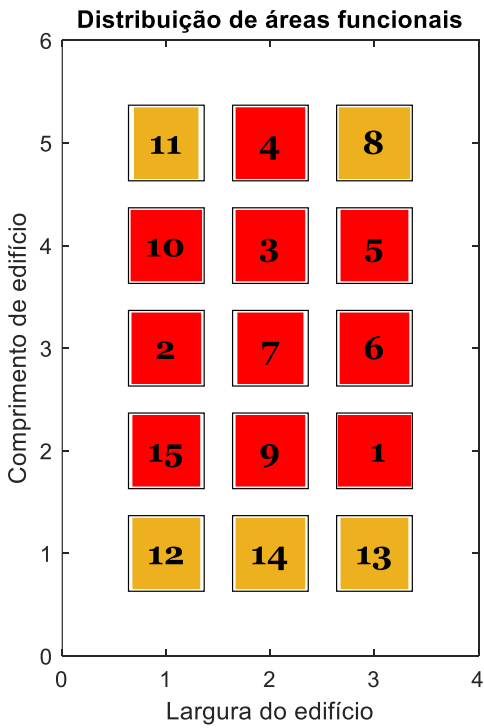
Simulação A



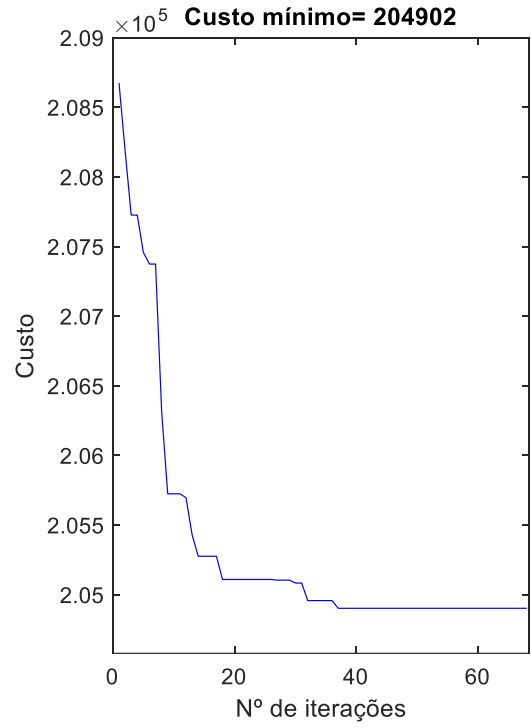
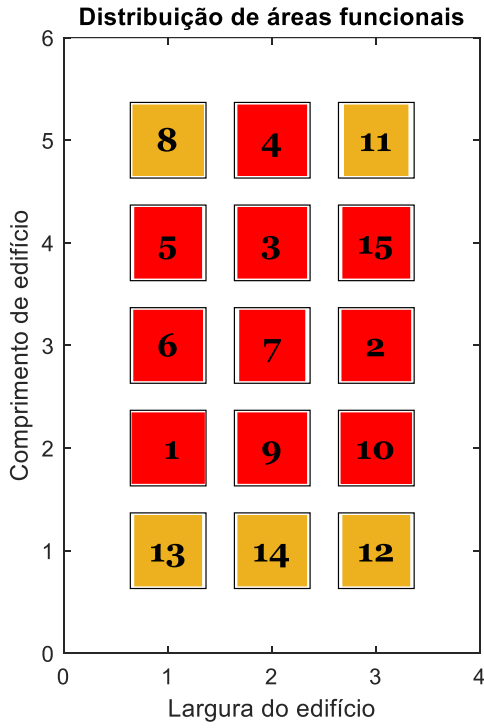
Simulação B



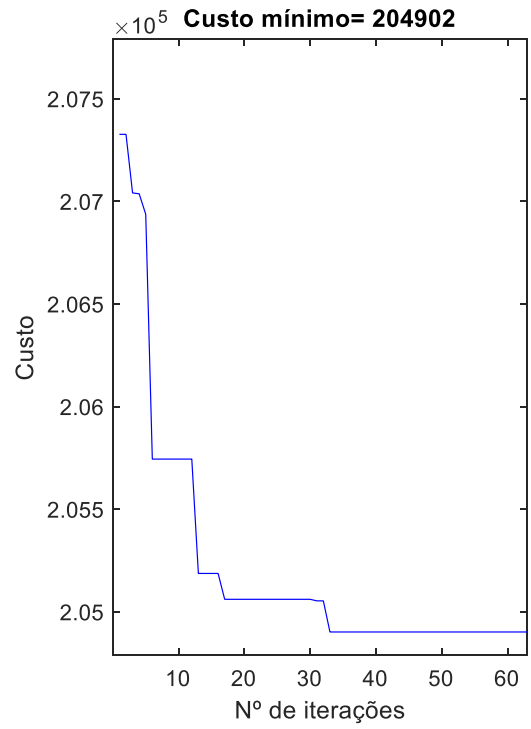
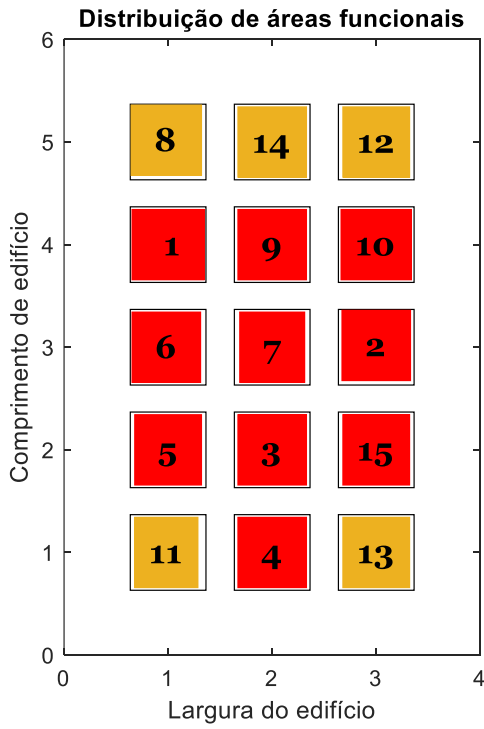
Simulação C



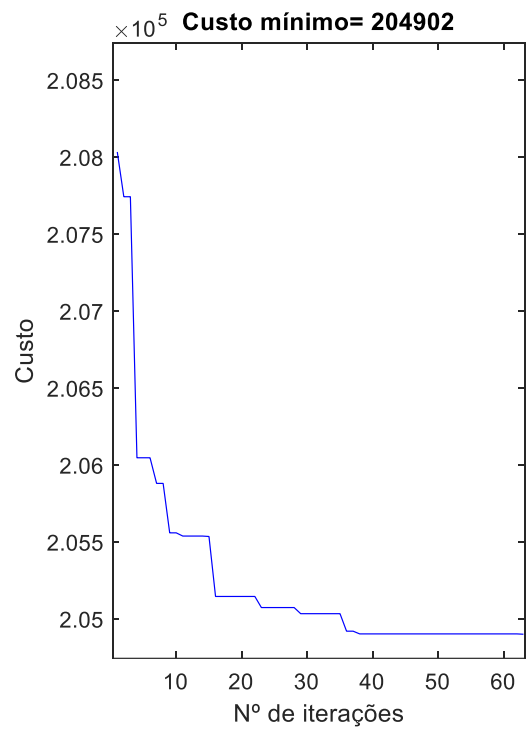
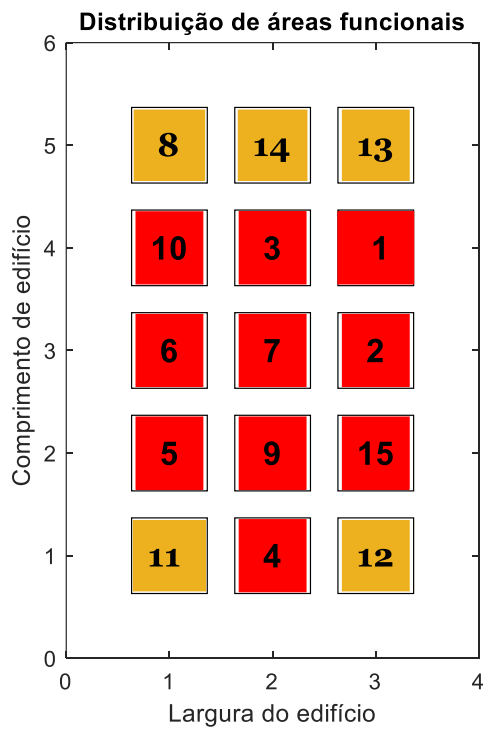
Simulação D



Simulação E

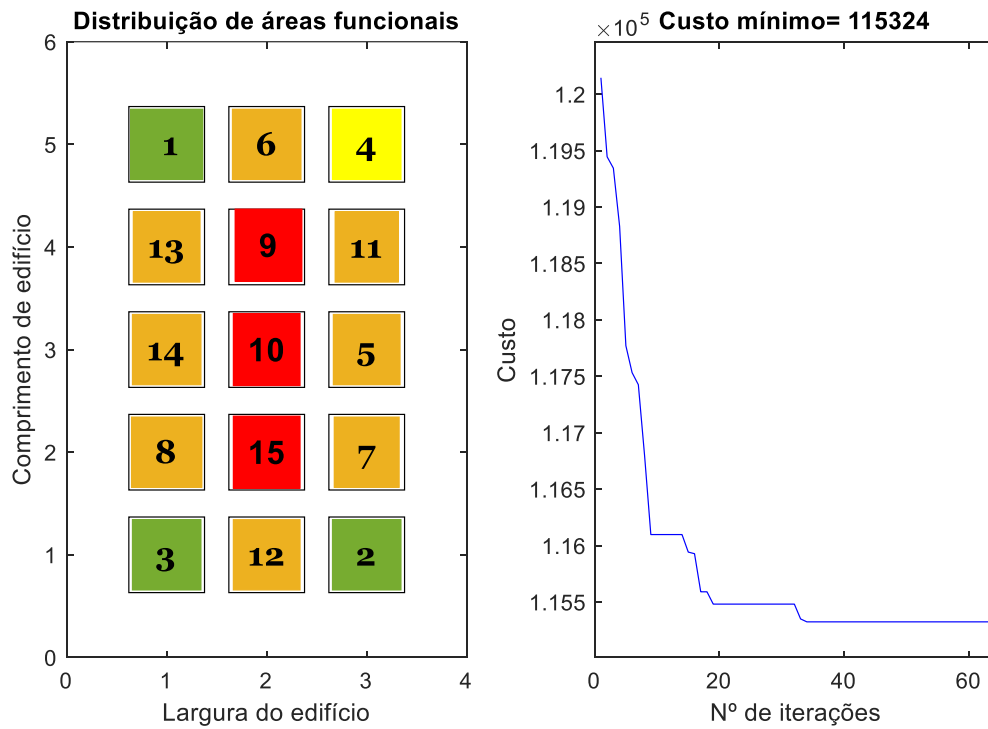


Simulação F

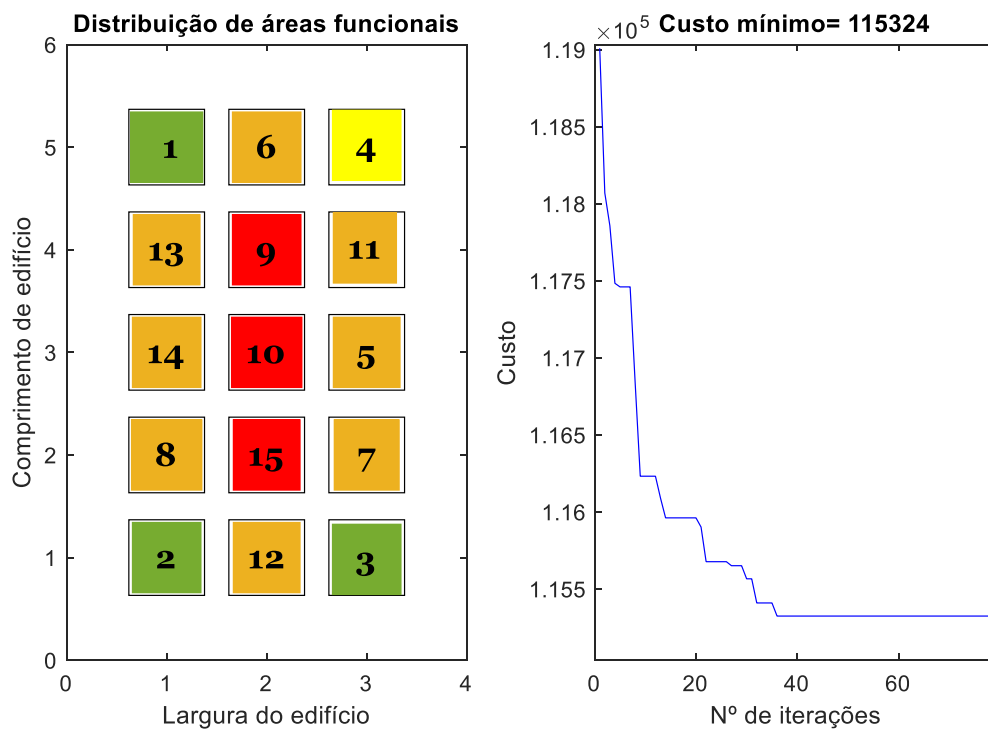


Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

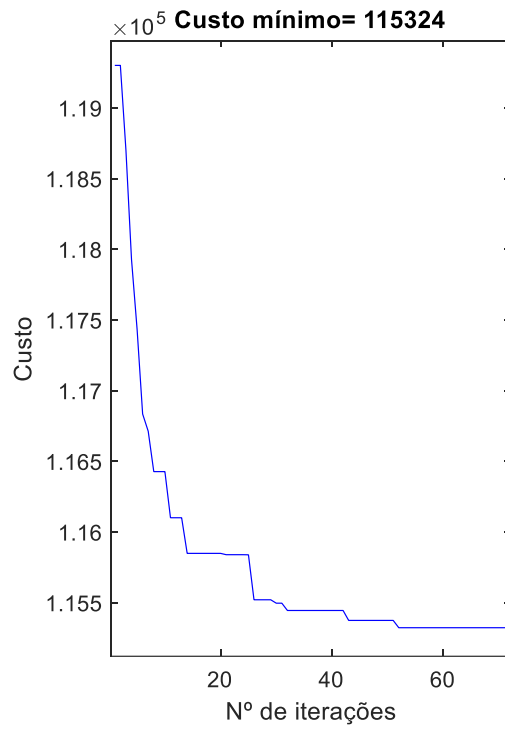
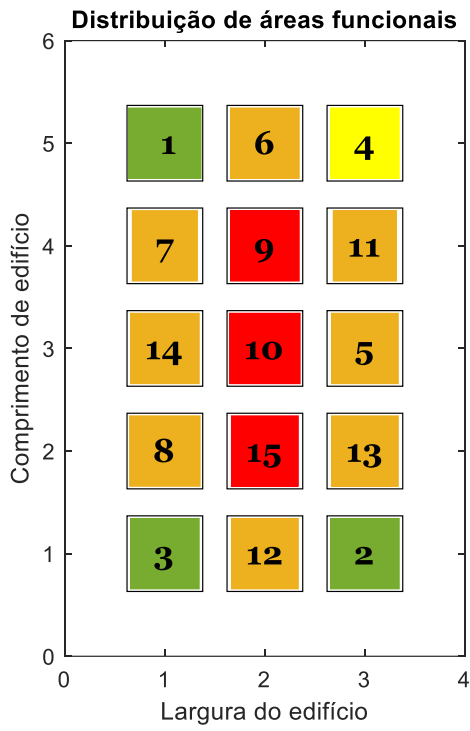
Simulação A



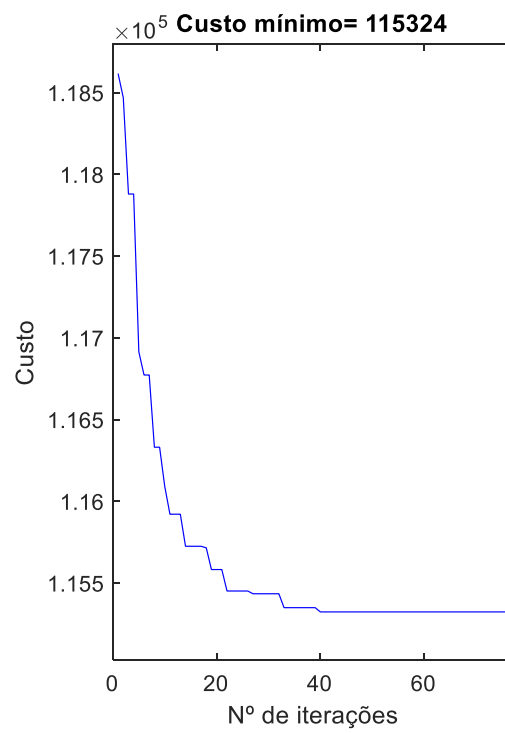
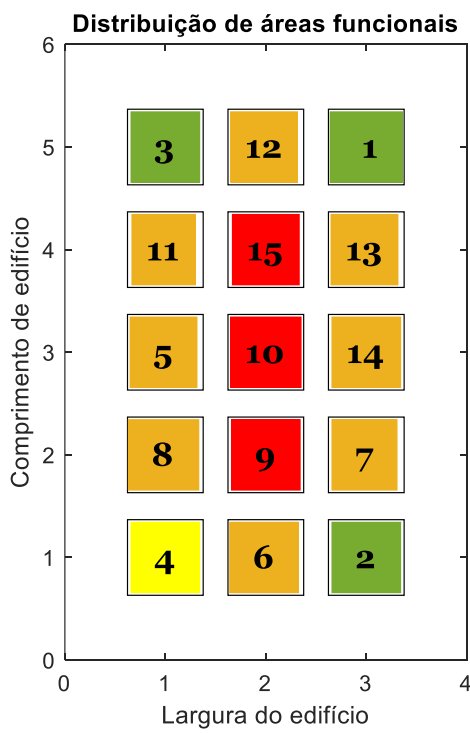
Simulação B



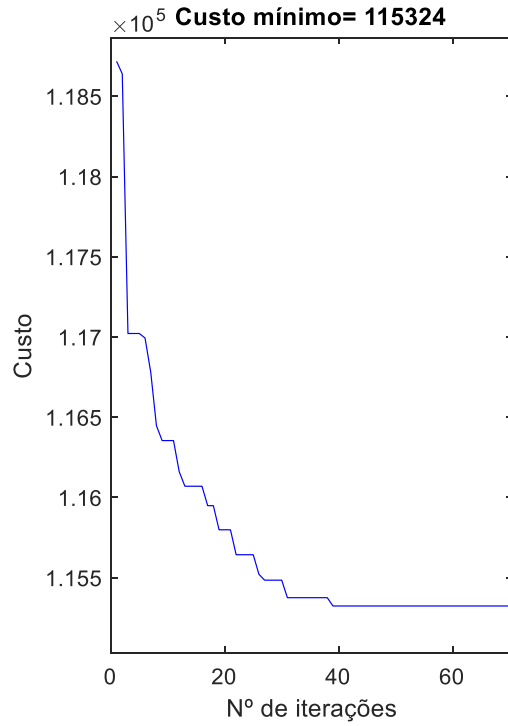
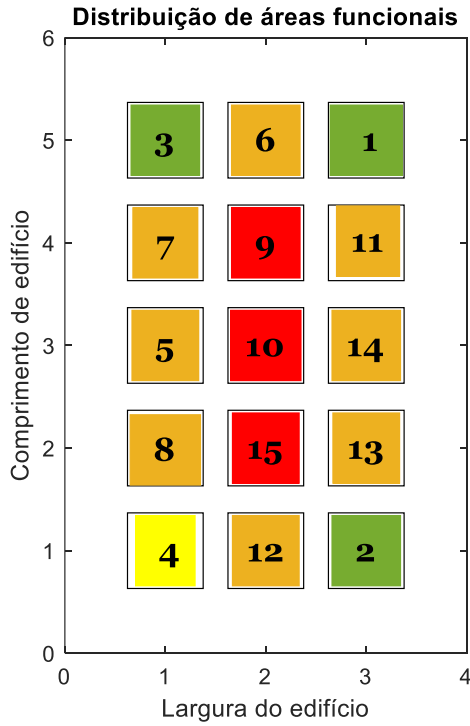
Simulação C



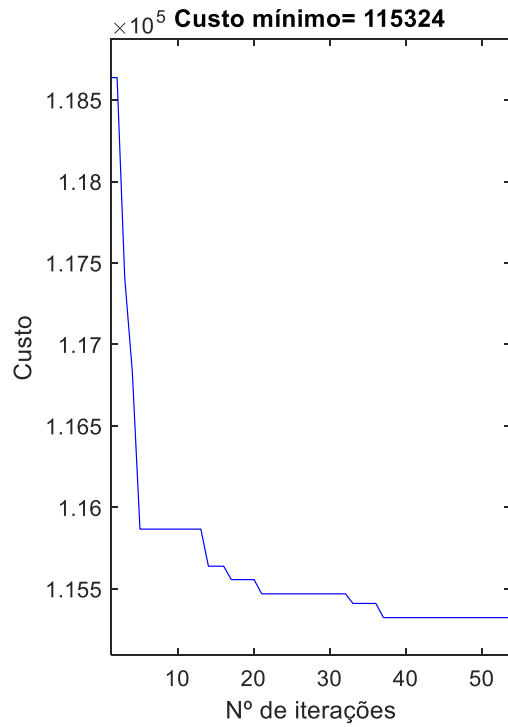
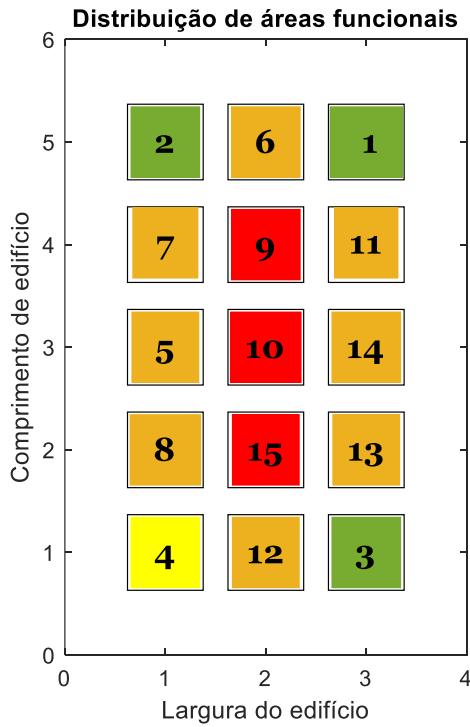
Simulação D



Simulação E

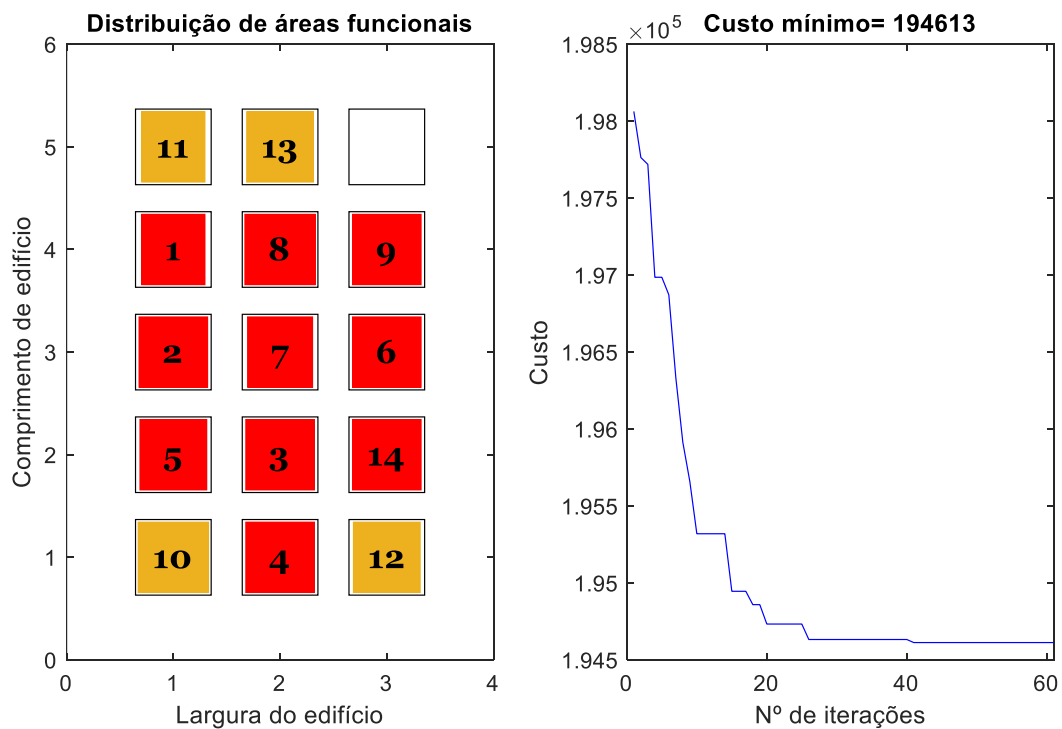


Simulação F

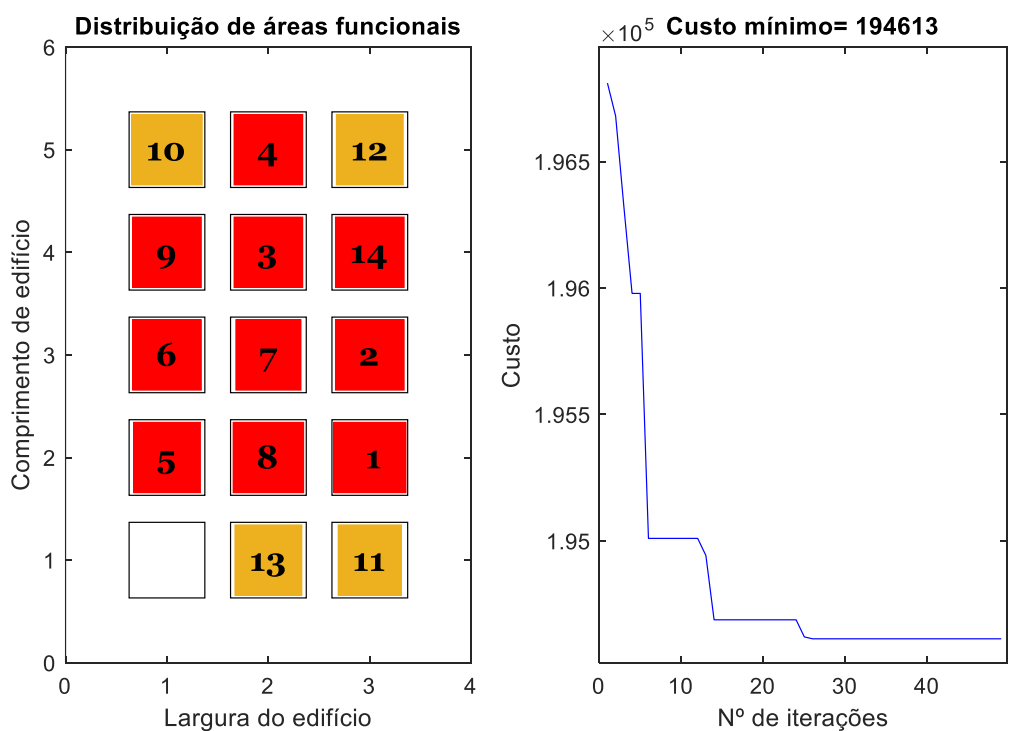


Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

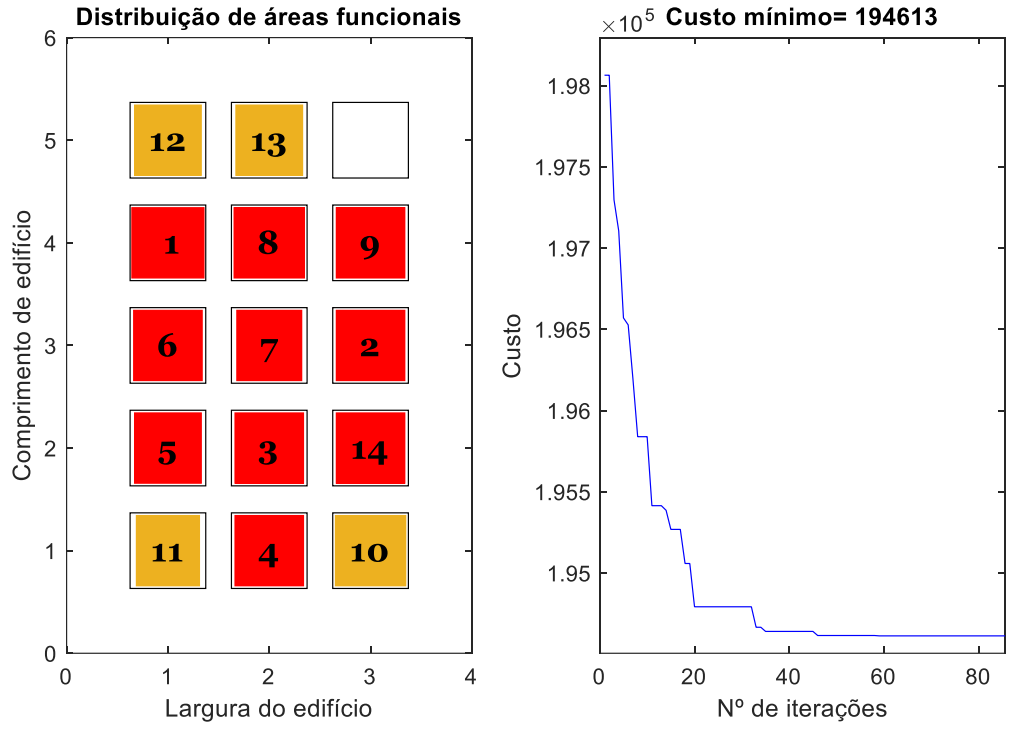
Simulação A



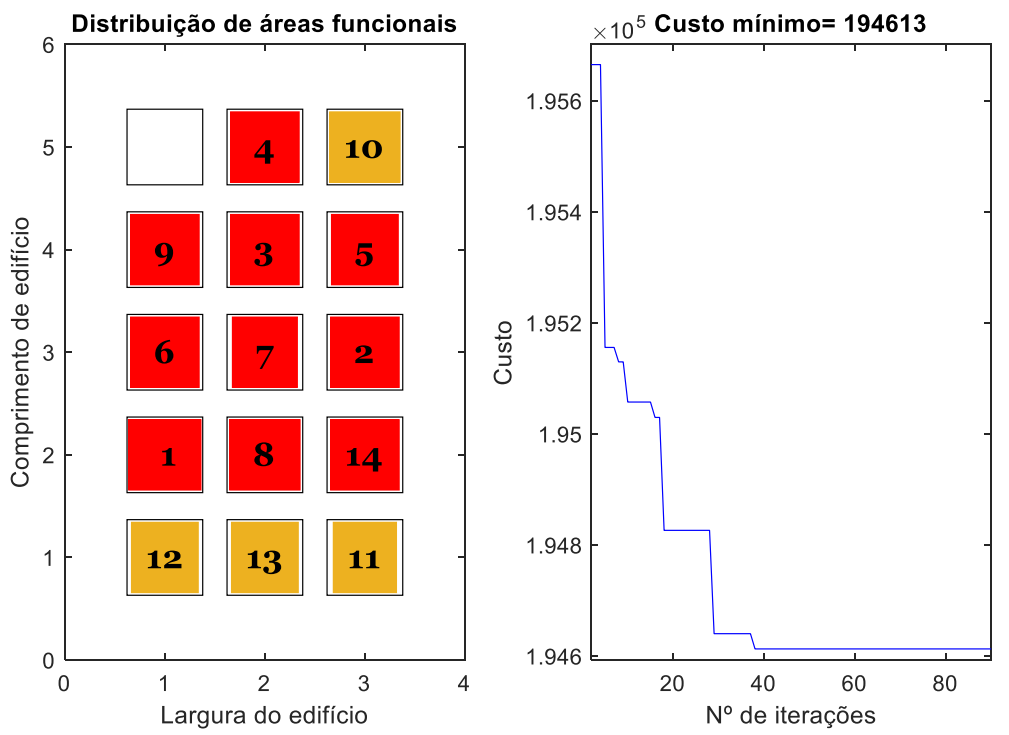
Simulação B



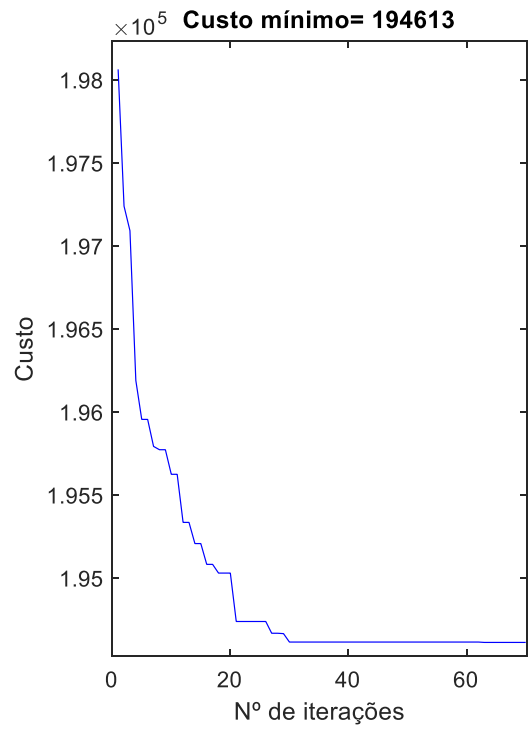
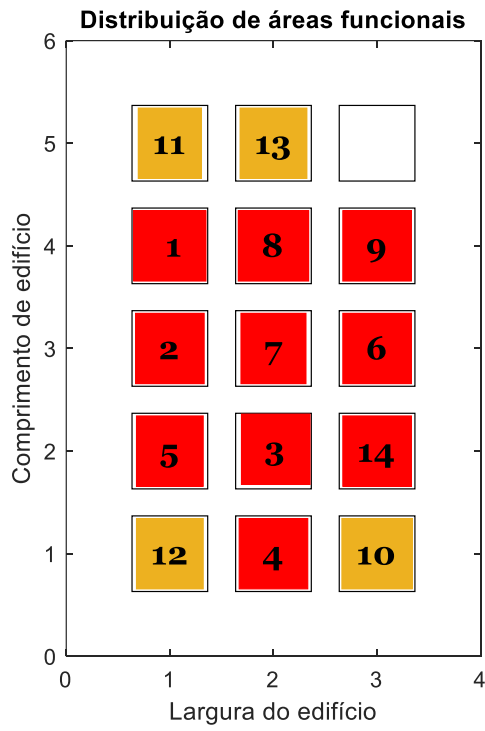
Simulação C



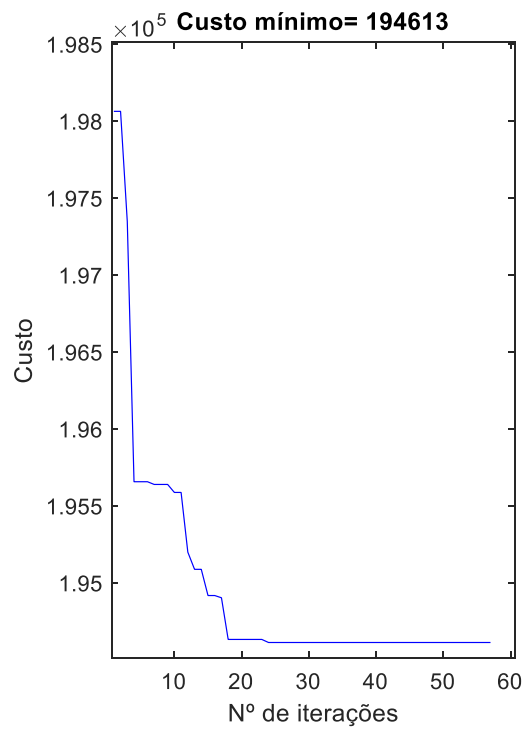
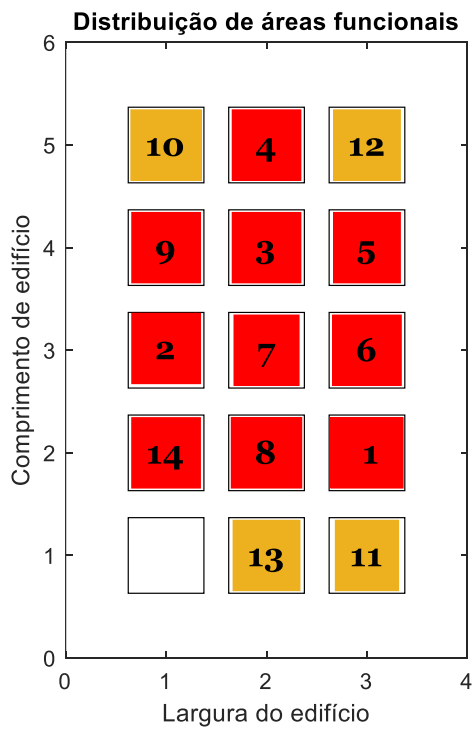
Simulação D



Simulação E

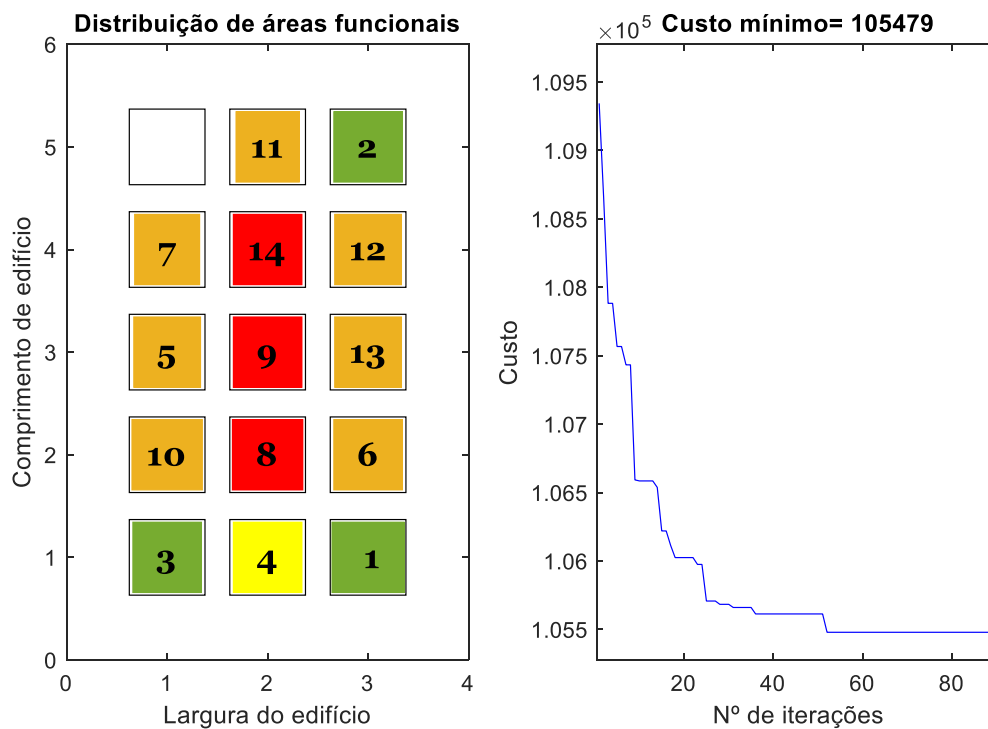


Simulação F

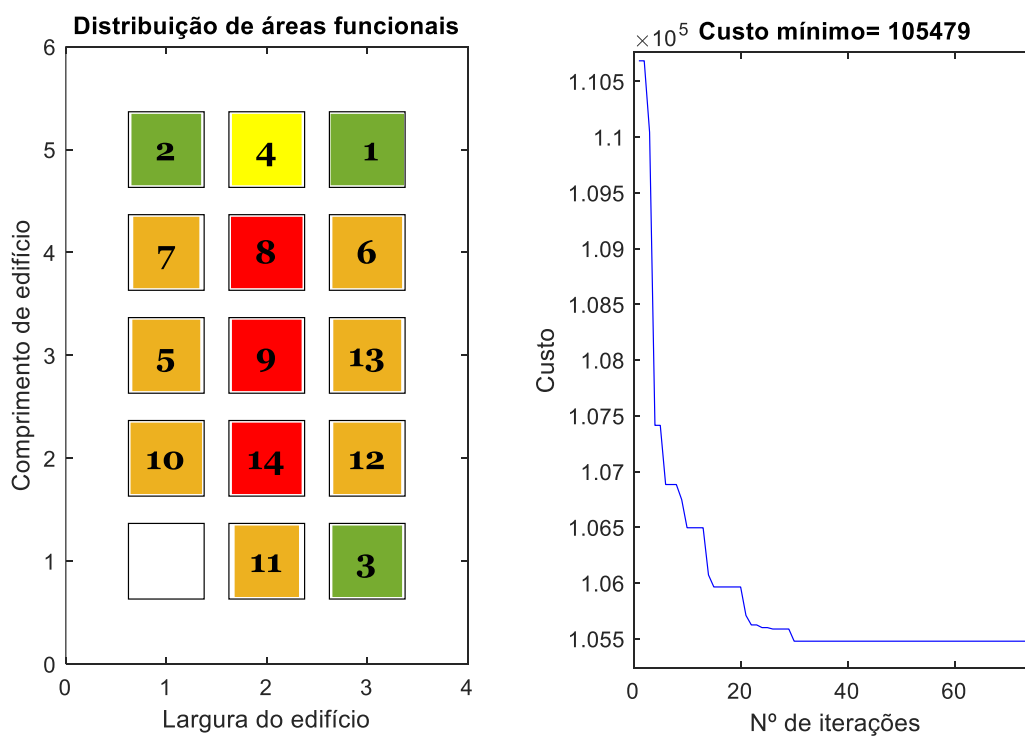


Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

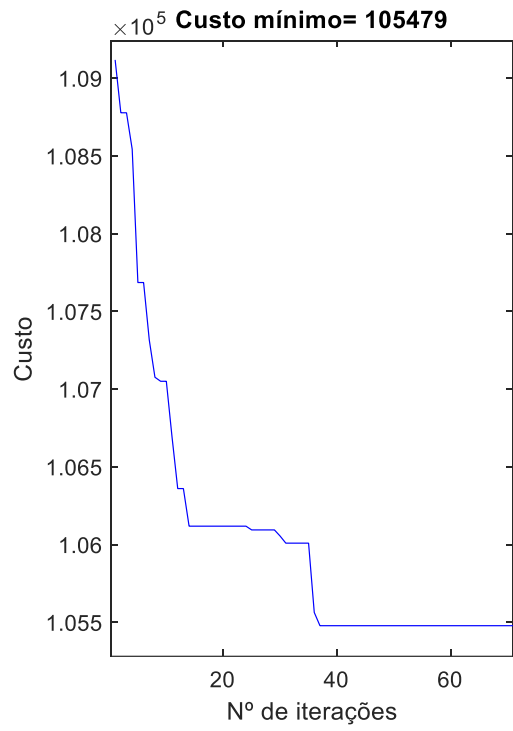
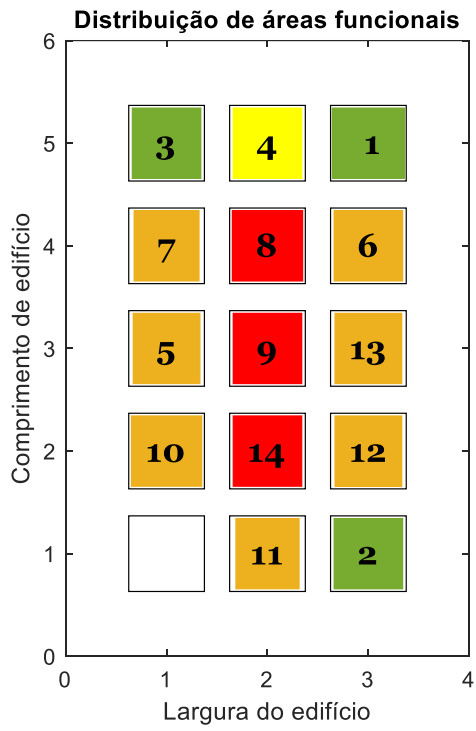
Simulação A



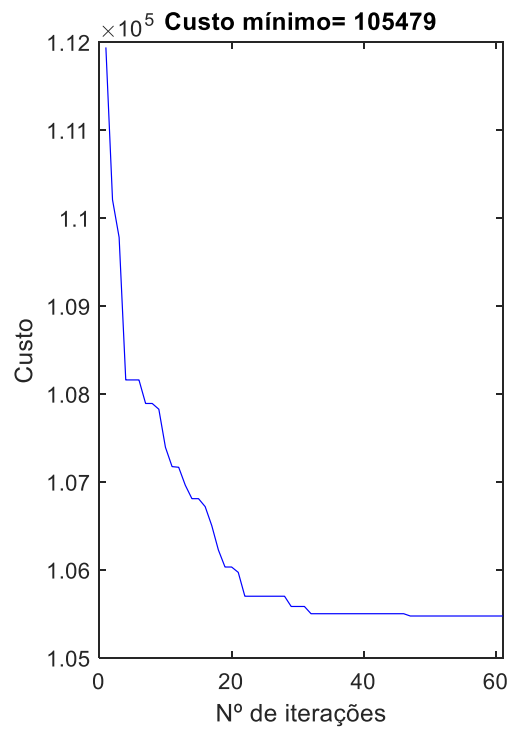
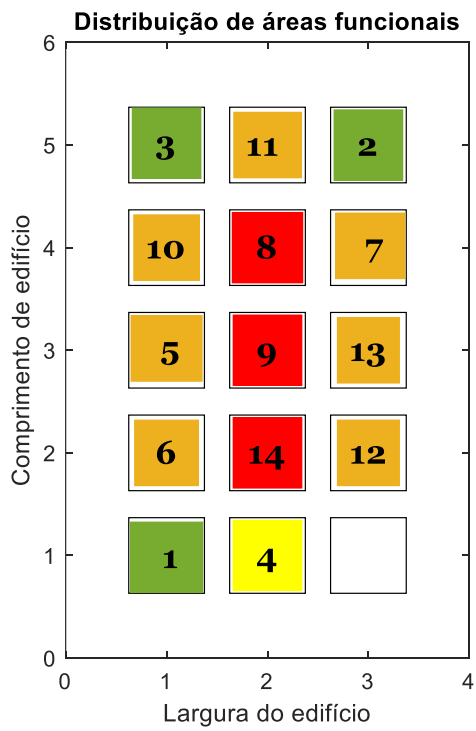
Simulação B



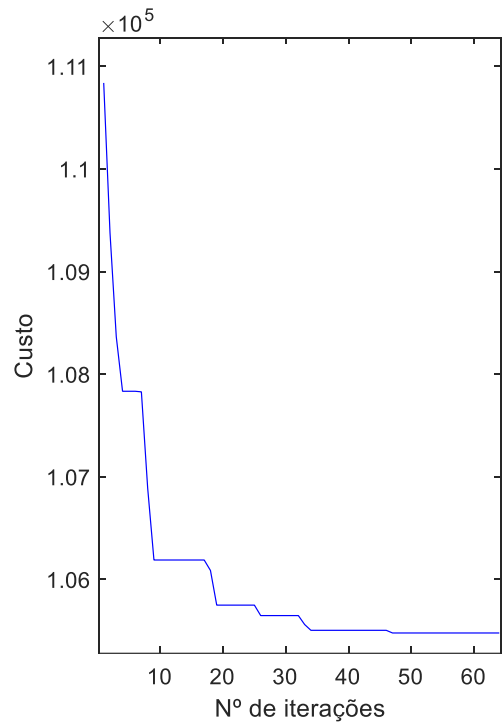
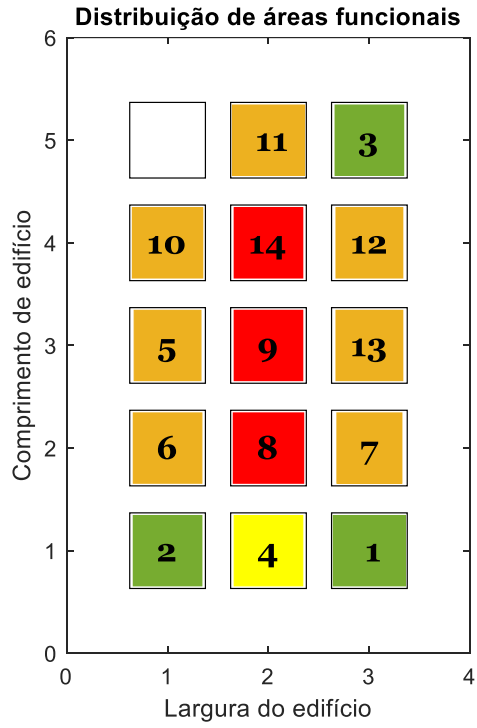
Simulação C



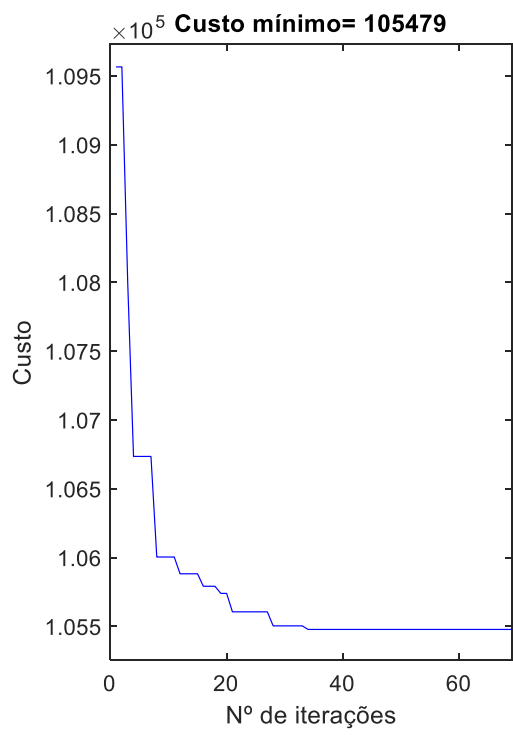
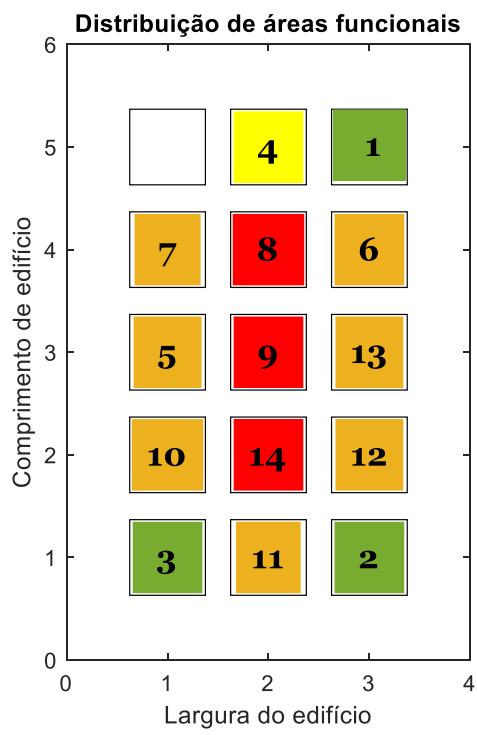
Simulação D



Simulação E



Simulação F



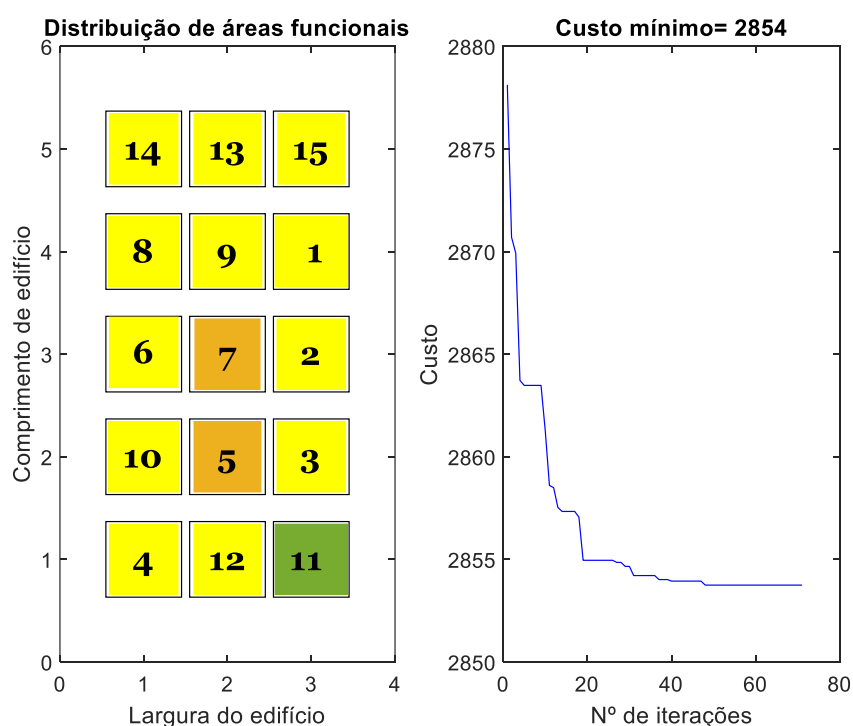
Apêndice VI:

Otimização de *layout* produtivo com base na avaliação de riscos ergonômicos

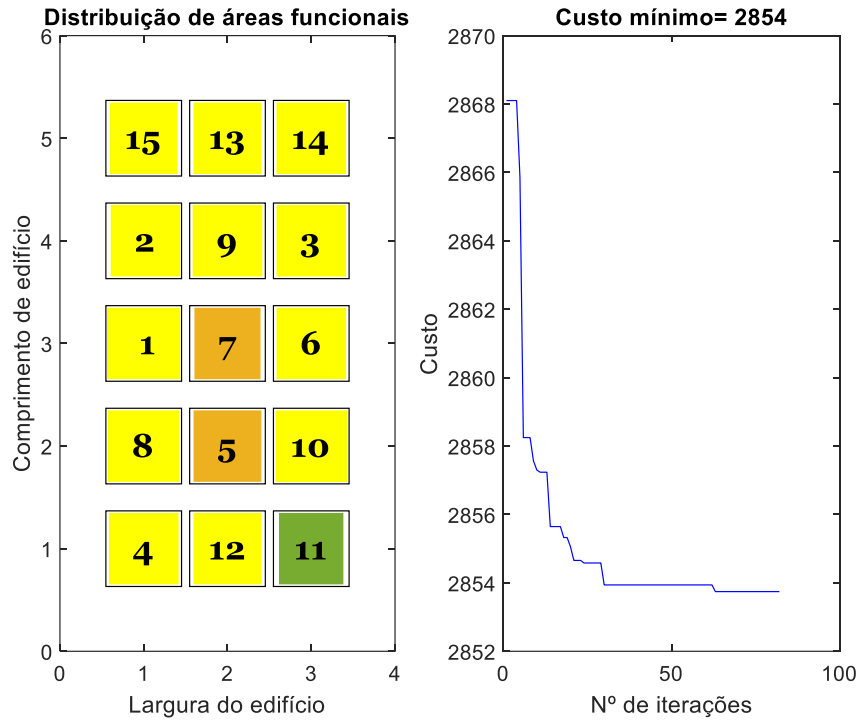
Soluções obtidas para a otimização do *layout* produtivo com base na avaliação de riscos ocupacionais gerais, incluindo a distribuição das áreas funcionais e a evolução do custo mínimo em relação ao número de iterações.

Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta

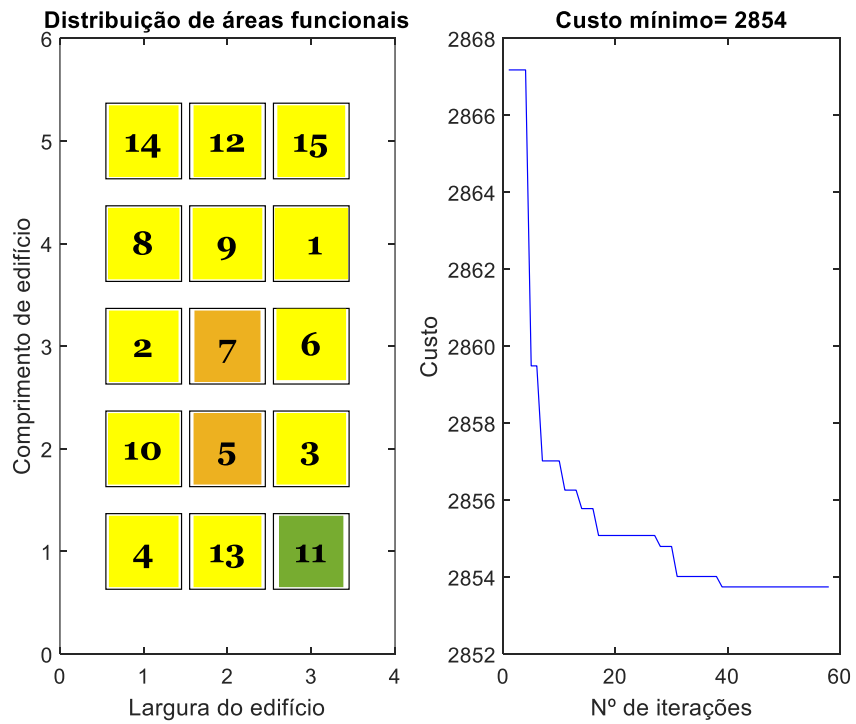
Simulação A



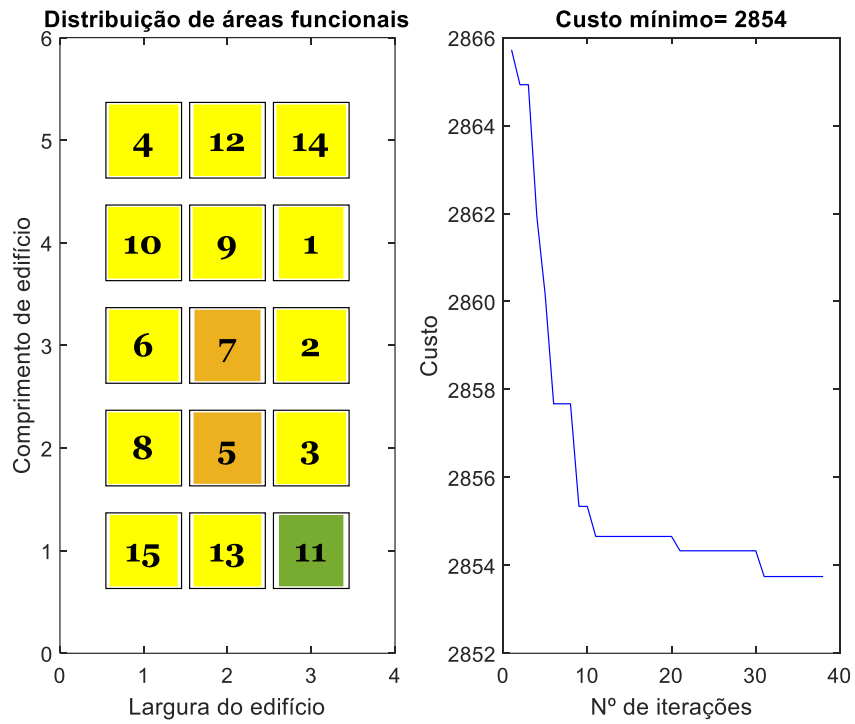
Simulação B



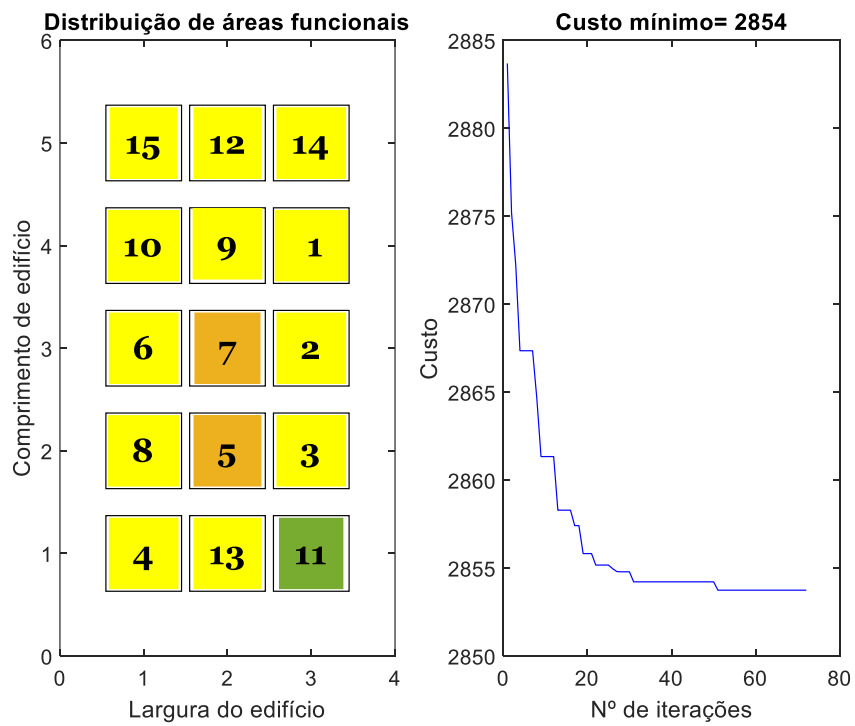
Simulação C



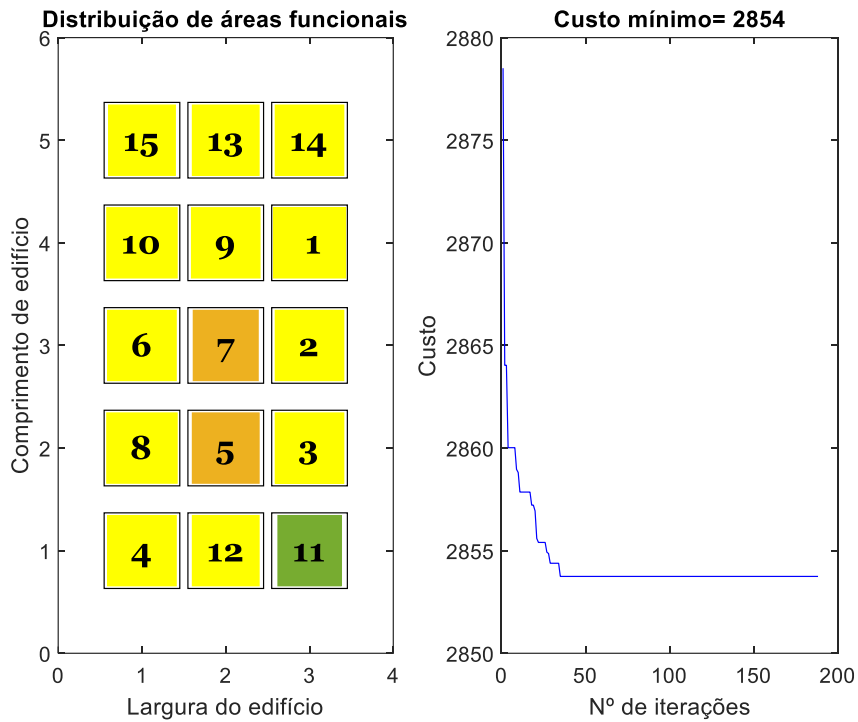
Simulação D



Simulação E

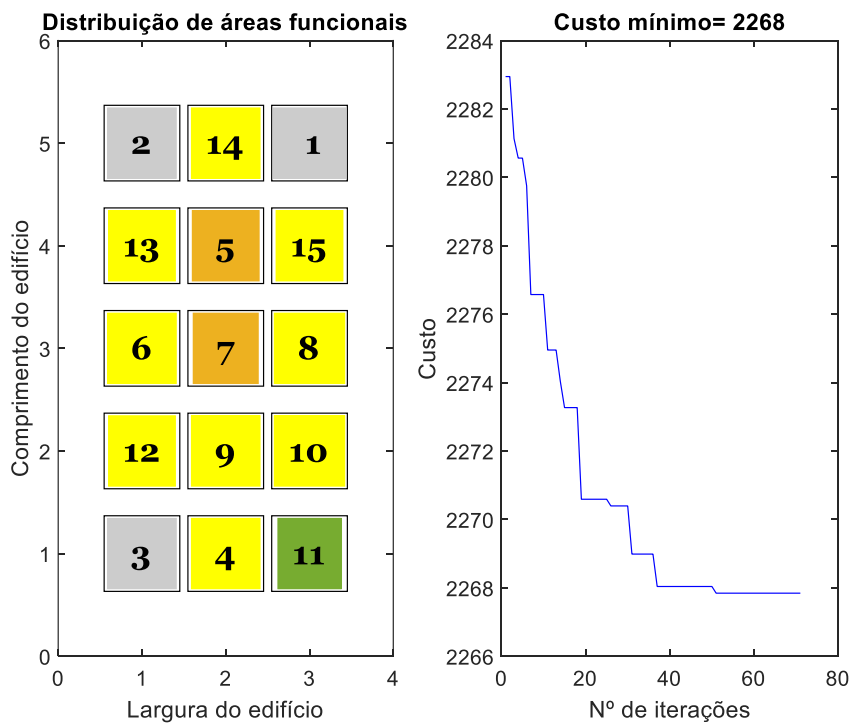


Simulação F

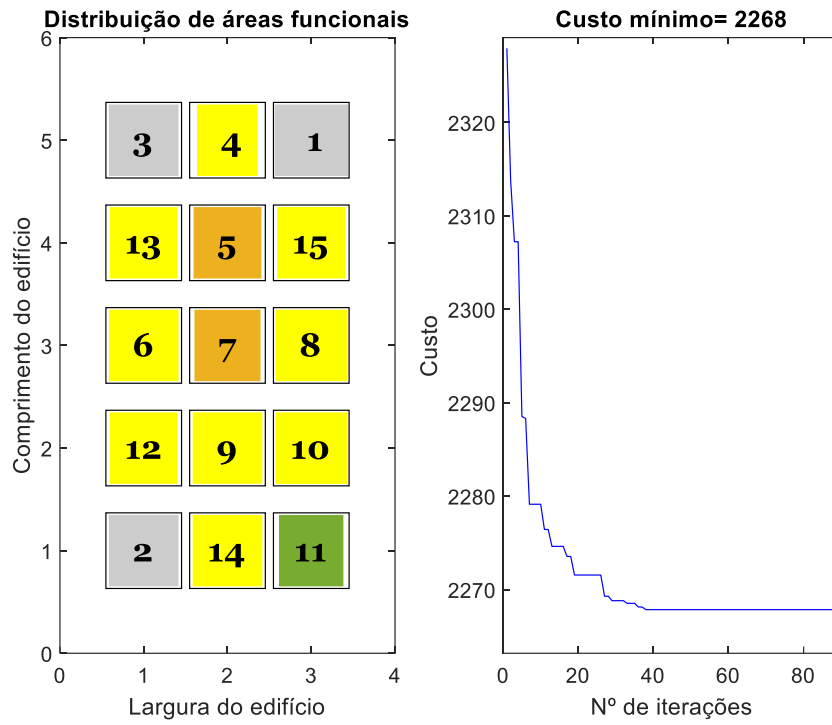


Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

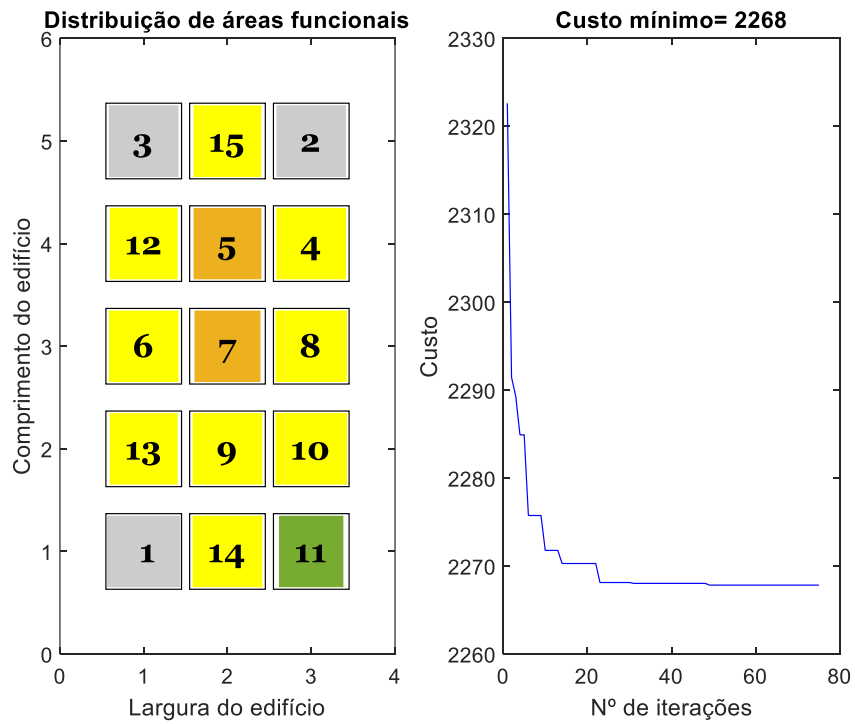
Simulação A



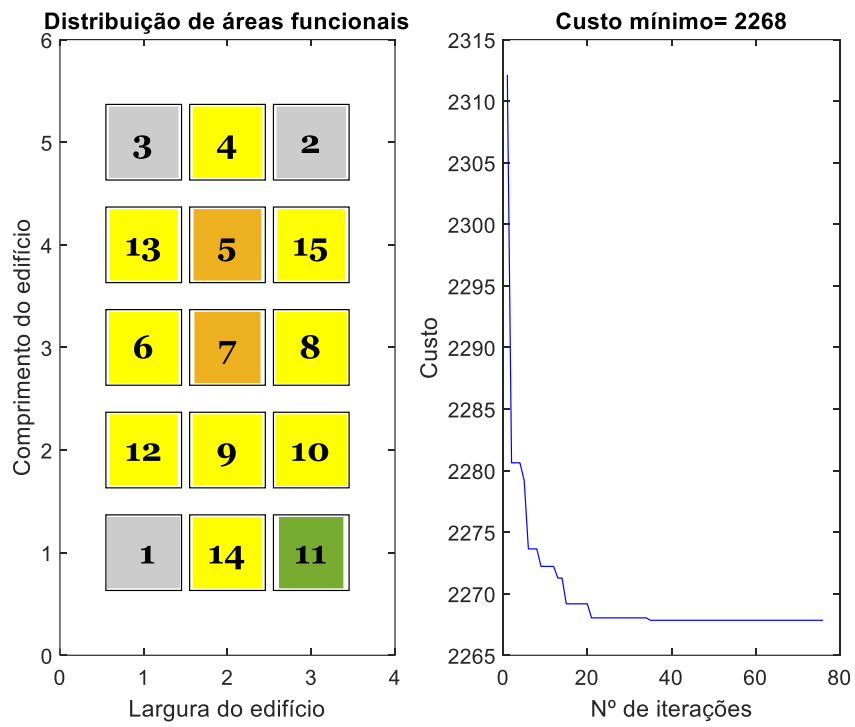
Simulação B



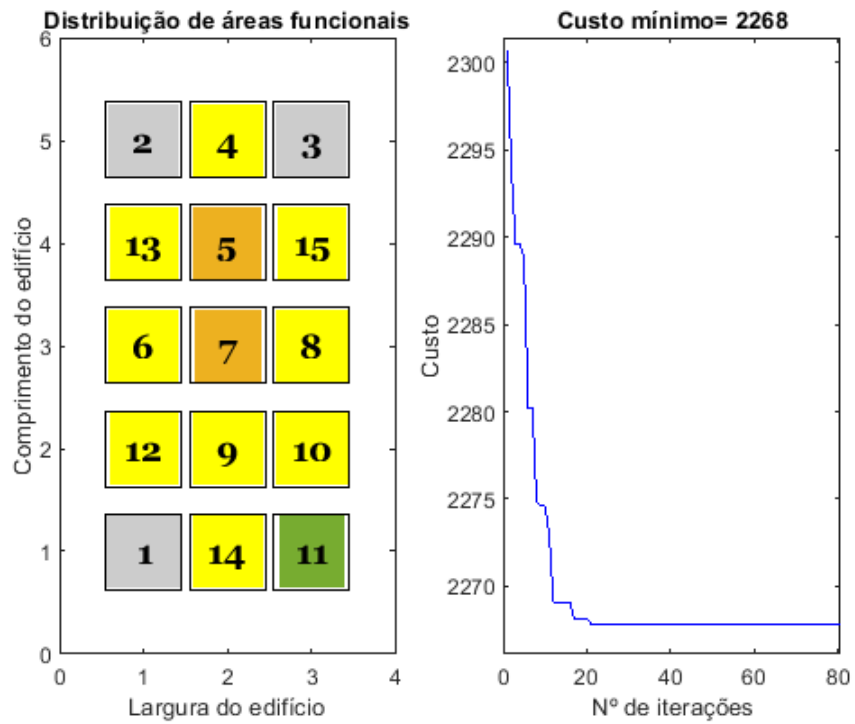
Simulação C



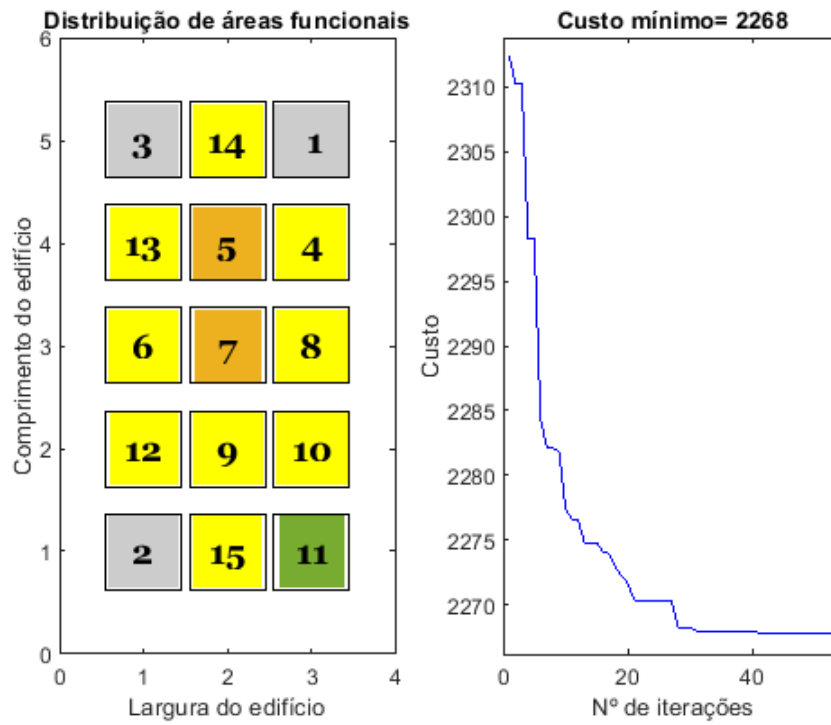
Simulação D



Simulação E

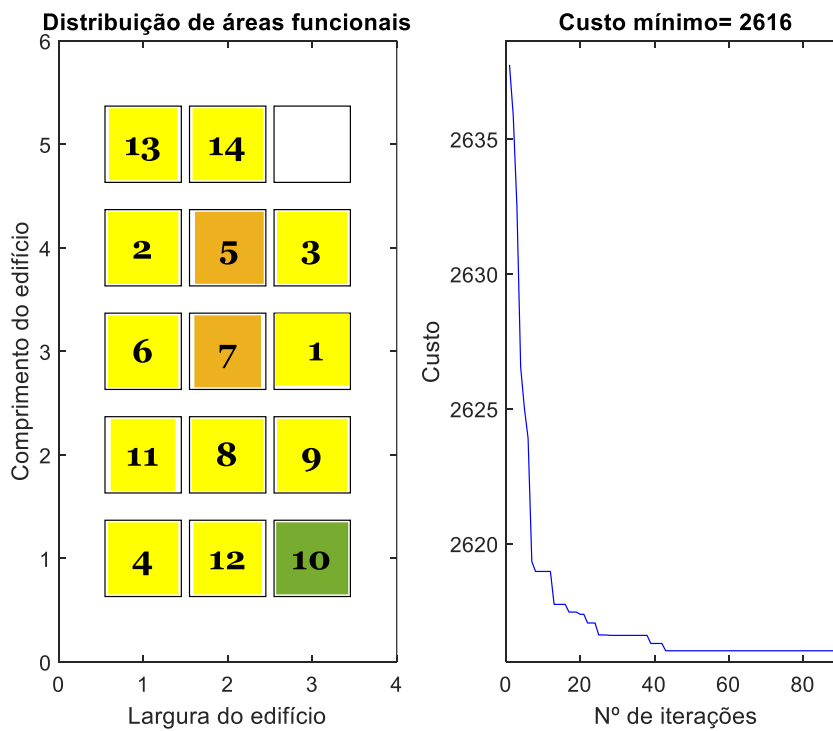


Simulação F

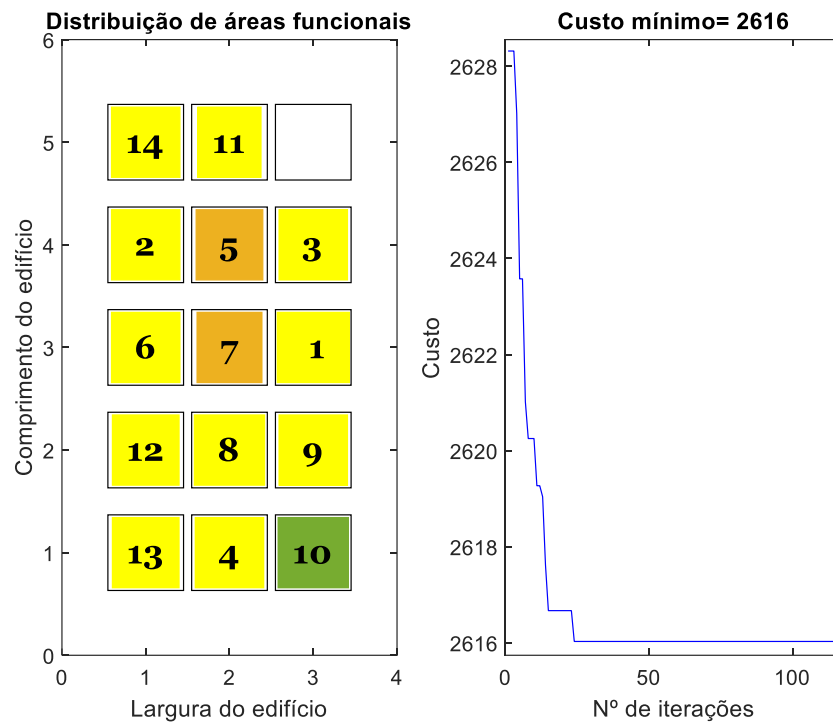


Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

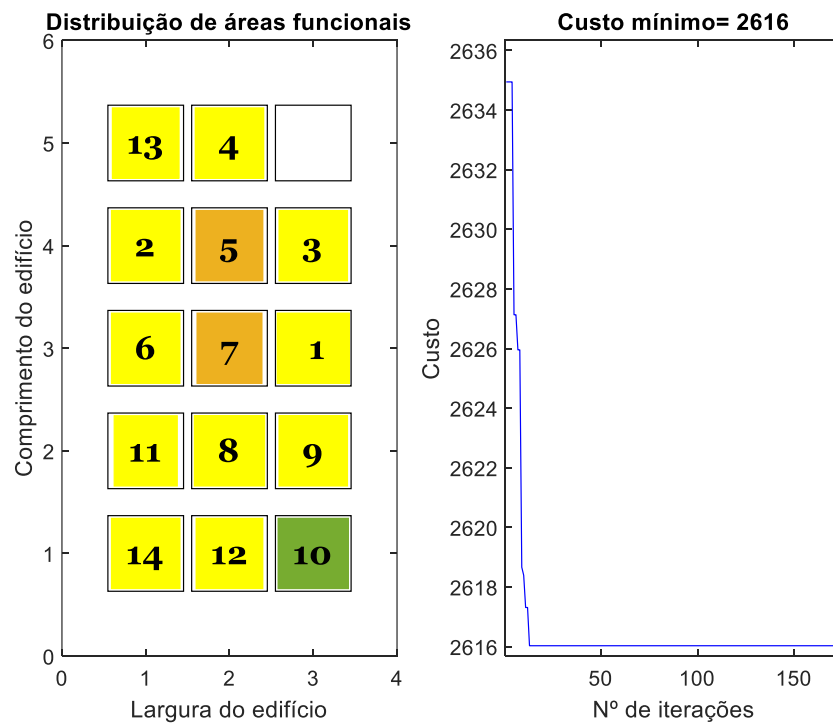
Simulação A



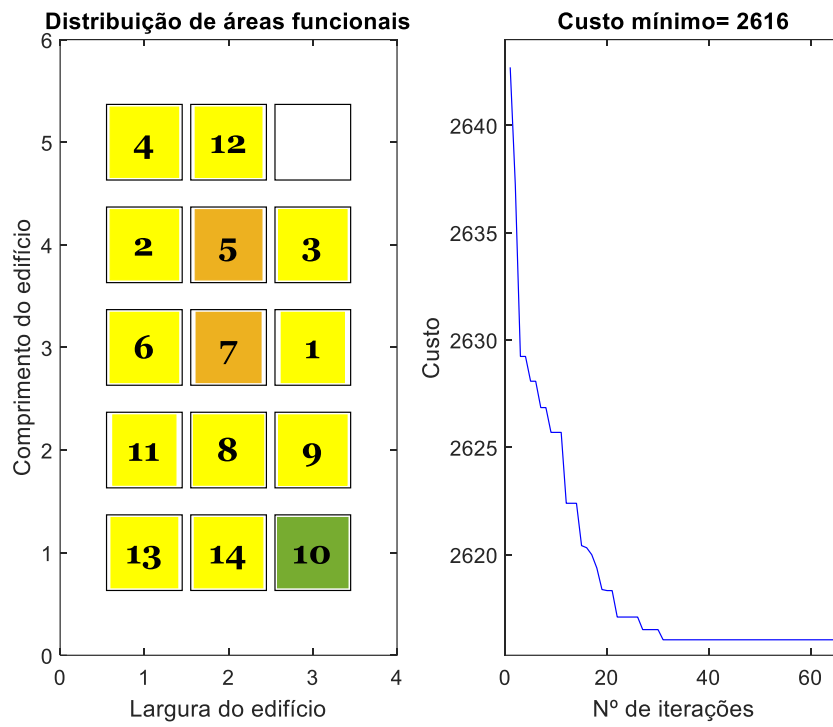
Simulação B



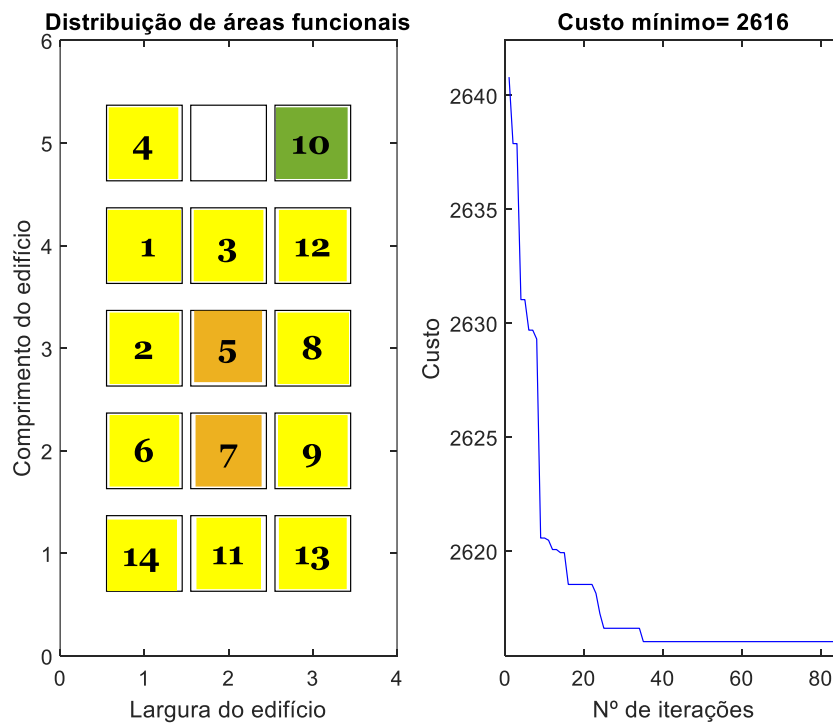
Simulação C



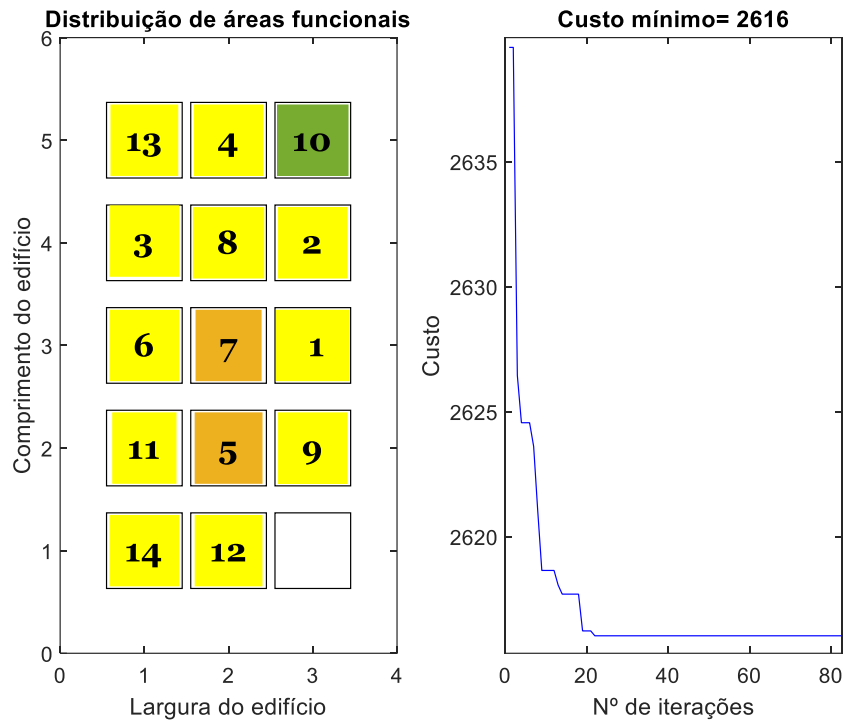
Simulação D



Simulação E

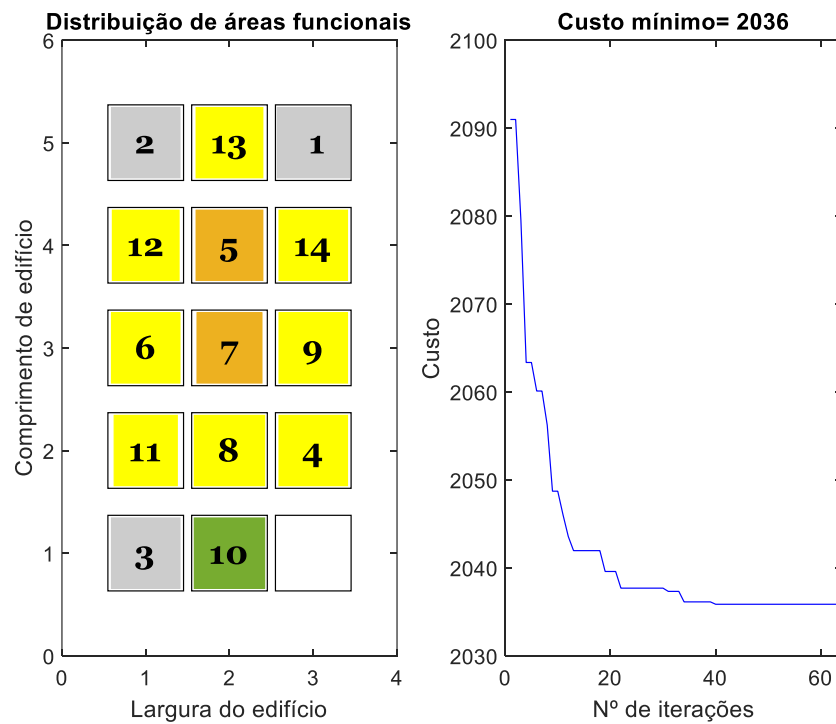


Simulação F

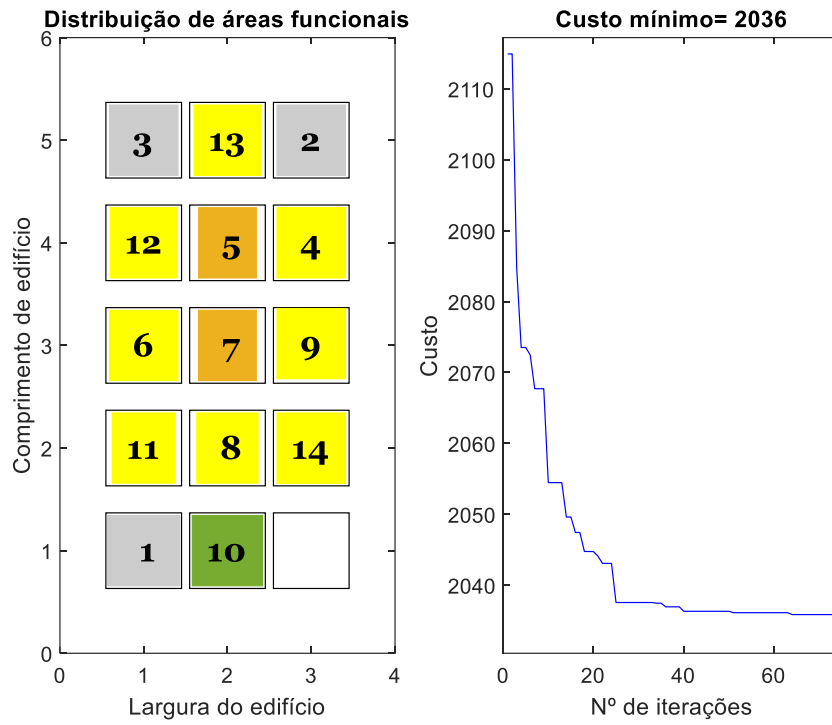


Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

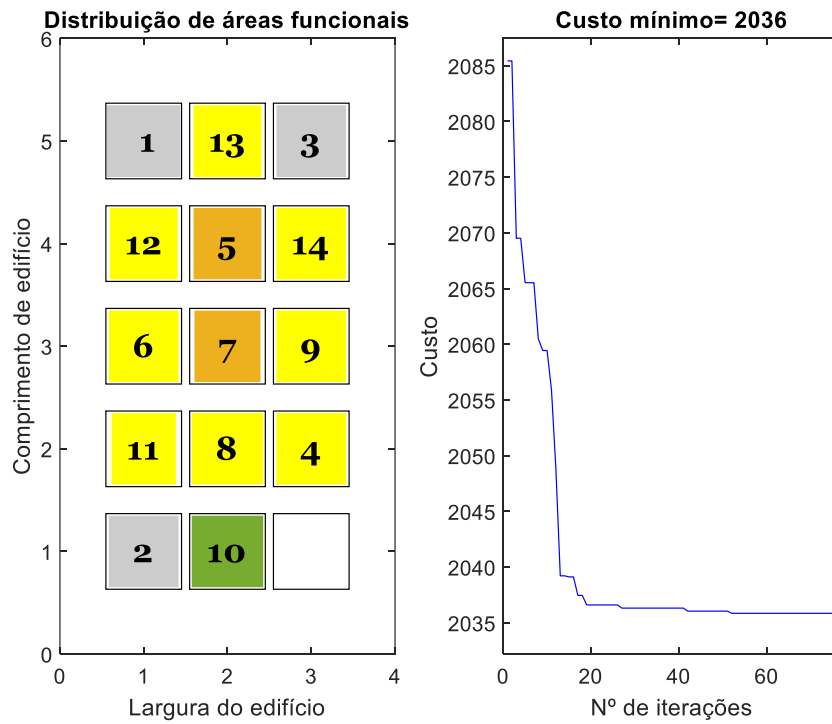
Simulação A



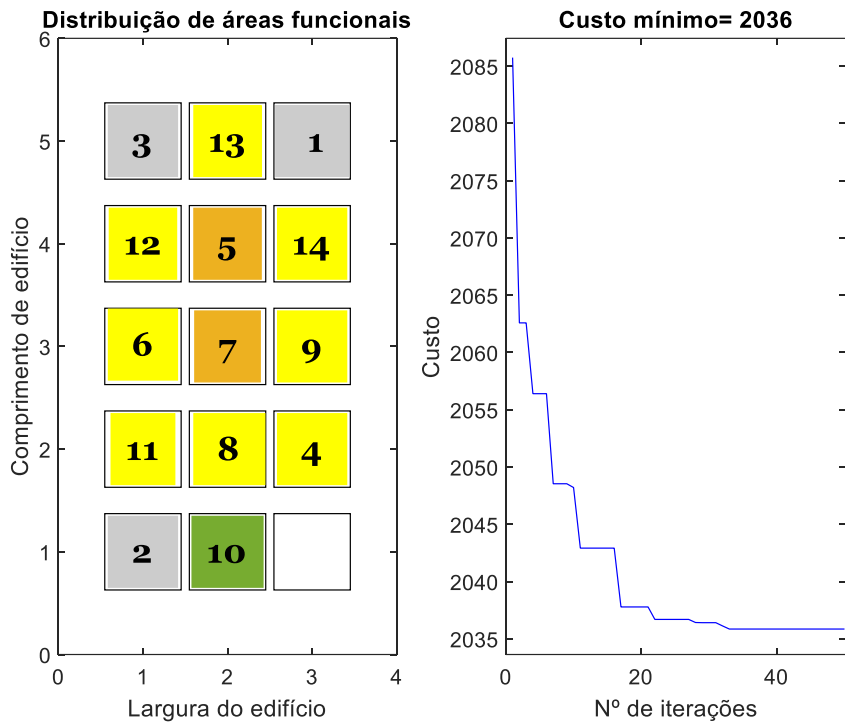
Simulação B



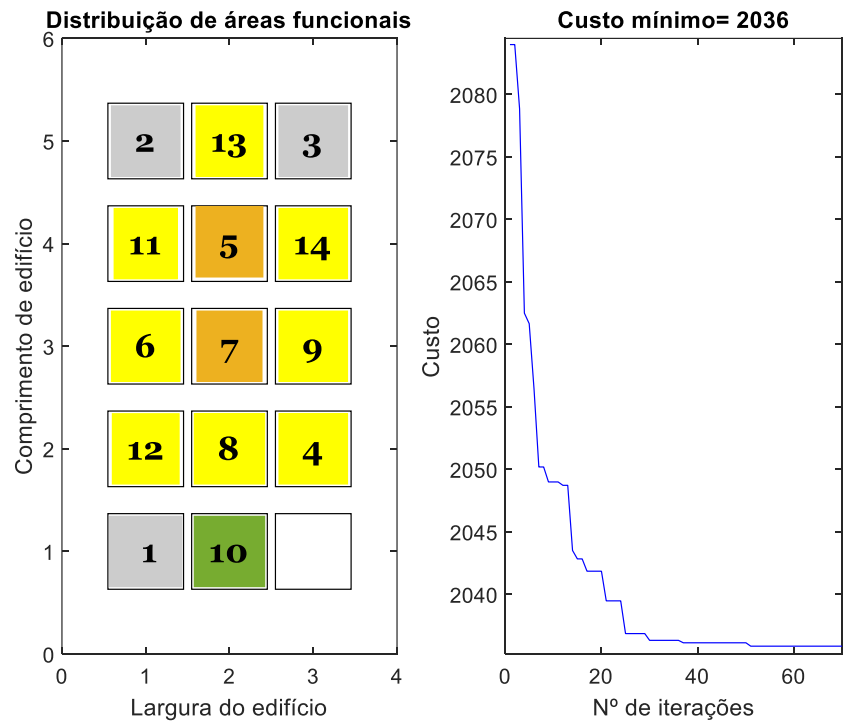
Simulação C



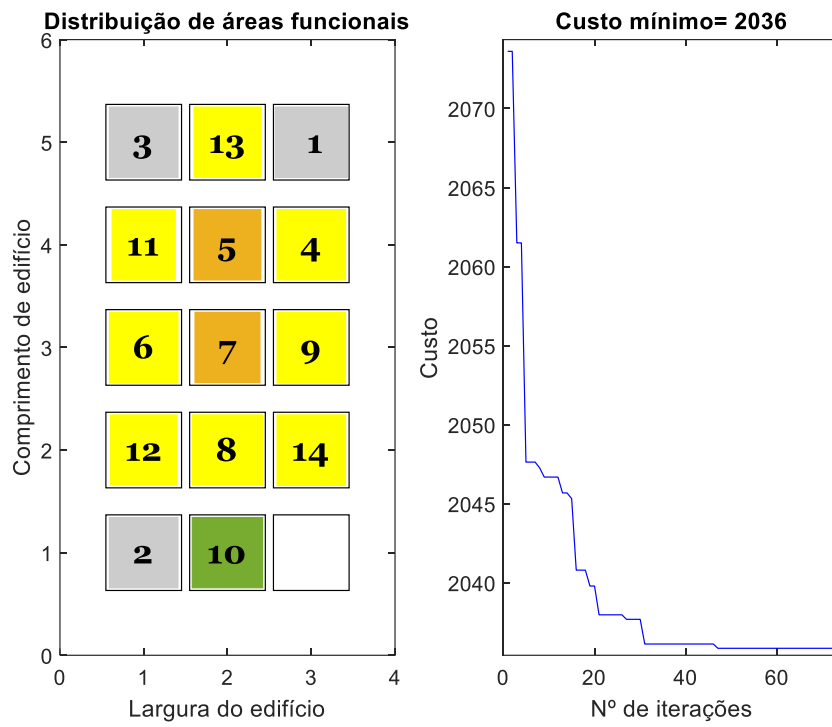
Simulação D



Simulação E



Simulação F



Apêndice VII:

Implementação em MatLab do modelo de otimização do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos

De seguida são descritas as etapas de implementação do modelo de otimização do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos, o qual se baseia no algoritmo de otimização de colónia de formigas, tendo sido implementado na aplicação MatLab, versão R2021a (Yarpiz, 2021; Mirjalili, Dong & Lewis, 2020; Mirjalili, 2019; D’Acierno, Montella & De Lucia, 2006; Tsutsui, 2006; Pasia, Hartl & Doerner, 2006; Dorigo & Stützle, 2004; Cuevas & Rodríguez, 2021).

- 1) Criação do grafo e realização do cálculo das distâncias entre cada nó (Relação entre as posições e as respetivas energias metabólicas despendidas).**

```
function [ graph ] = createGraph()
```

```
% Cenário 1:
```

```
% Vetor de posição 1 - Sequência de tarefas
```

```
x = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 ...  
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37];
```

```
% Vetor de posição 2 - Equivalente metabólico da tarefa (MET)
```

```
y = [5.9 5.0 5.3 4.7 6.9 5.8 5.0 4.7 5.8 5.7 5.9 5.8 5.8 5.6 5.8 4.5 6.0 4.7 6.1  
6.3 5.2 6.3 4.5 6.0 5.6 3.7 3.4 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.2 4.7 4.5];
```

```
% Cenário 2:
```

```
% Vetor de posição 1 - Sequência de tarefas
```

```
x = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22];
```

```
Vetor de posição 2 (equivalente metabólico da tarefa (MET)
```

```
y = [4.5 6.0 4.7 6.1 6.3 5.2 6.3 4.5 6.0 5.6 3.7 3.4 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9  
4.2 4.7 4.5];
```

```

% Cenário 3:
% Vetor de posição 1 - Sequência de tarefas
x = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 ...
     23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36];
% Vetor de posição 2 (equivalente metabólico da tarefa (MET))
y = [5.9 5.0 5.3 4.7 6.9 5.8 5.0 4.7 5.8 5.7 5.9 5.8 5.8 5.6 5.8 4.5 6.0 4.7 6.1 6.3
     6.3 4.5 6.0 5.6 3.7 3.4 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.2 4.7 4.5];

% Cenário 4:
% Vetor de posição 1 - Sequência de tarefas
x = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21];
% Vetor de posição 2 (equivalente metabólico da tarefa (MET))
y = [4.5 6.0 4.7 6.1 6.3 6.3 4.5 6.0 5.6 3.7 3.4 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.9 4.2
     4.7 4.5];

graph.n = length(x);

for i = 1 : graph.n
    graph.node(i).x = x(i);
    graph.node(i).y = y(i);
end

graph.edges = zeros( graph.n , graph.n );

for i = 1 : graph.n
    for j = 1: graph.n
        x1 = graph.node(i).x;
        x2 = graph.node(j).x;
        y1 = graph.node(i).y;
        y2 = graph.node(j).y;

        graph.edges(i,j) = sqrt( (x1 - x2) ^2 + (y1 - y2)^2 );

    end
end

```


end

2) Criação da colónia de formigas

```
function [ colony ] = createColony( graph, colony , antNo, tau, eta, alpha, beta)
```

```
nodeNo = graph.n;
```

```
for i = 1 : antNo
```

```
    initial_node = randi( [1 , nodeNo] ); % Seleção de um nó aleatório
```

```
    colony.ant(i).tour(1) = initial_node;
```

```
    for j = 2 : nodeNo % Procedimento para escolher os restantes nós
```

```
        currentNode = colony.ant(i).tour(end);
```

```
        P_allNodes = tau( currentNode , : ) .^ alpha .* eta( currentNode , : ) .^ beta;
```

```
        P_allNodes(colony.ant(i).tour) = 0 ; % atribuição de 0 a todos os nós visitados
```

```
    até o momento
```

```
        P = P_allNodes ./ sum(P_allNodes);
```

```
        nextNode = rouletteWheel(P);
```

```
        colony.ant(i).tour = [ colony.ant(i).tour , nextNode ];
```

```
    end
```

```
    % conclusão do percurso
```

```
    colony.ant(i).tour = [ colony.ant(i).tour , colony.ant(i).tour(1)];
```

```
end
```

```
end
```

3) Criação da função *fitness*

```
function [ fitness ] = fitnessFunction ( tour , graph)

fitness = 0;

for i = 1 : length(tour) -1

    currentNode = tour(i);
    nextNode = tour(i+1);

    fitness = fitness + graph.edges( currentNode , nextNode );

end

end
```

4) Criação da Roleta (*Roulette wheel*) para a escolha de uma aresta baseada em P valores

```
function [ nextNode ] = rouletteWheel( P )
cumsumP = cumsum(P);

r = rand();

nextNode = find( r <= cumsumP );

nextNode = nextNode(1);

end
```

5) Criação do melhor percurso (caminho mais curto)

```
function [ ] = drawBestTour(colony , graph)

queenTour = colony.queen.tour;
hold on
for i = 1 : length(queenTour) - 1

    currentNode = queenTour(i);
    nextNode = queenTour(i+1);

    x1 = graph.node(currentNode).x;
    y1 = graph.node(currentNode).y;

    x2 = graph.node(nextNode).x;
    y2 = graph.node(nextNode).y;

    X = [x1 , x2];
    Y = [y1, y2];
    plot (X, Y, '-r');

end

for i = 1 : graph.n

    X = [graph.node(:).x];
    Y = [graph.node(:).y];

    plot(X, Y, 'ok', 'markerSize' , 14 , 'MarkerEdgeColor' , 'r' , 'MarkerFaceColor', [1, 0.6,
0.6]);
    labels = arrayfun(@(value) num2str(value,'%1.0f'),X,'UniformOutput',false);
    text(X,Y,labels,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','middle');
    xlabel('Tarefas'); ylabel('Equivalente Metabólico');
end

%title('Melhor percurso (A rainha)')
```

```

title(' Caminho mais curto' , num2str(colony.queen.fitness));
box('on');
grid on;

```

6) Criação da função de disseminação de feromonas

```

function [ ] = drawPhromone(tau , graph)

maxTau = max(tau(:));
minTau = min(tau(:));

tau_normalized = (tau - minTau) ./ (maxTau - minTau);

for i = 1 : graph.n -1
    for j = i+1 : graph.n
        x1 = graph.node(i).x;
        y1 = graph.node(i).y;

        x2 = graph.node(j).x;
        y2 = graph.node(j).y;

        X = [x1 , x2];
        Y = [y1 , y2];

        tau(i , j);

        plot(X,Y, 'color' , [0, 0, (1-tau_normalized(i,j)), tau_normalized(i,j)] , 'lineWidth',
10.*tau_normalized(i,j) + 1)

    end
end

for i = 1 : graph.n
    hold on
    X = [graph.node(:).x];
    Y = [graph.node(:).y];
    plot(X , Y , 'ok', 'MarkerSize', 14, 'MarkerEdgeColor', 'r', 'MarkerFaceColor', [1 .6 .6]);

```

```

labels = arrayfun(@(value) num2str(value, '%1.0f'), X, 'UniformOutput', false);
text(X, Y, labels, 'HorizontalAlignment', 'center', 'VerticalAlignment', 'middle');
xlabel('Tarefas'); ylabel('Equivalente Metabólico');
end

title('Disseminação das feromonas')
box('on')
grid on;

end

```

7) Criação da função *update* das feromonas

```

function [ tau ] = updatePhromone(tau , colony)
% Update da matriz de feromonas
nodeNo = length (colony.ant(1).tour);
antNo = length( colony.ant(:) );

for i = 1 : antNo % para cada formiga
    for j = 1 : nodeNo-1 % para cada nó no percurso
        currentNode = colony.ant(i).tour(j);
        nextNode = colony.ant(i).tour(j+1);

        tau(currentNode , nextNode) = tau(currentNode , nextNode) + 1./
colony.ant(i).fitness;
        tau(nextNode , currentNode) = tau(nextNode , currentNode) + 1./
colony.ant(i).fitness;

    end
end

end

```

8) Criação da função para visualizar os nós e arestas do grafo

```
function [ ] = drawGraph( graph )
hold on

for i = 1 : graph.n - 1
    for j = i+1 : graph.n

        x1 = graph.node(i).x;
        y1 = graph.node(i).y;

        x2 = graph.node(j).x;
        y2 = graph.node(j).y;

        X = [x1 , x2];
        Y = [y1 , y2];

        plot( X , Y , '-k');
    end
end

for i = 1 : graph.n
    X = [graph.node(:).x];
    Y = [graph.node(:).y ];
    plot(X,Y, 'ok', 'MarkerSize', 14, 'MarkerEdgeColor' , 'r' , 'MarkerFaceColor' , [ 1, 0.6 ,
0.6]);
    labels = arrayfun(@(value) num2str(value,'%1.0f'),X,'UniformOutput',false);
    text(X,Y,labels,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','middle');
    xlabel('Tarefas'); ylabel('Equivalente Metabólico');
end

title ('Todos os nós e arestas ')
box('on')
grid on;

end
```

9) Ligação de todas as funções e criação do algoritmo de otimização de colónias de formigas

```
% Criação do grafo
[ graph ] = createGraph();

% Representação gráfica
figure

drawGraph( graph );

%% Algoritmo ACO

%% Parâmetros iniciais do ACO
maxIter = 30;
antNo = 50;

tau0 = 10 * 1 / ( graph.n * mean( graph.edges(:) ) ); % Concentração inicial de
feromonas

tau = tau0 * ones( graph.n , graph.n); % Matriz das feromonas
eta = 1./ graph.edges; % desejabilidade de cada aresta

rho = 0.5; % Velocidade de evaporação das feromonas
alpha = 1; % Parâmetros exponenciais das feromonas
beta = 1; % Parâmetro exponencial de desejabilidade

% Criação do loop principal do ACO

bestFitness = inf;
bestTour = [];
for t = 1 : maxIter
    % Criação da colónia de formigas

    colony = [];
```

```

colony = createColony( graph, colony , antNo, tau, eta, alpha, beta);

    % Cálculo dos valores fitness de todas as formigas
for i = 1 : antNo
    colony.ant(i).fitness = fitnessFunction(colony.ant(i).tour , graph );
end

% Procura da melhor formiga (A Rainha)
allAntsFitness = [ colony.ant(:).fitness ];
[ minVal , minIndex ] = min( allAntsFitness );
if minVal < bestFitness
    bestFitness = colony.ant(minIndex).fitness;
    bestTour = colony.ant(minIndex).tour;
end

colony.queen.tour = bestTour;
colony.queen.fitness = bestFitness;

% Update da matriz de feromonas
tau = updatePhromone( tau , colony );

% Taxa de evaporação das feromonas
tau = ( 1 - rho ) .* tau;

% Apresentação dos resultados na janela de comandos
outmsg = [ 'Iteração N°: ' , num2str(t) , ' Caminho mais curto = ' ,
num2str(colony.queen.fitness)];
disp(outmsg)

% Visualização da grafo de iteração
figure(1);
drawGraph( graph );
title(['N° de iterações: ',num2str(t)])
% Visualização da melhor tour
figure(2);
drawBestTour(colony , graph)
cla

```



```

drawBestTour( colony, graph );
% Visualização da concentração de feromonas
figure(3);
drawBestTour(colony , graph)
cla
drawPhromone( tau , graph );
% Visualização da minimização da energia metabólica gasta
figure(4);
plot (t,colony.queen.fitness,'k-o','color','blue');
    xlabel('Nº de iterações');
    ylabel('Caminho mais curto');
    %'LineWidth',1.5,...
    %'MarkerFaceColor','y',...
    %'MarkerSize',5);
hold on
drawnow
end

```

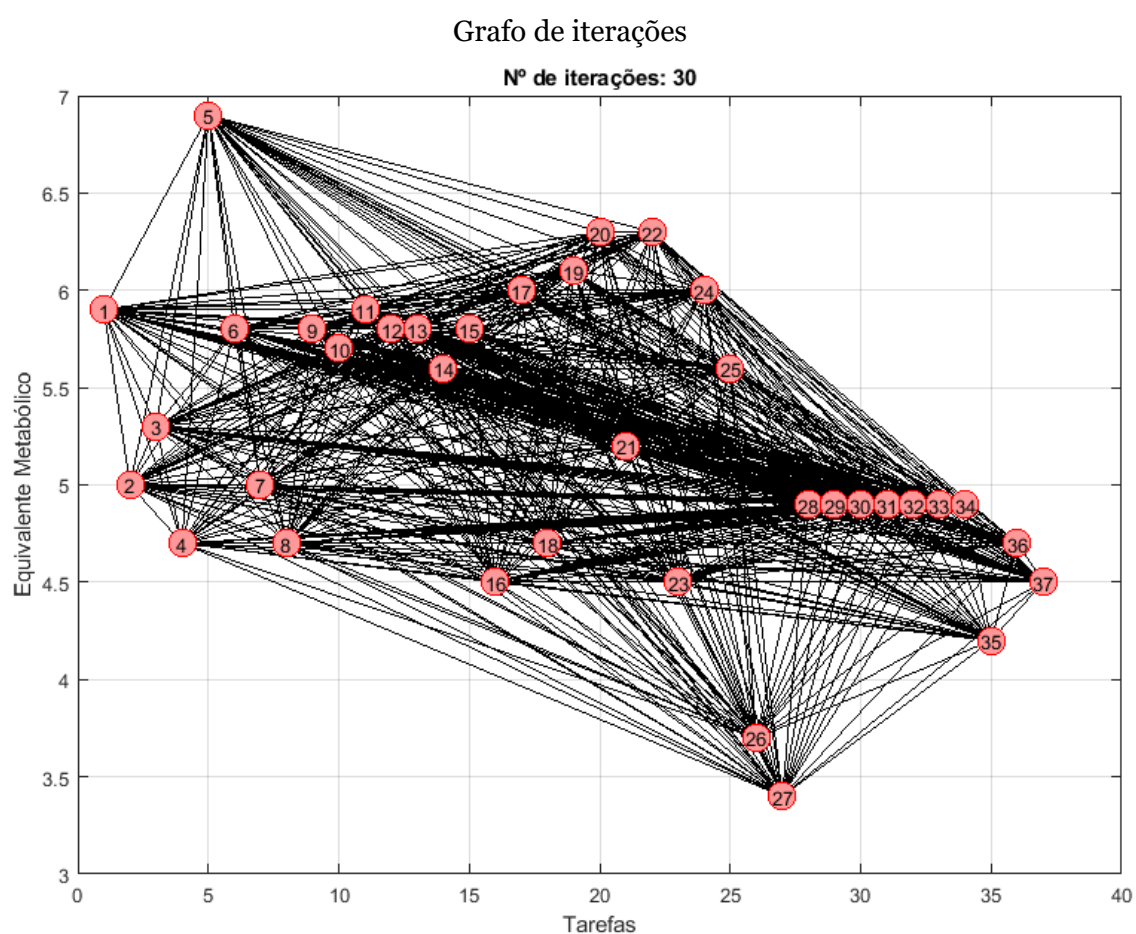

Apêndice VIII:

Otimização do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos

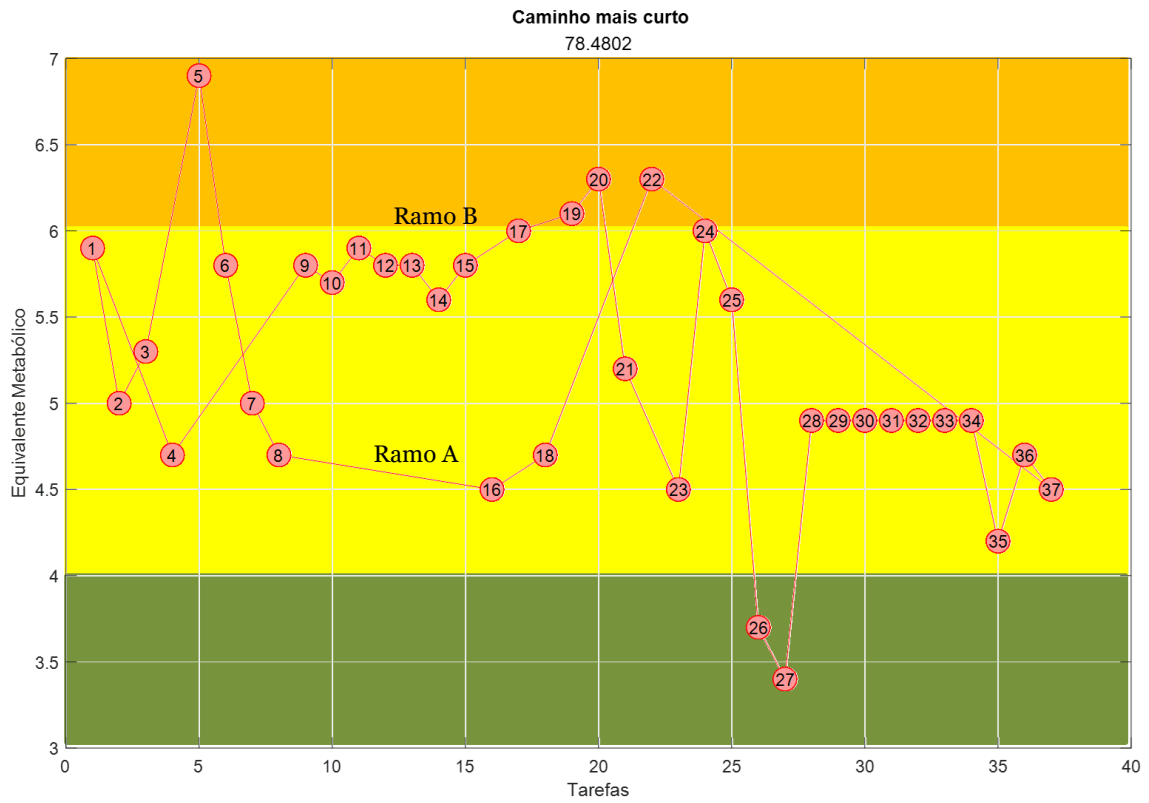
Soluções obtidas para a do planeamento das atividades laborais com base na avaliação de riscos ergonómicos, incluindo a evolução do custo mínimo em relação ao número de iterações e a representação esquemática da simulação de distribuição de feromonas.

Resultados do Cenário 1: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época alta

Simulação A



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

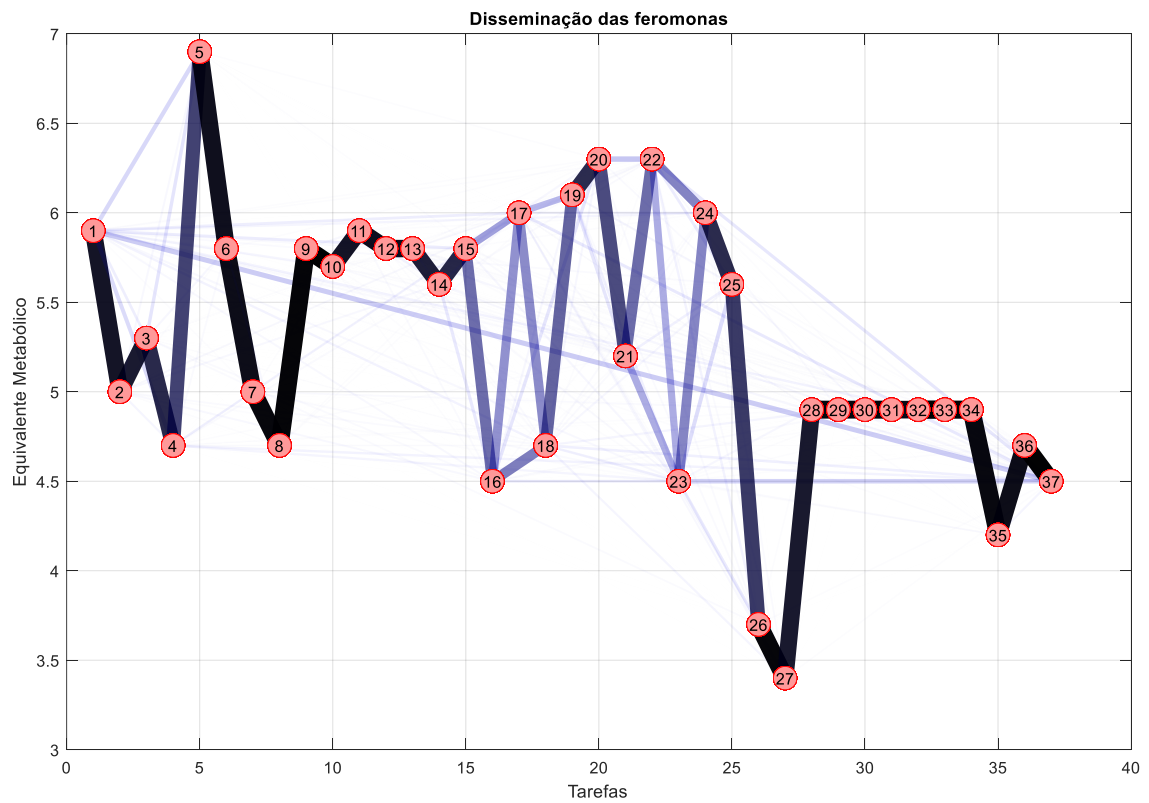
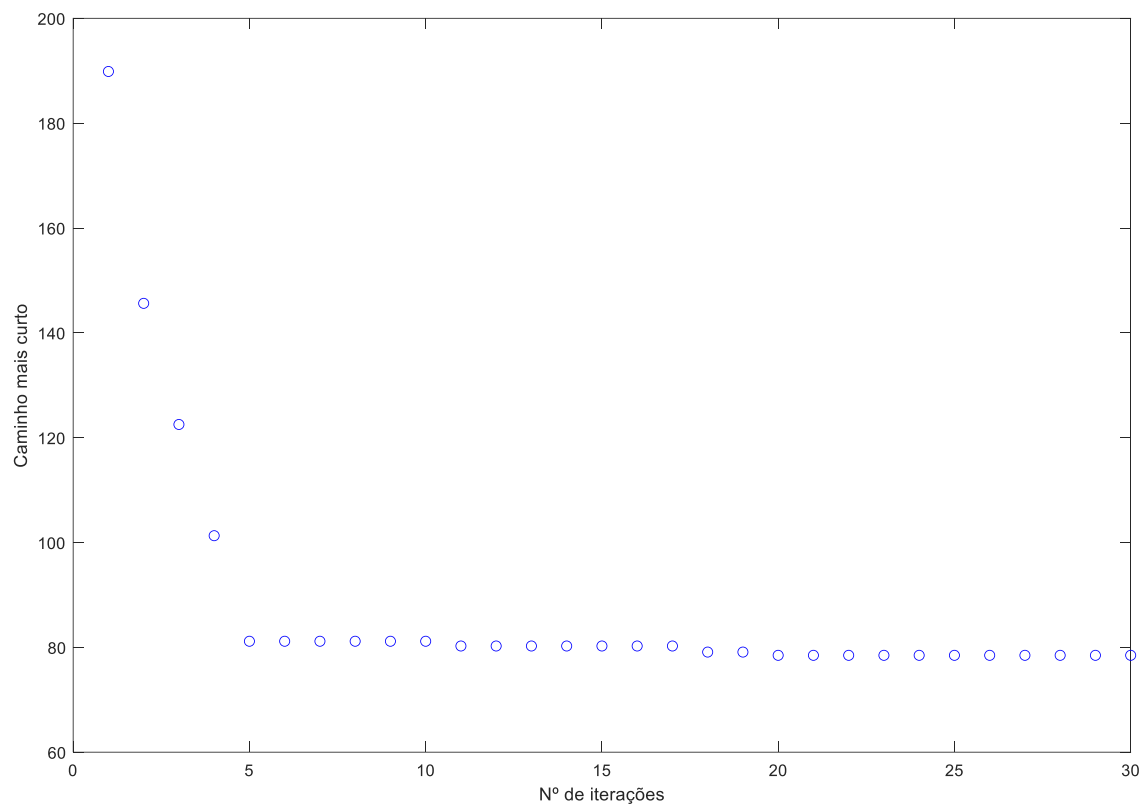
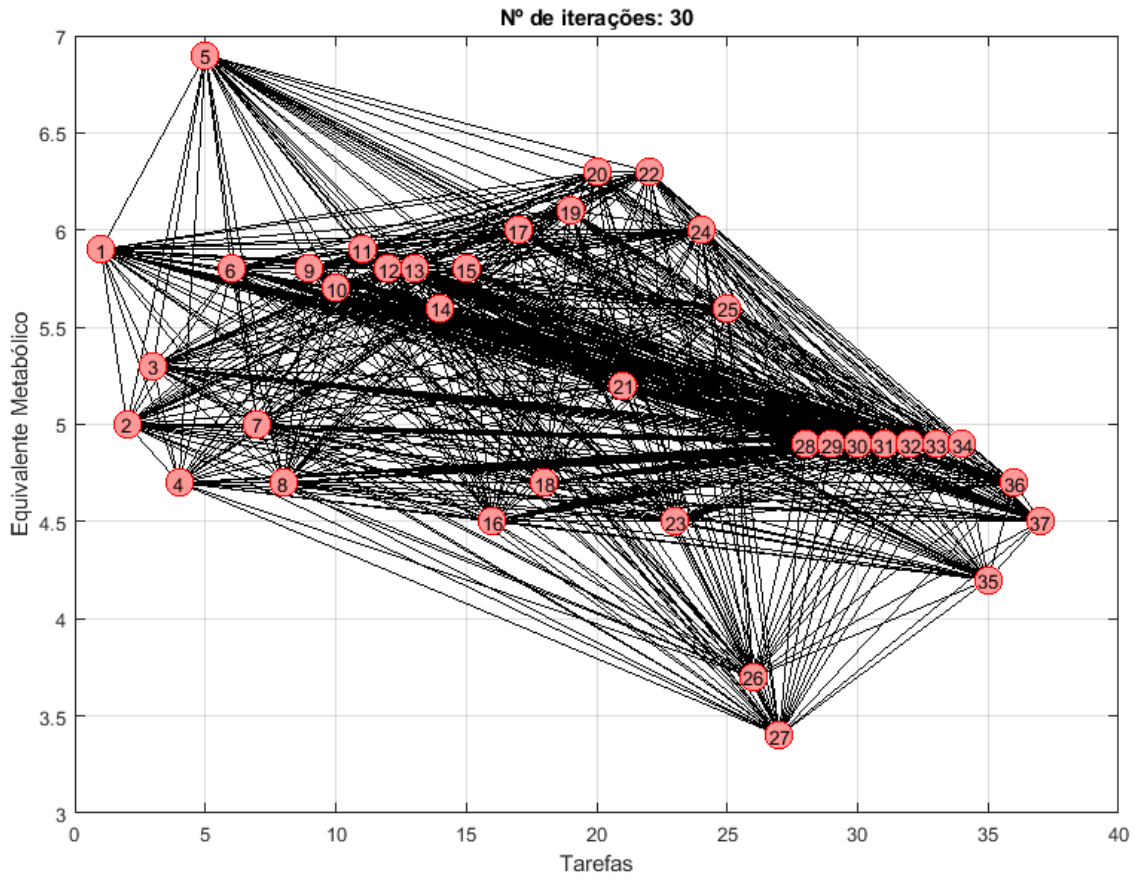


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

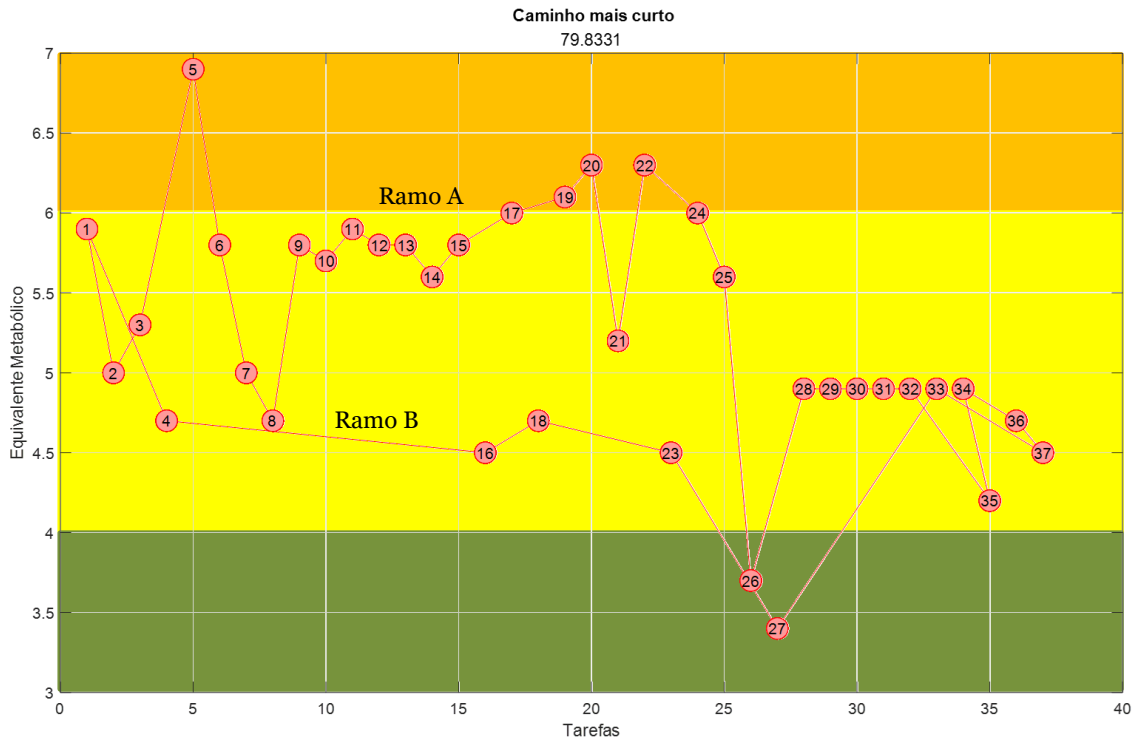


Simulação B

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

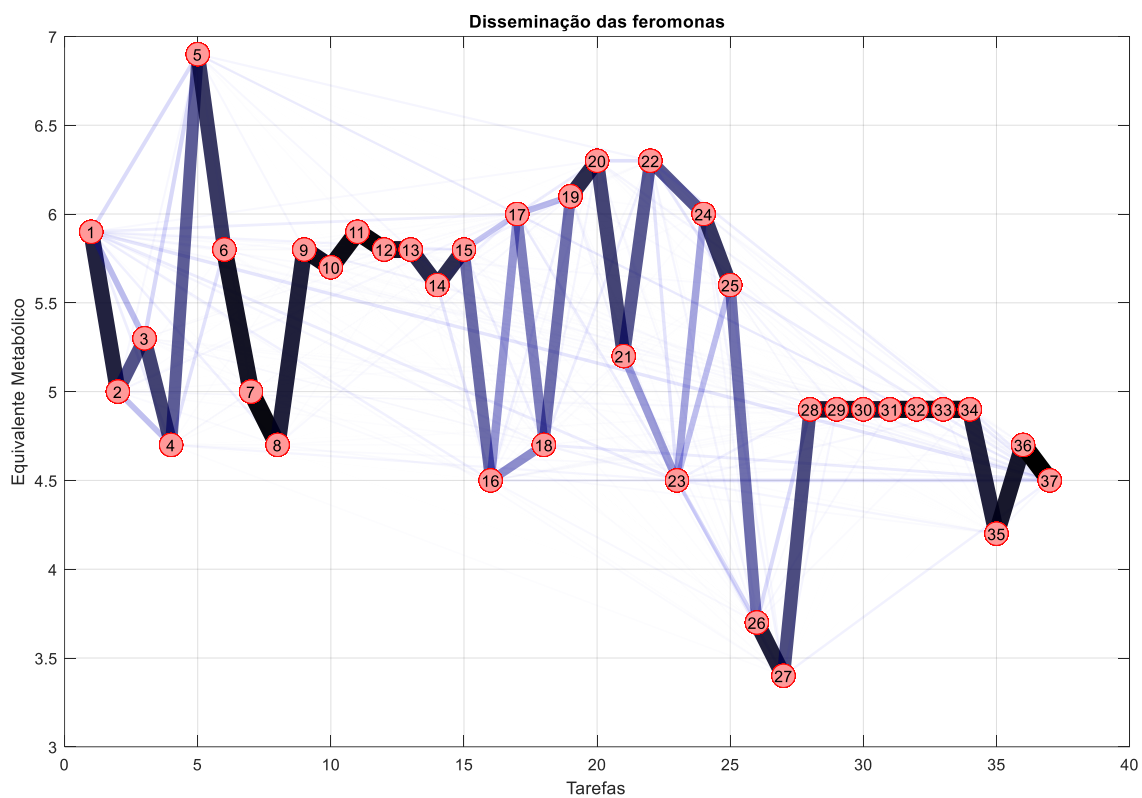
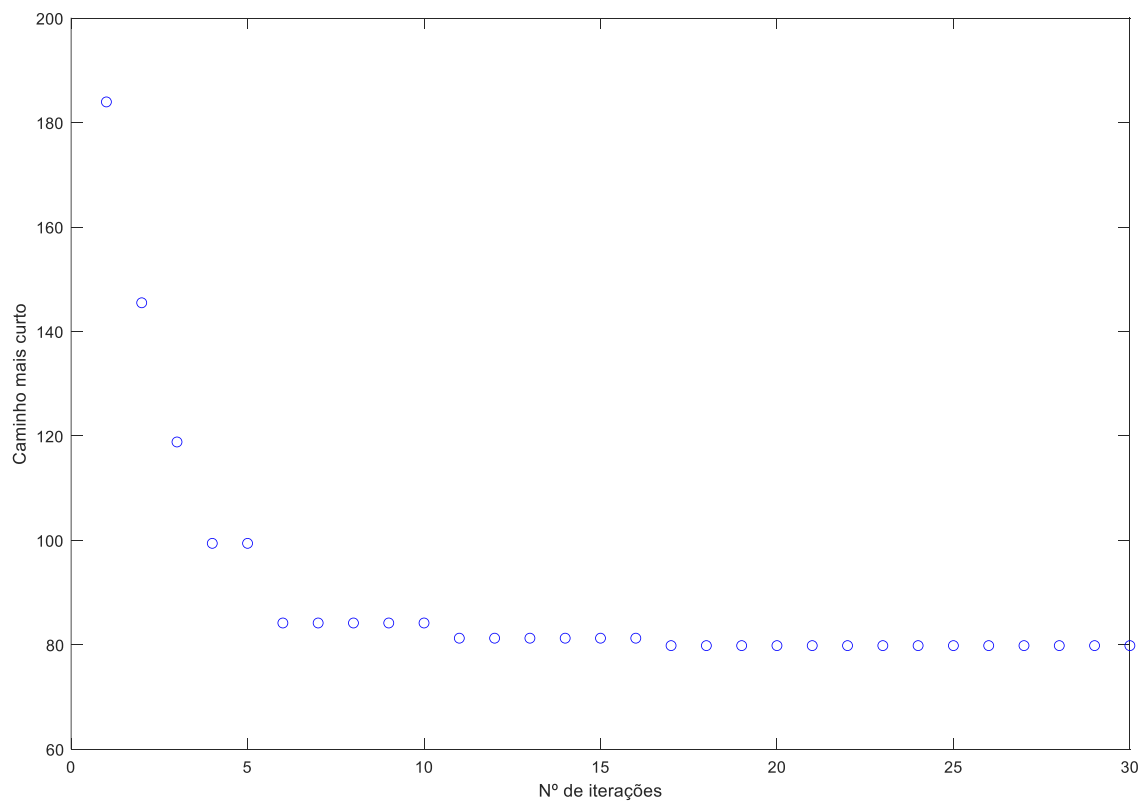
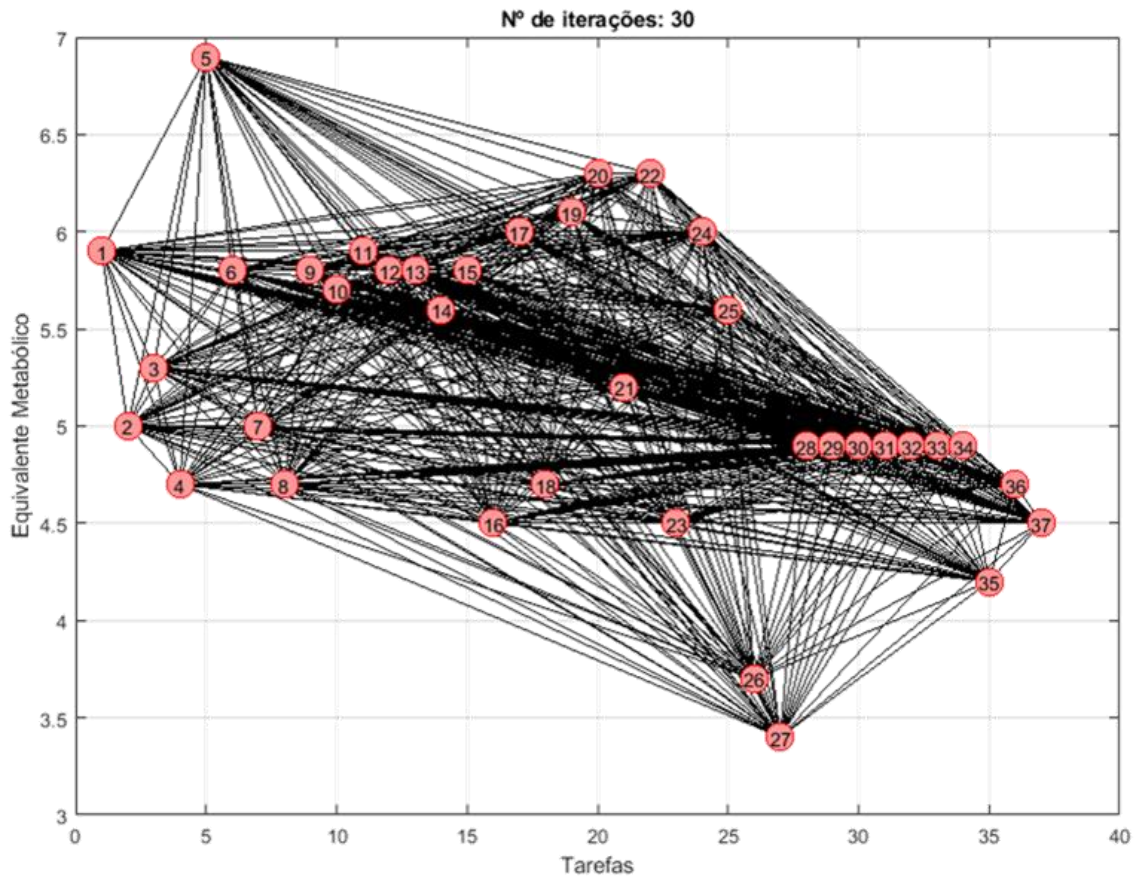


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

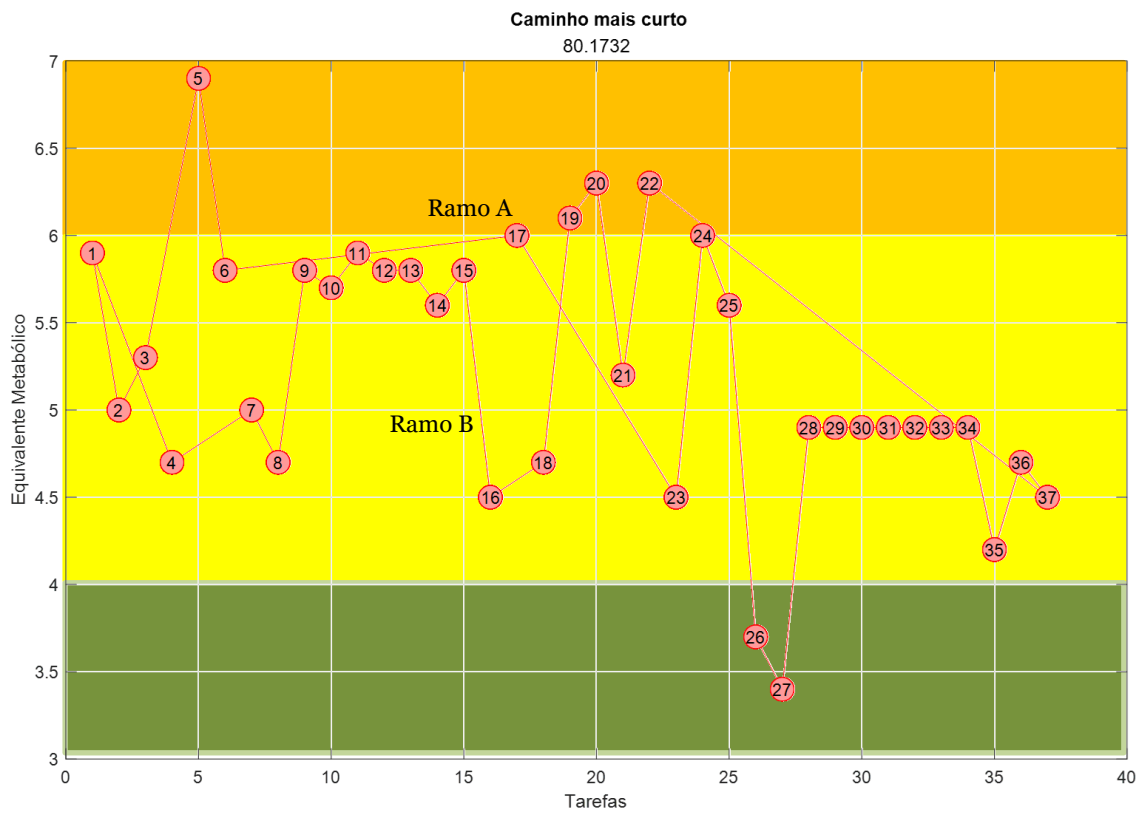


Simulação C

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

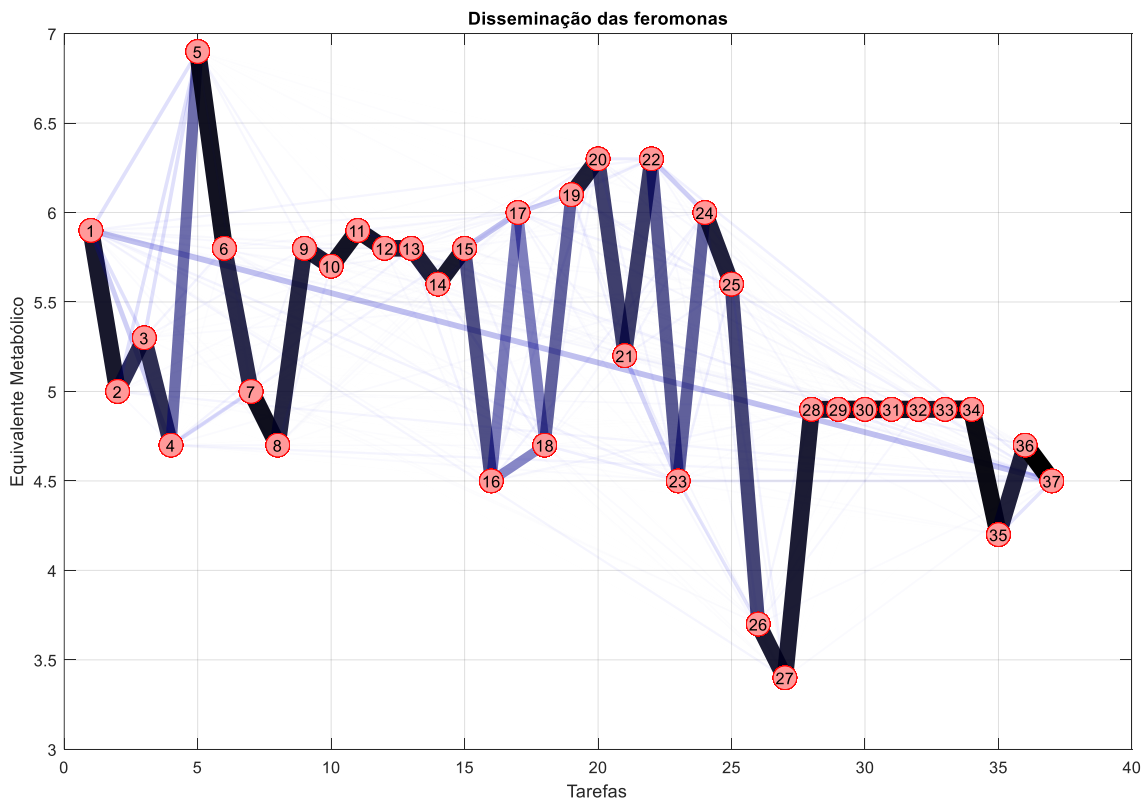
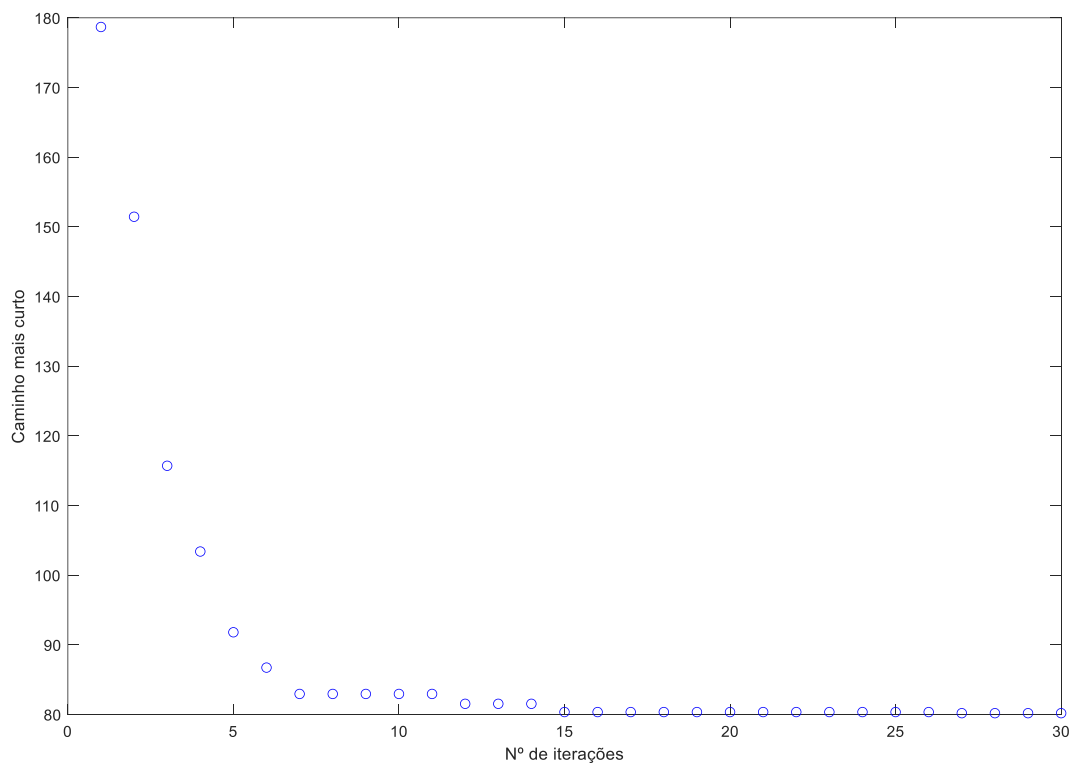


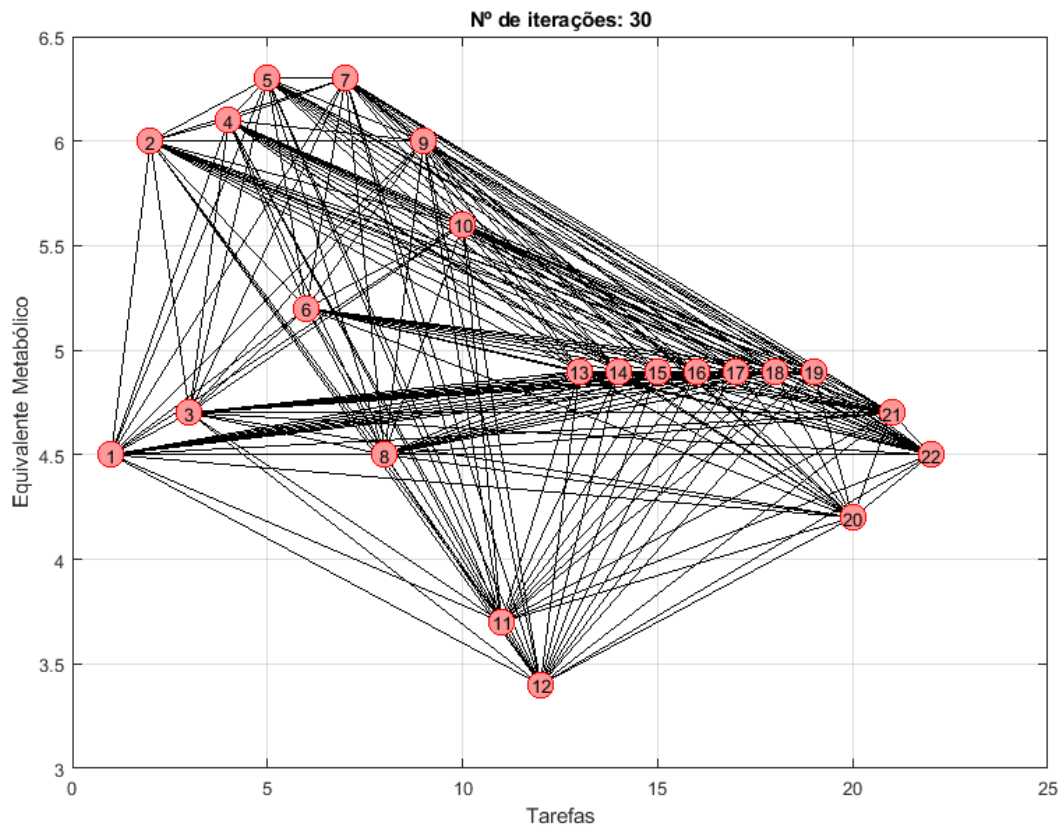
Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações



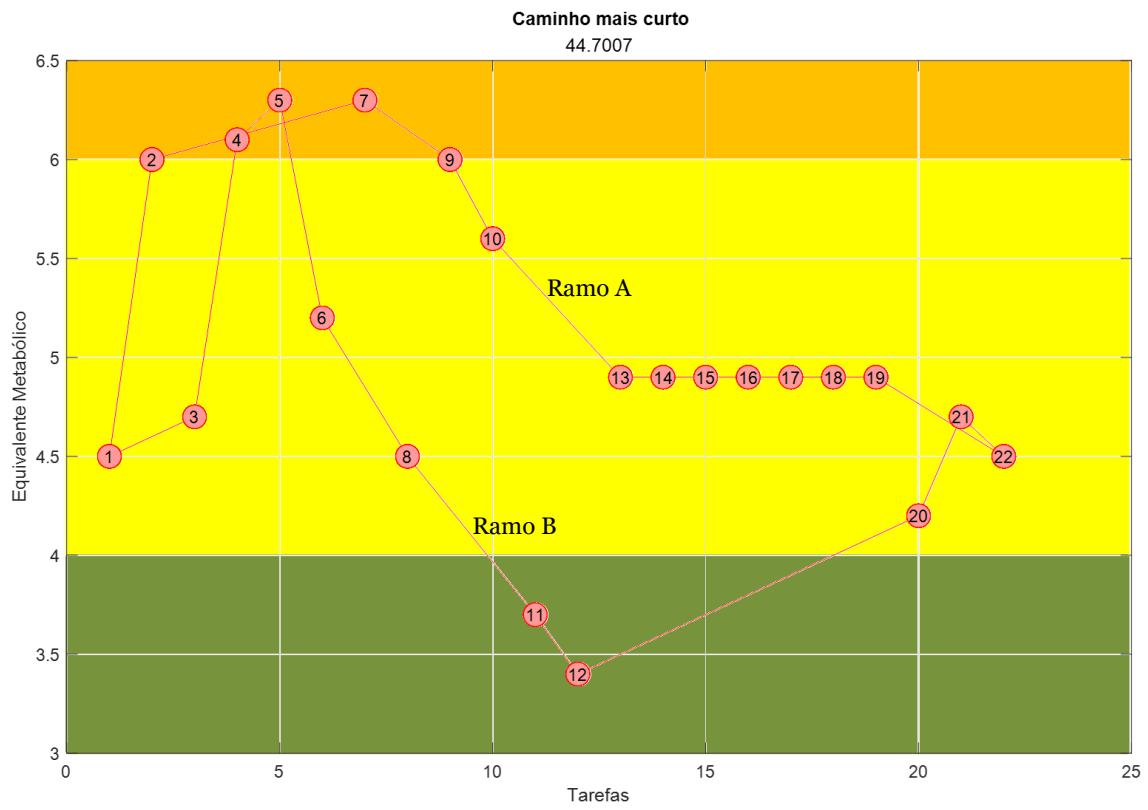
Resultados do Cenário 2: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho Madeira na época baixa

Simulação A

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

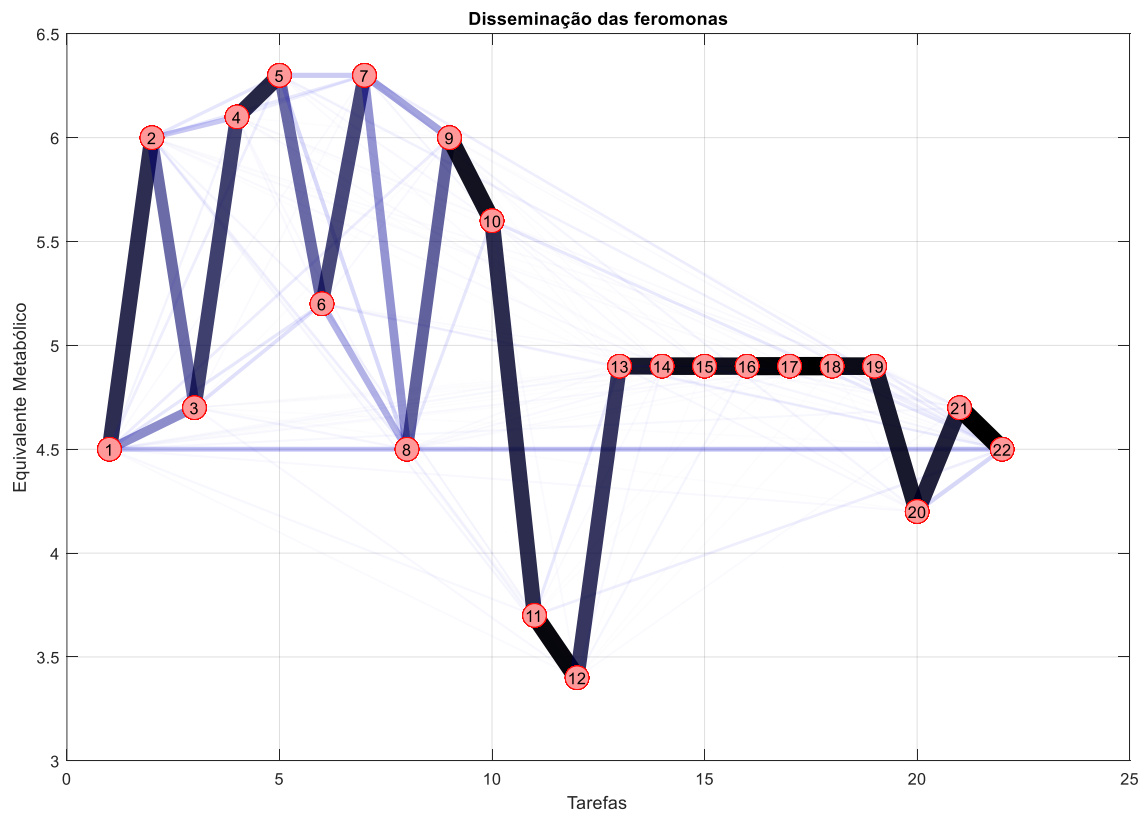
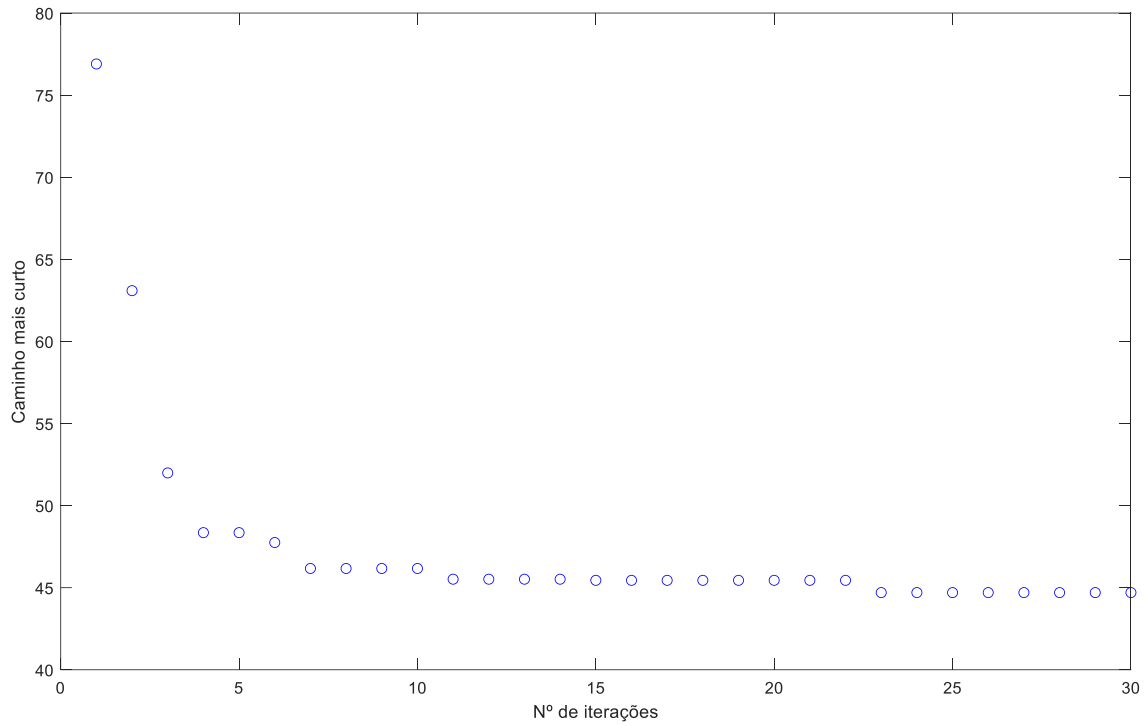
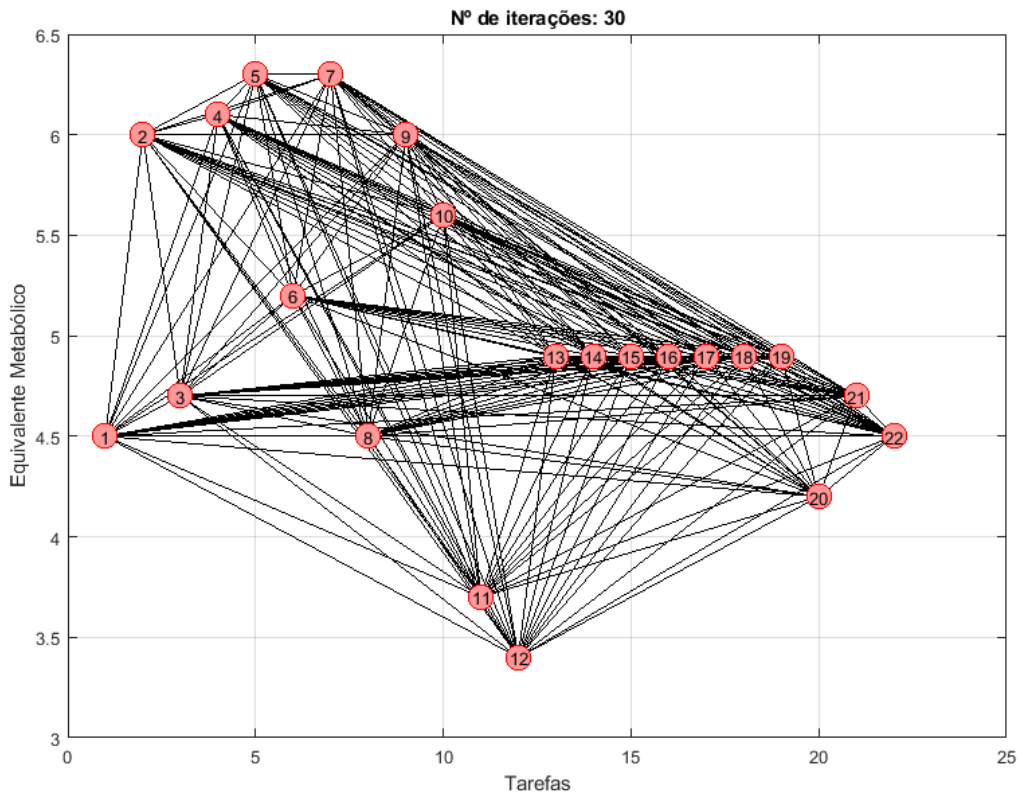


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

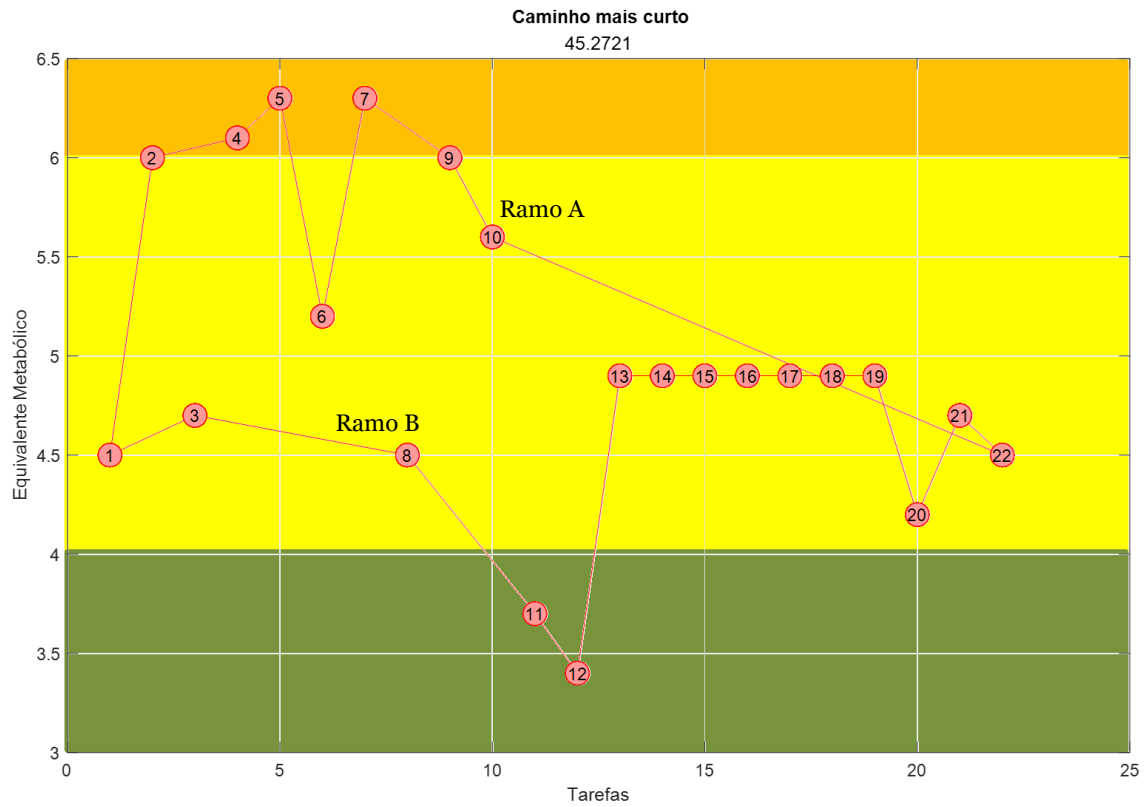


Simulação B

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

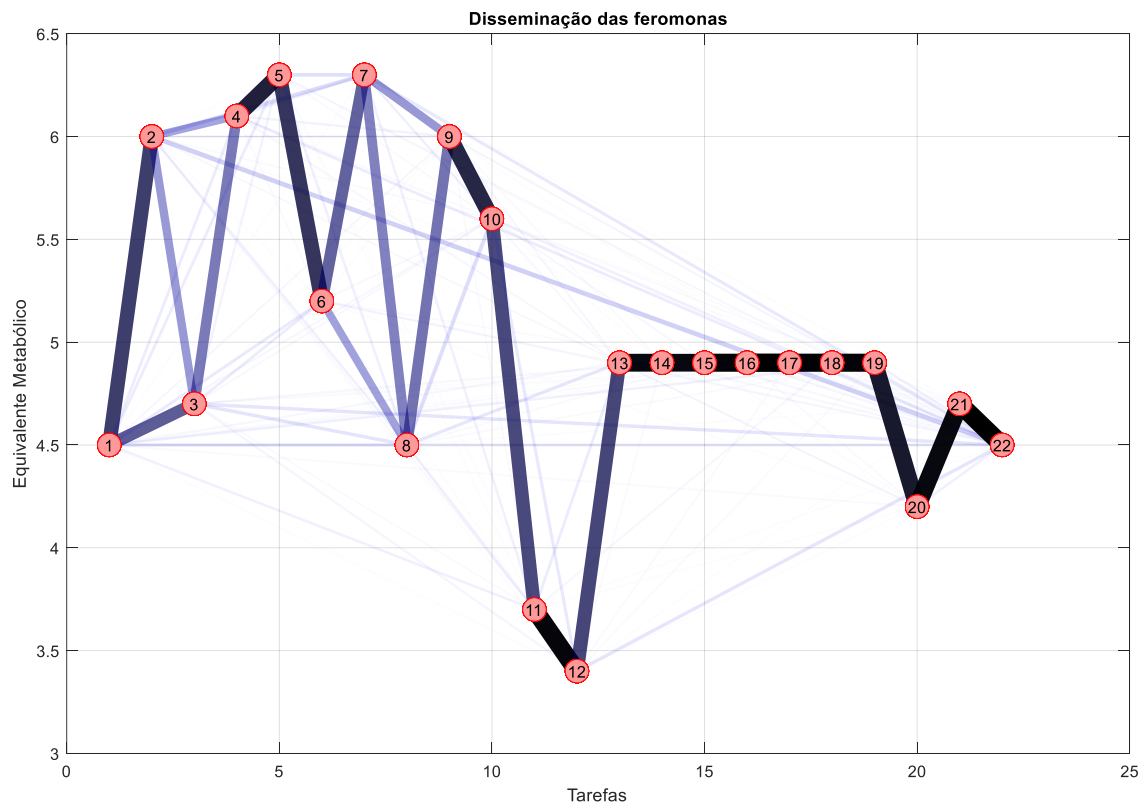
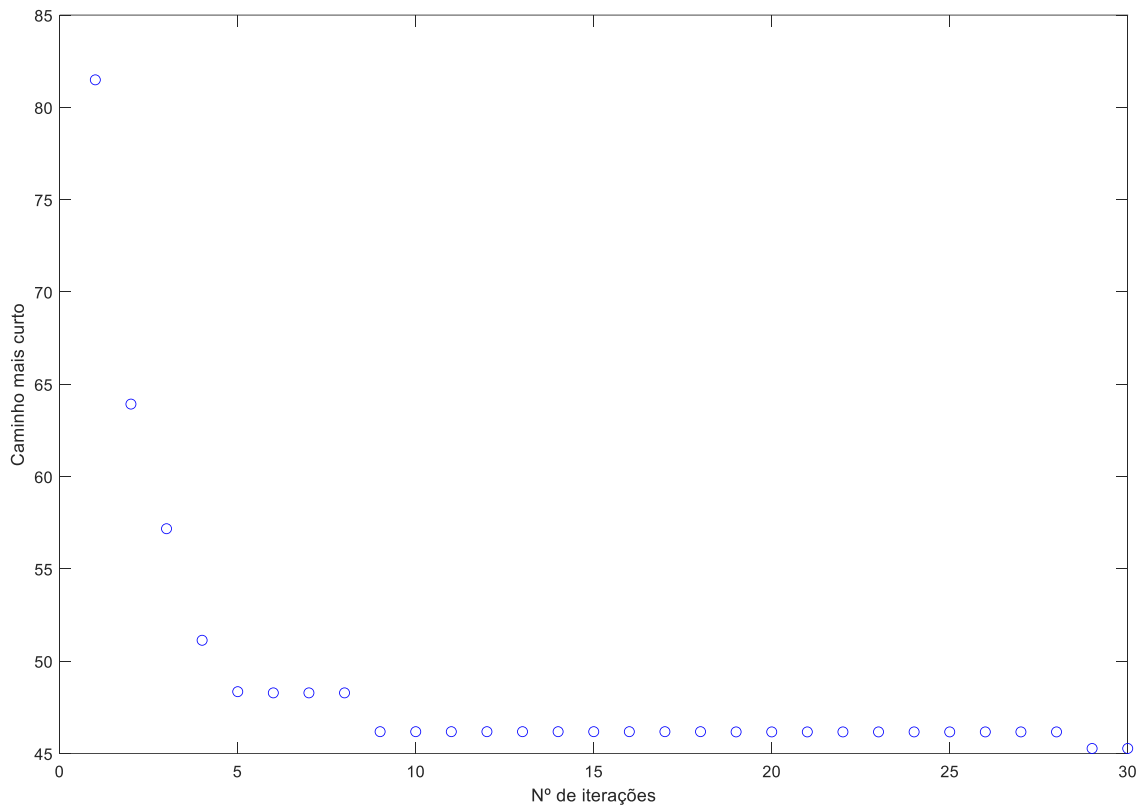
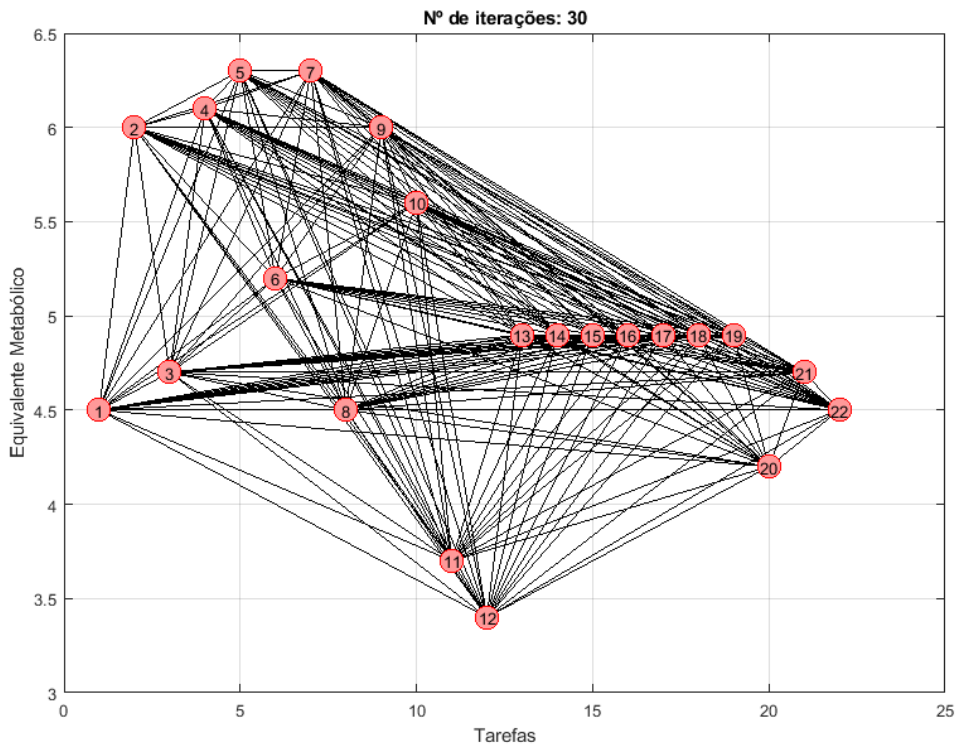


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

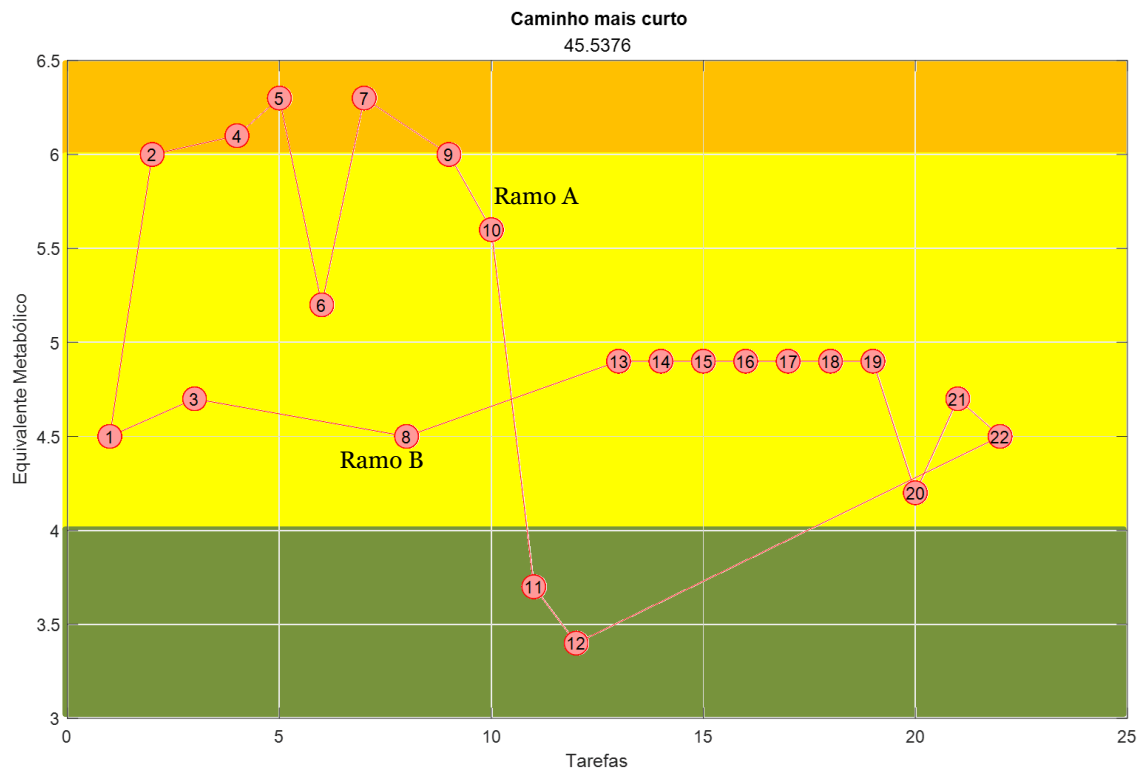


Simulação C

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

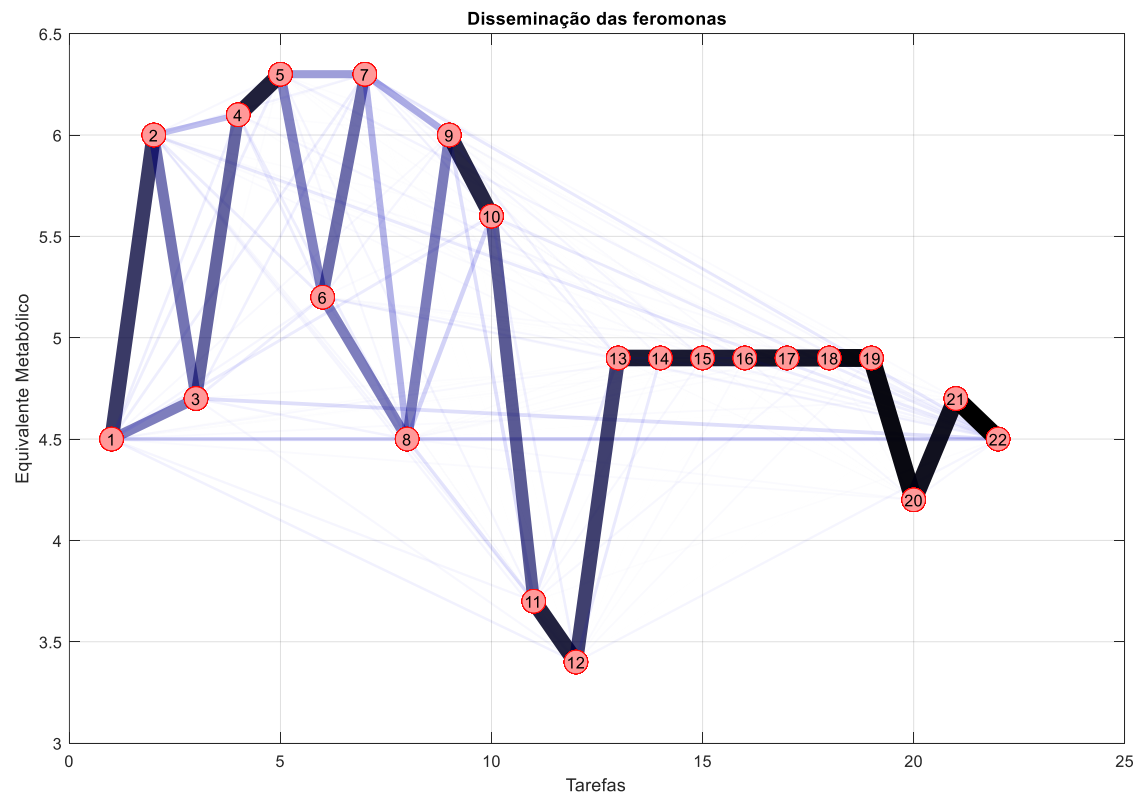
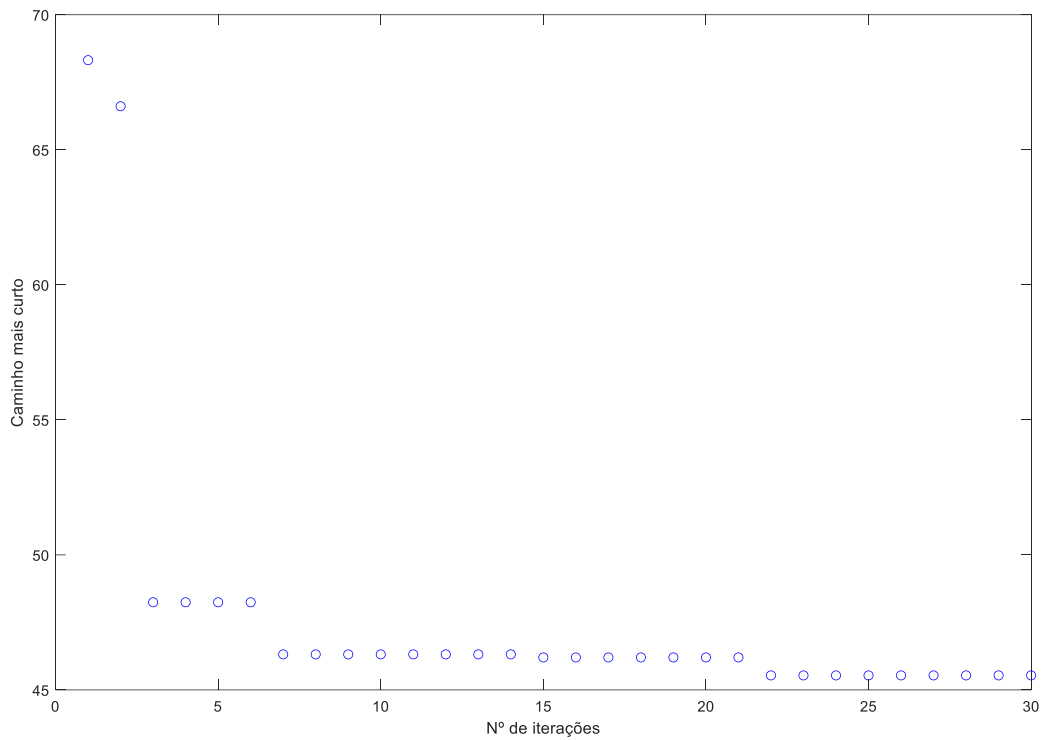


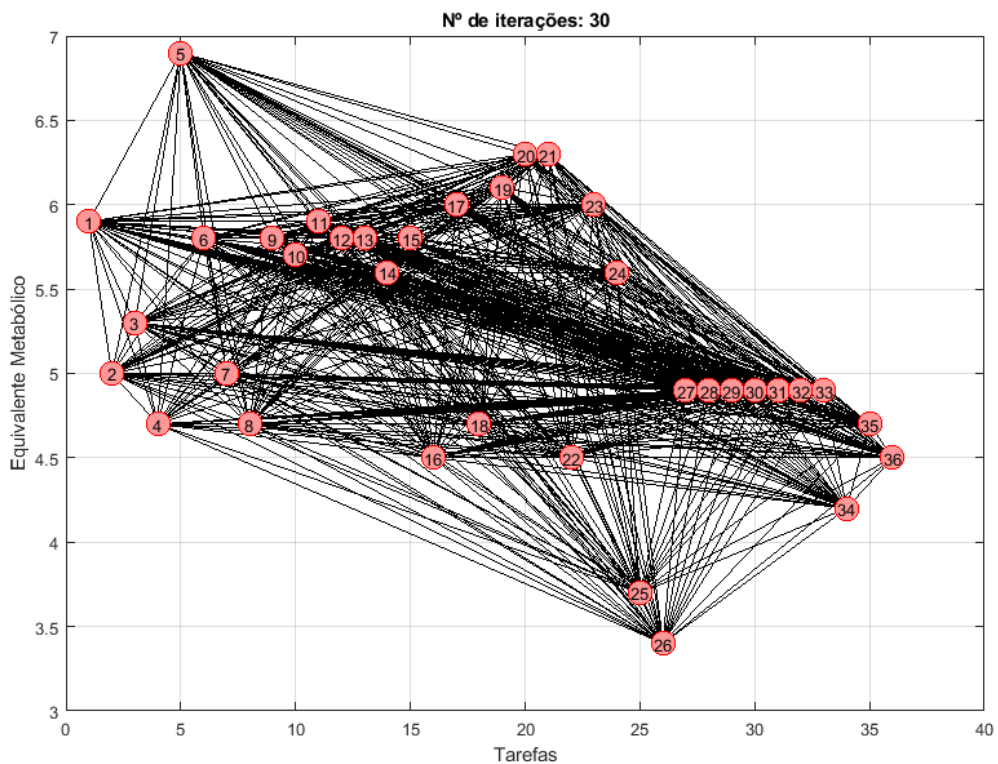
Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações



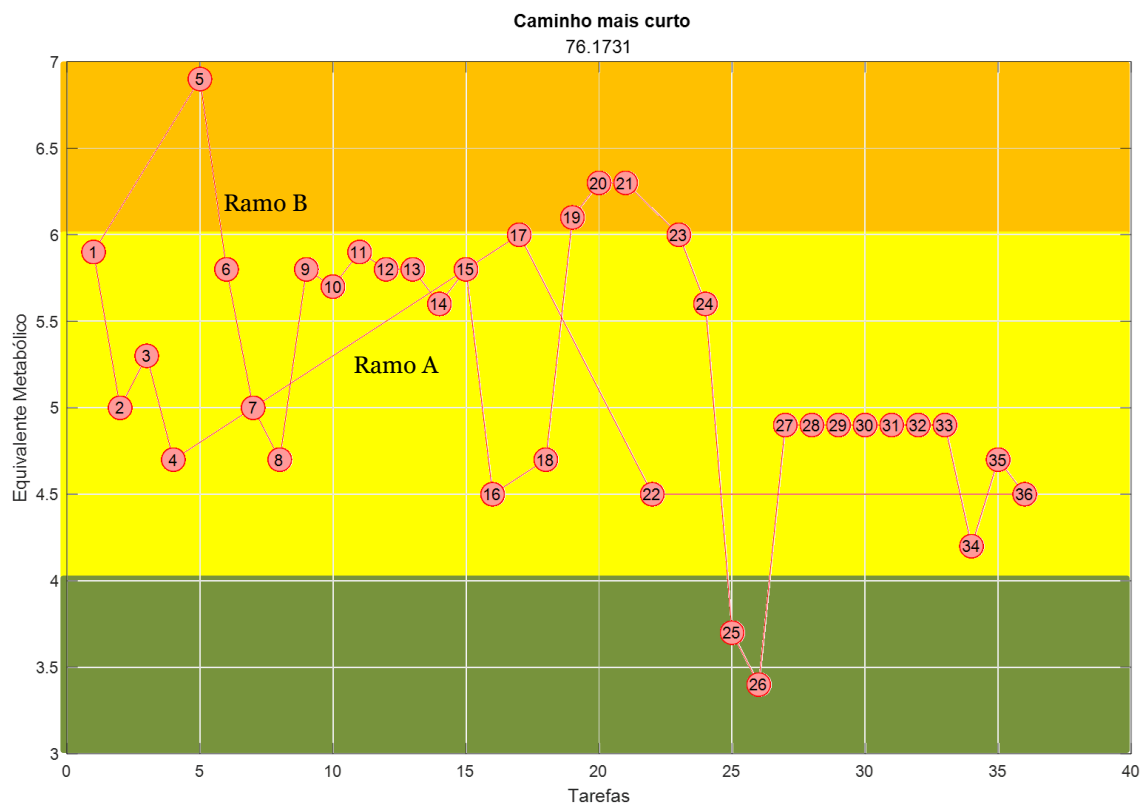
Resultados do Cenário 3: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época alta

Simulação A

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

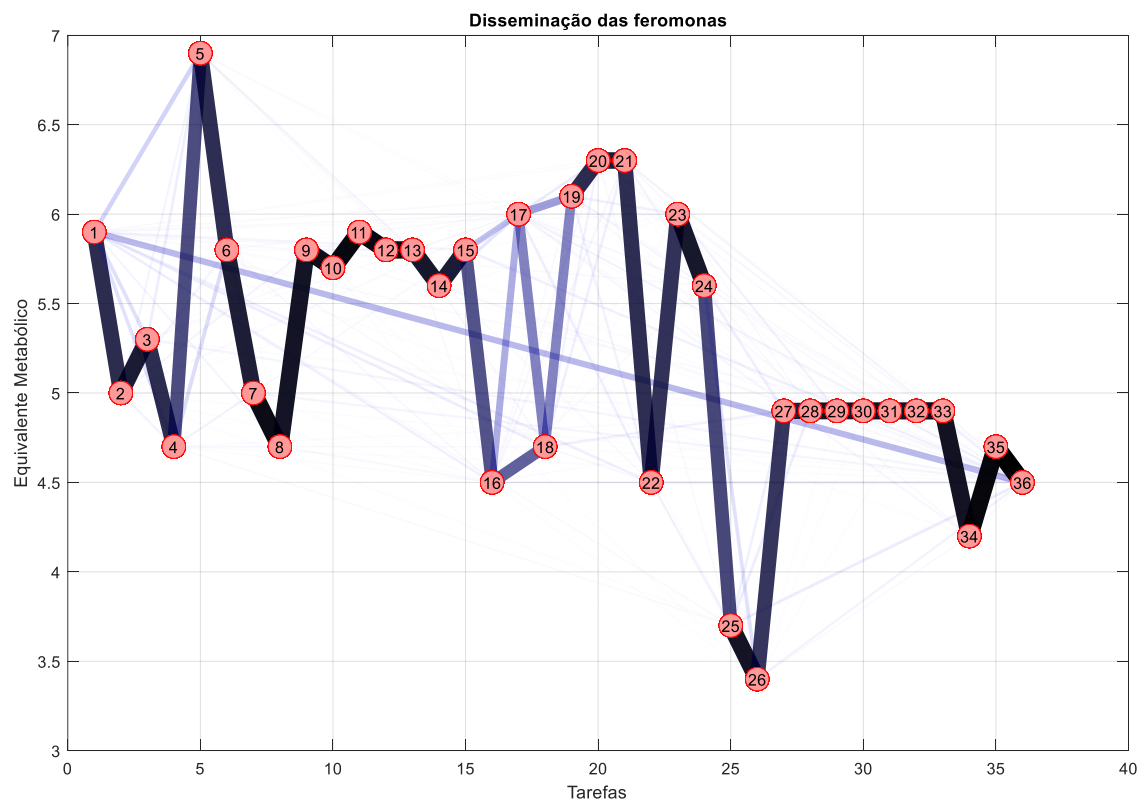
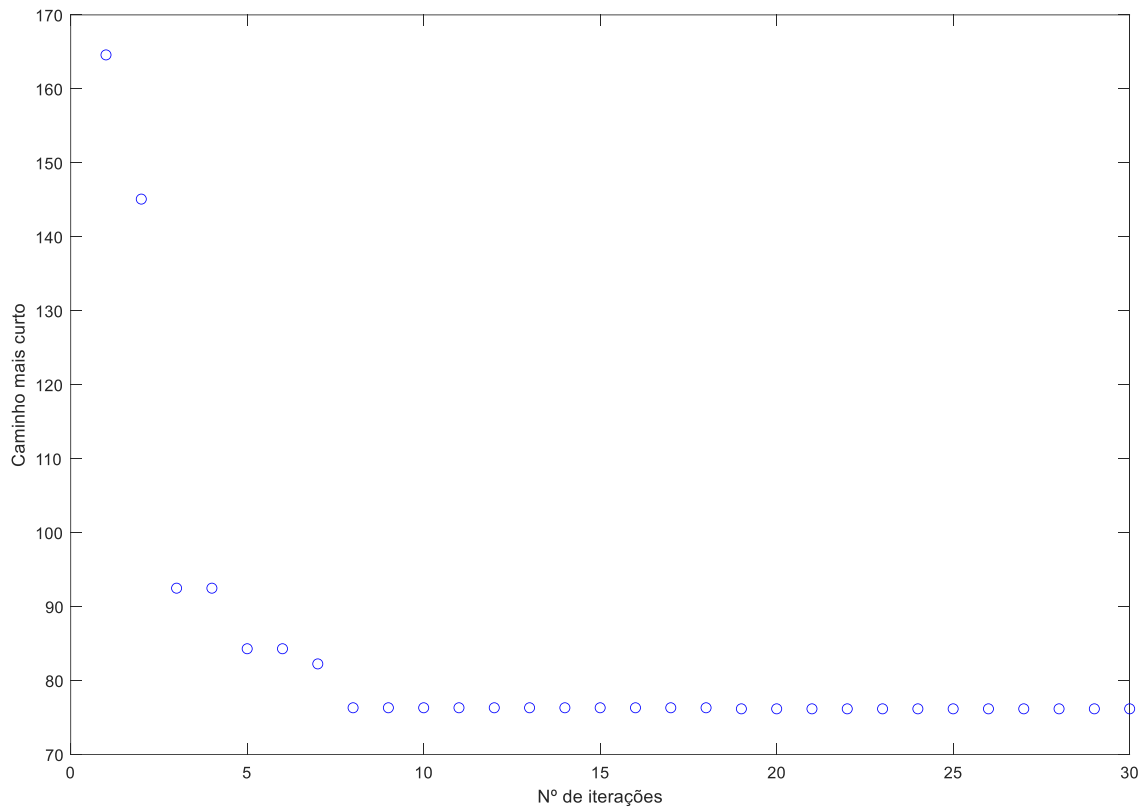
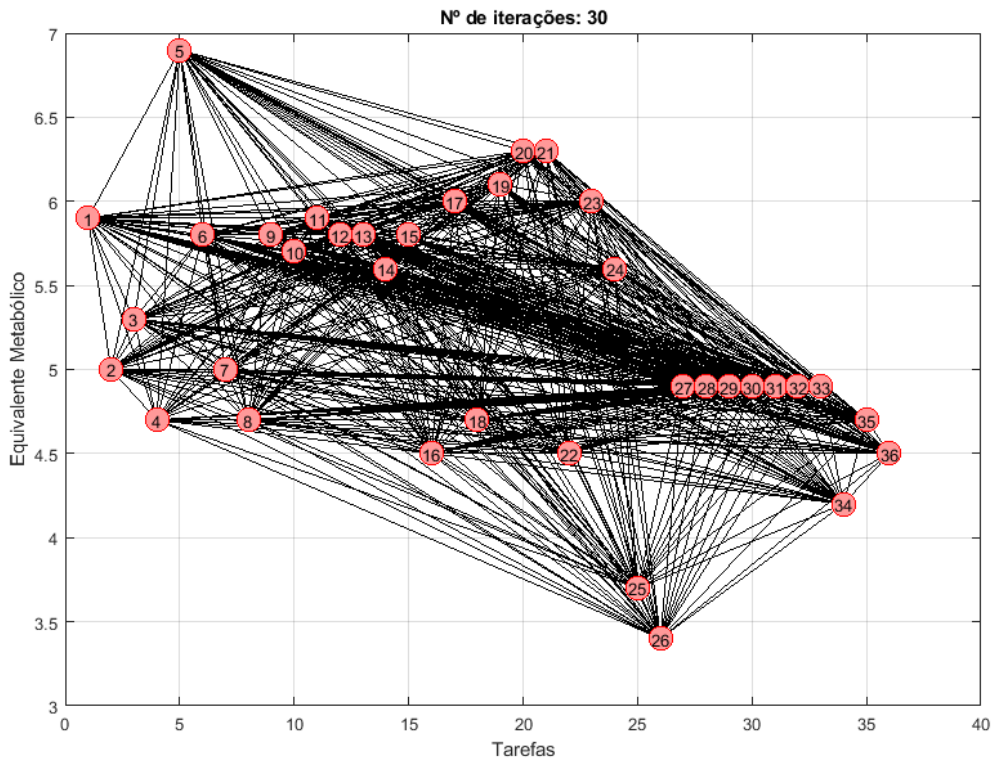


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

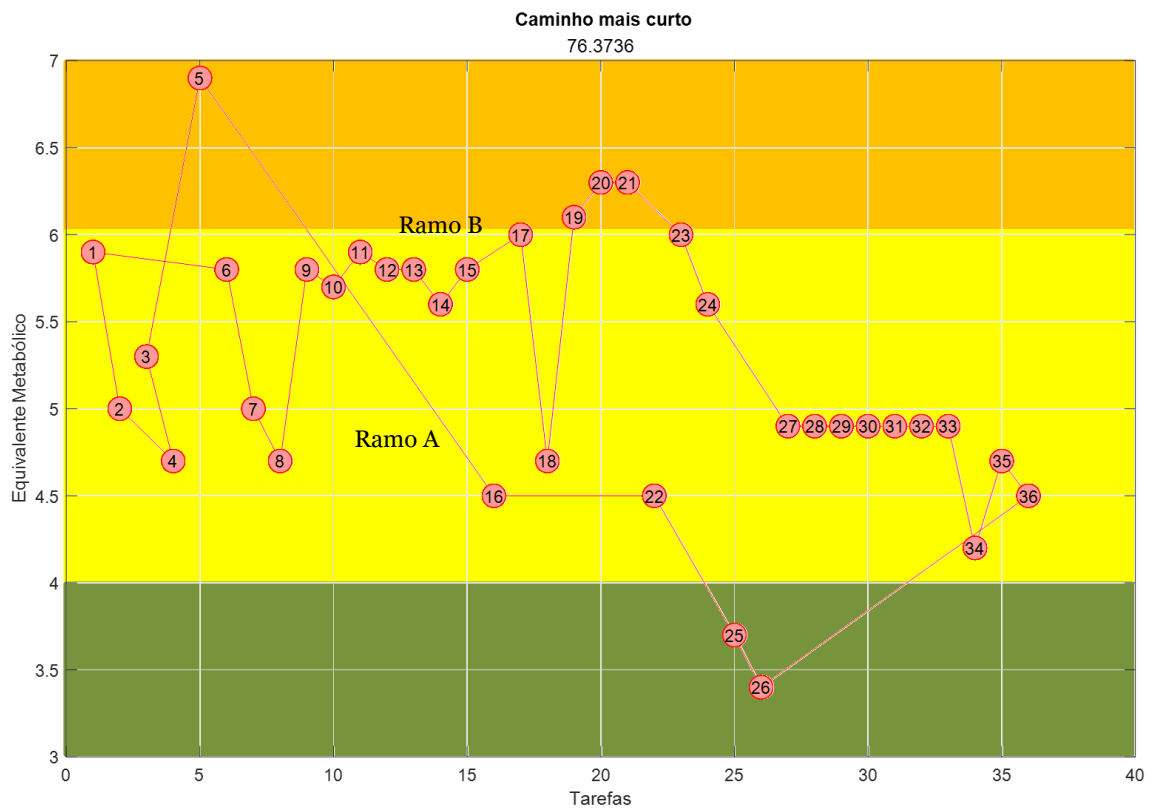


Simulação B

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

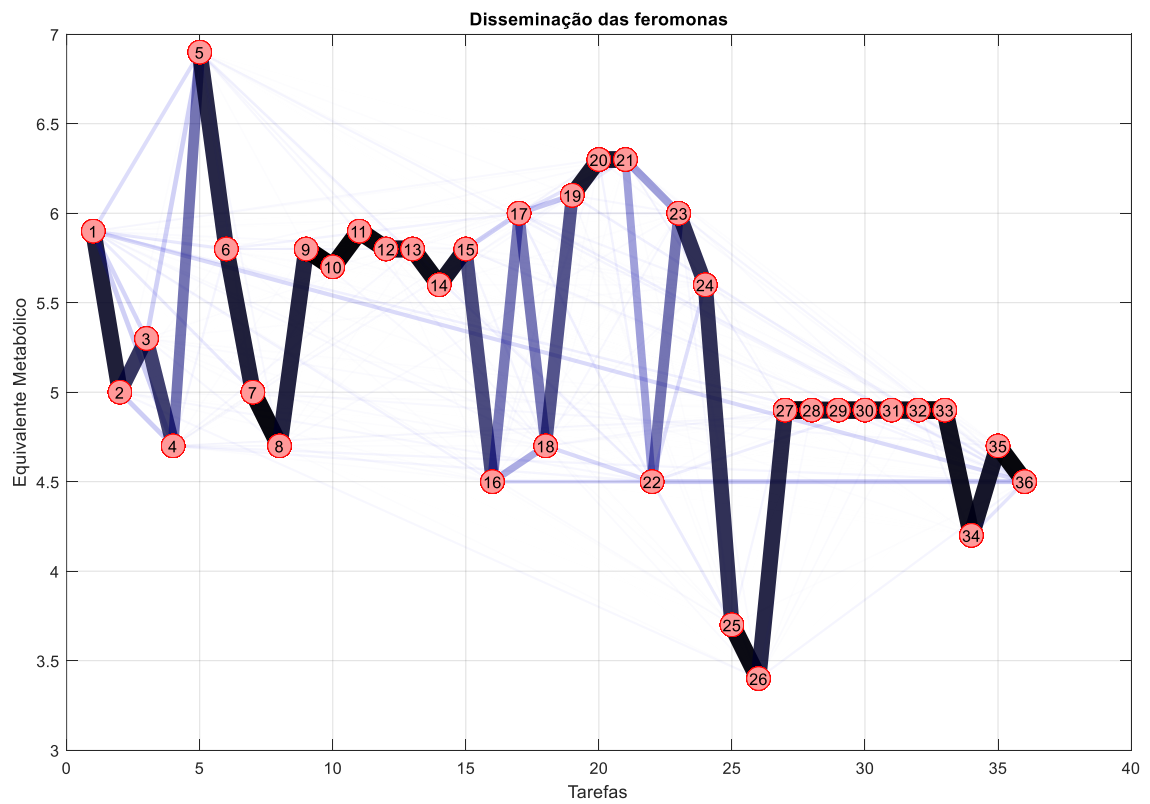
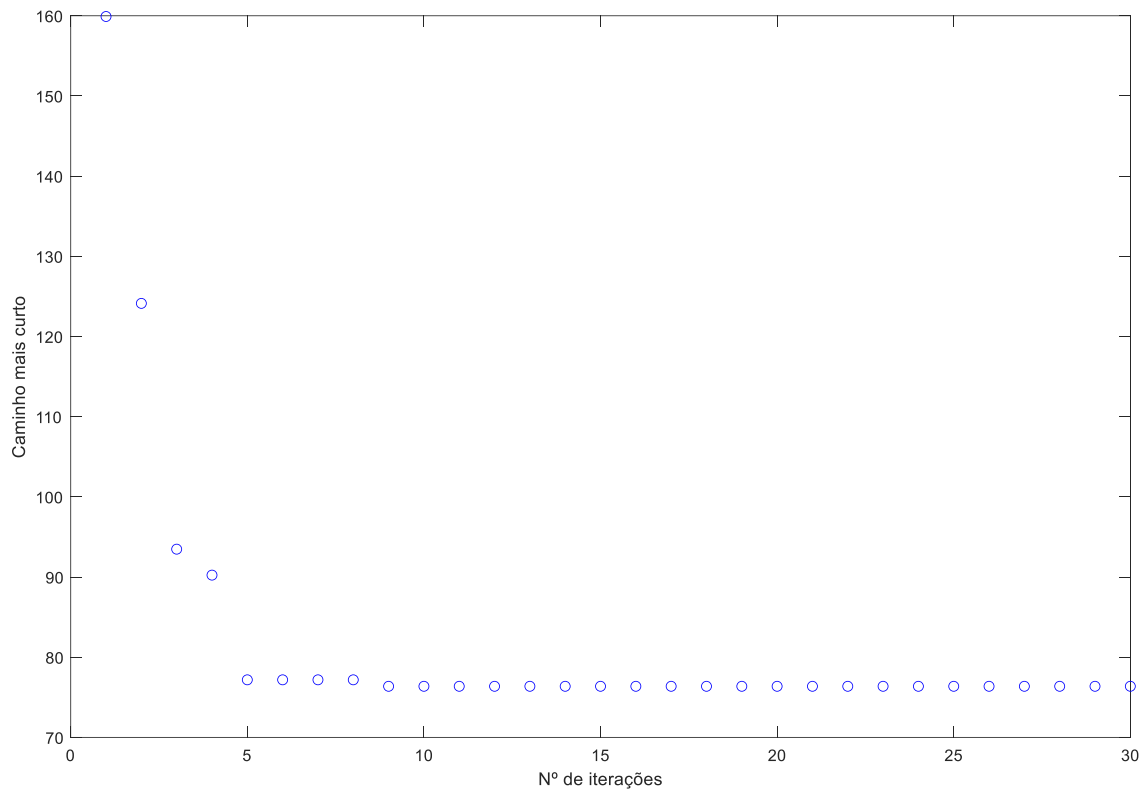
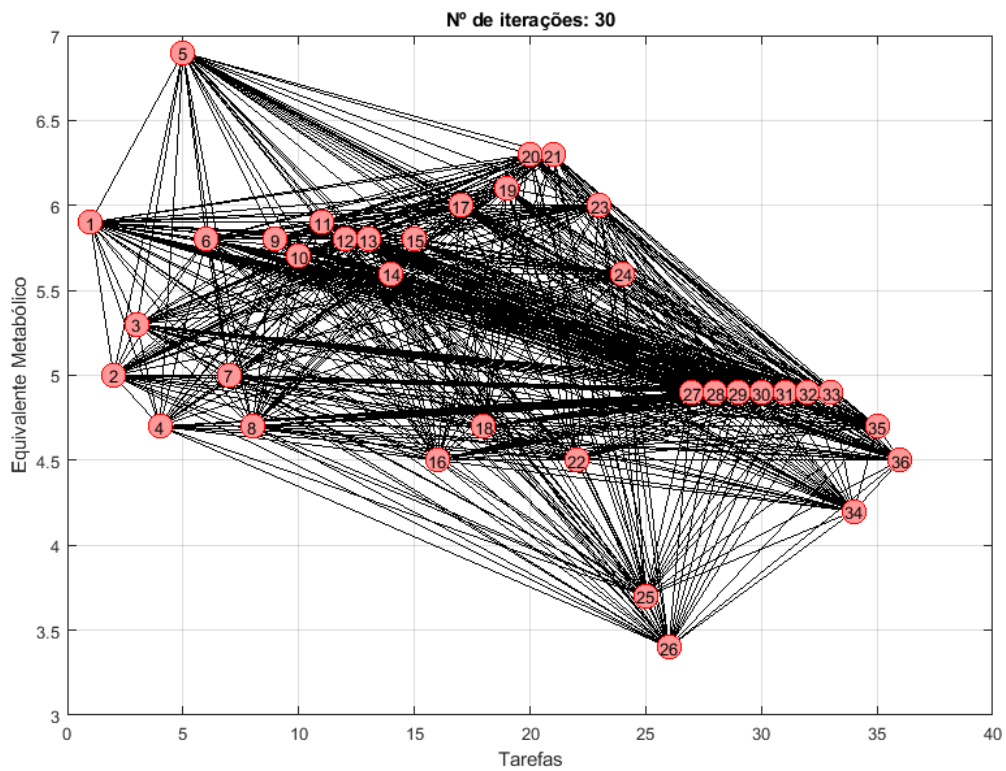


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

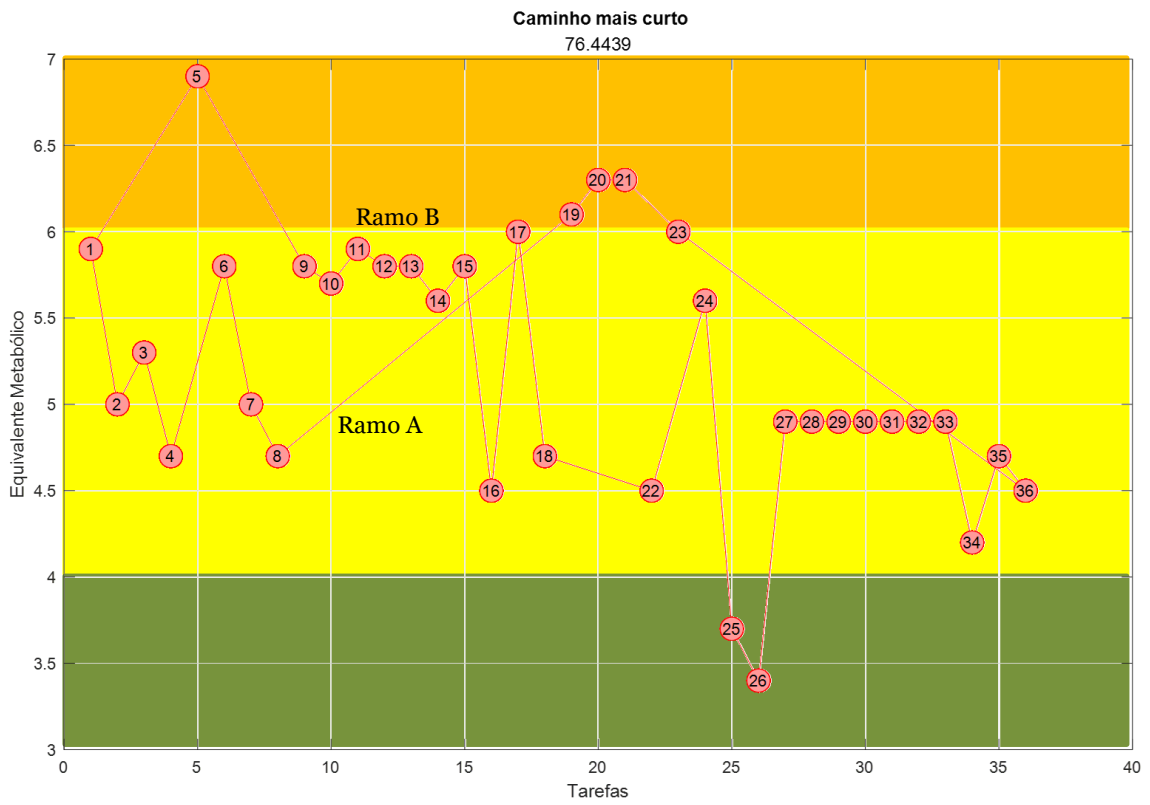


Simulação C

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

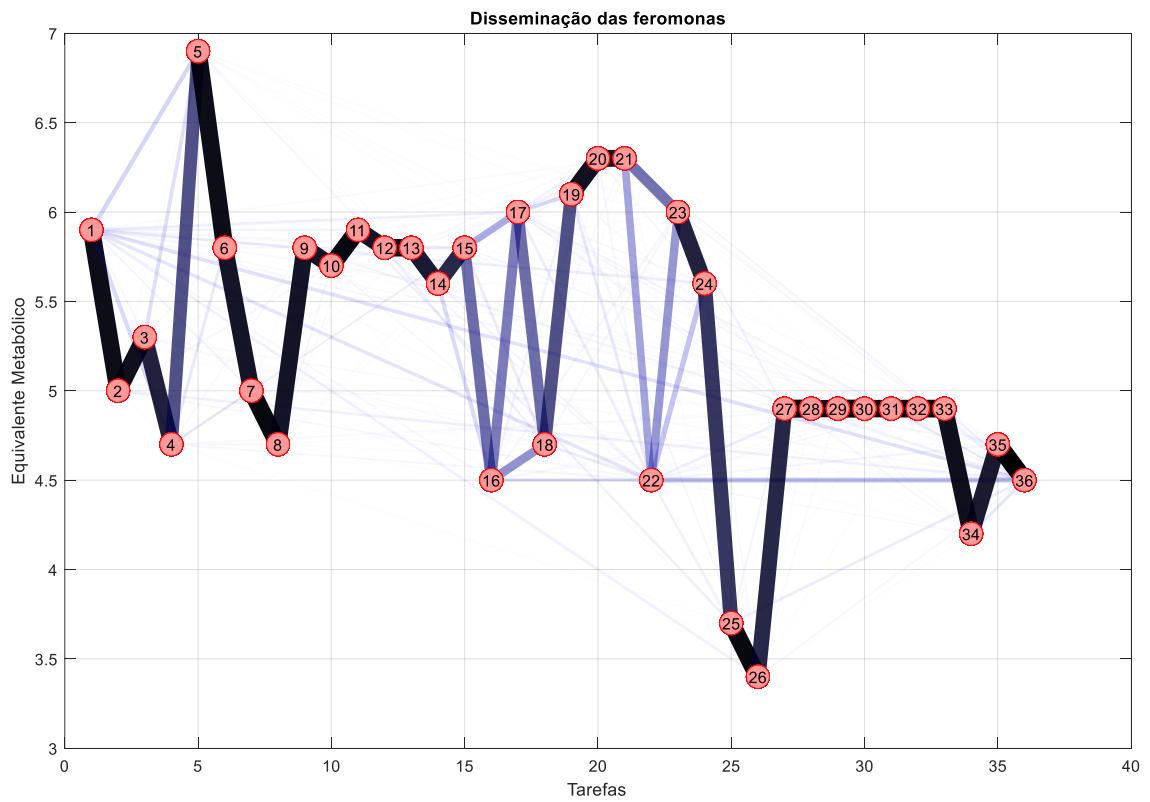
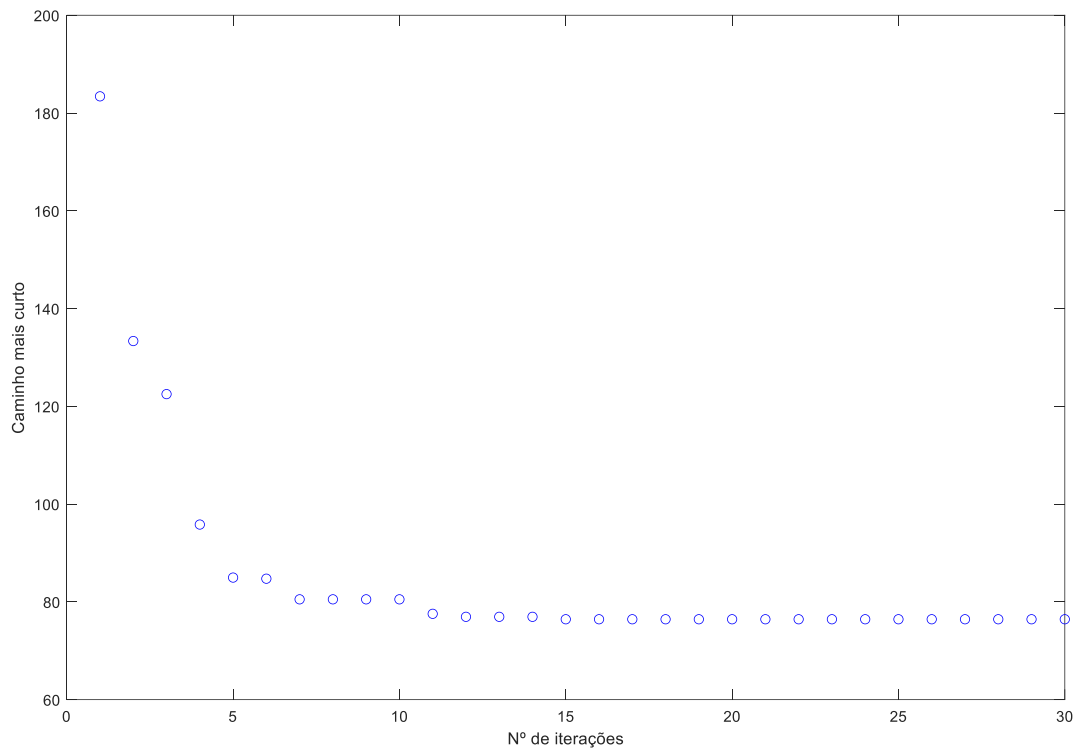


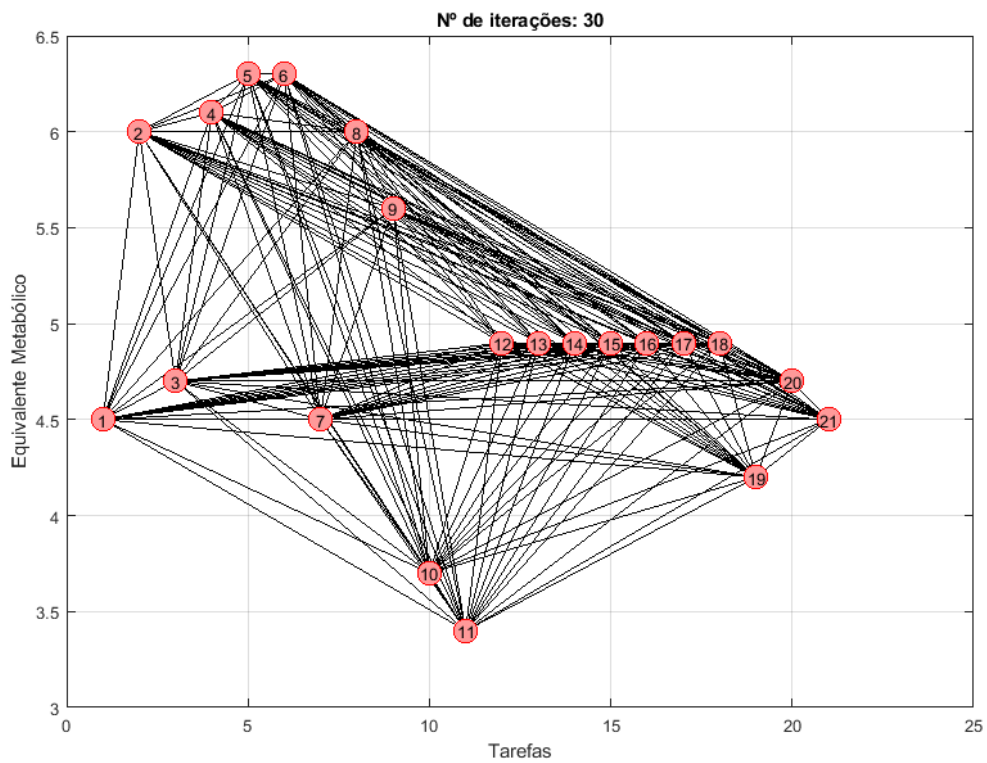
Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações



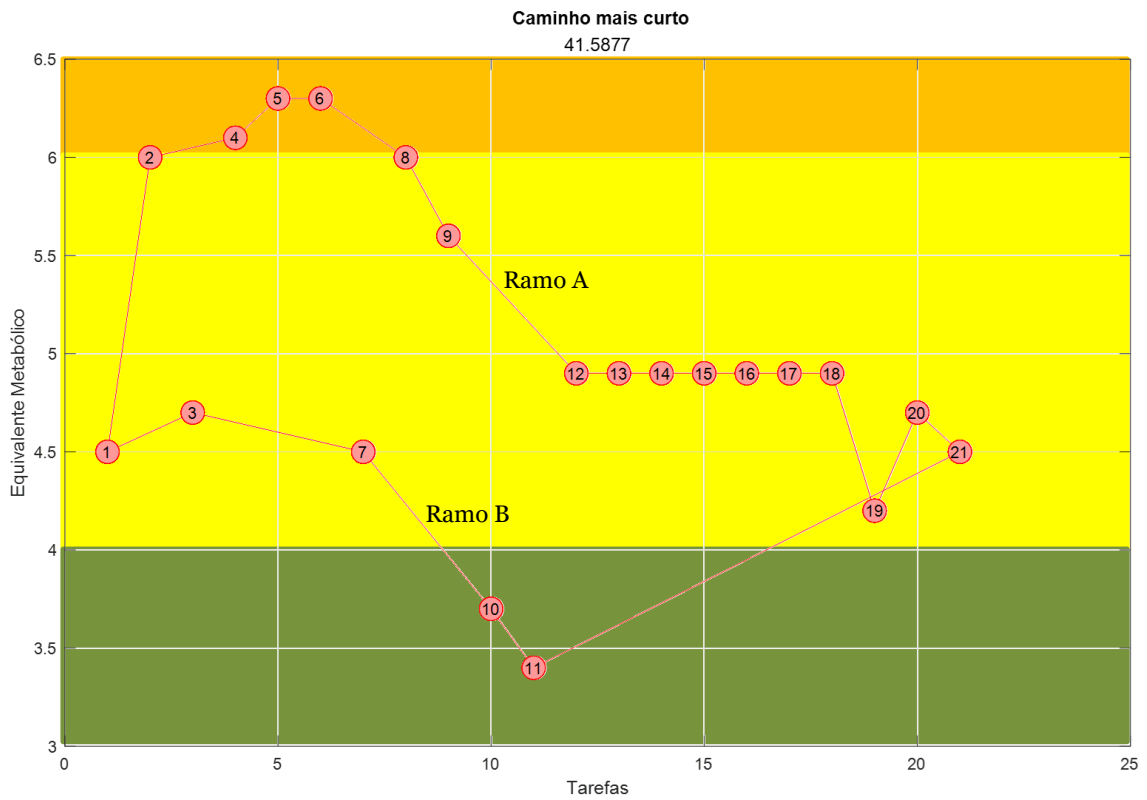
Resultados do Cenário 4: Produção usual de vinhos incluindo a produção de vinho do Porto (sem processo de estufagem) na época baixa

Simulação A

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

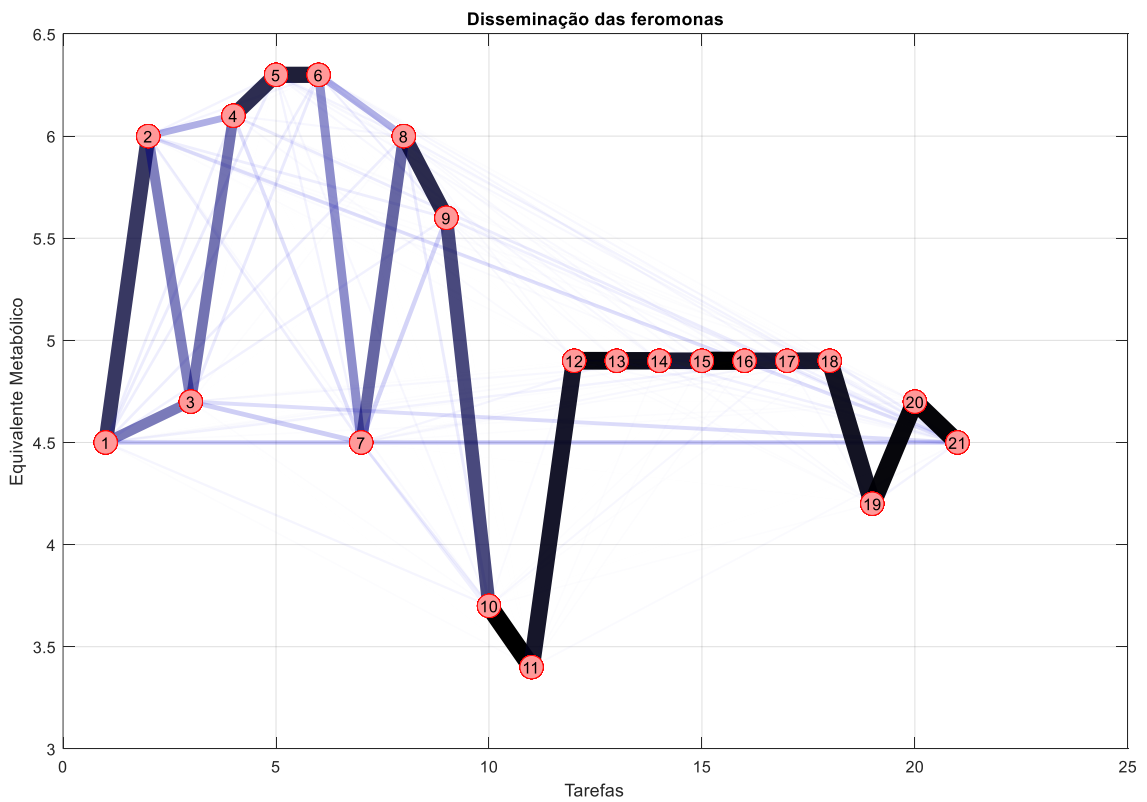
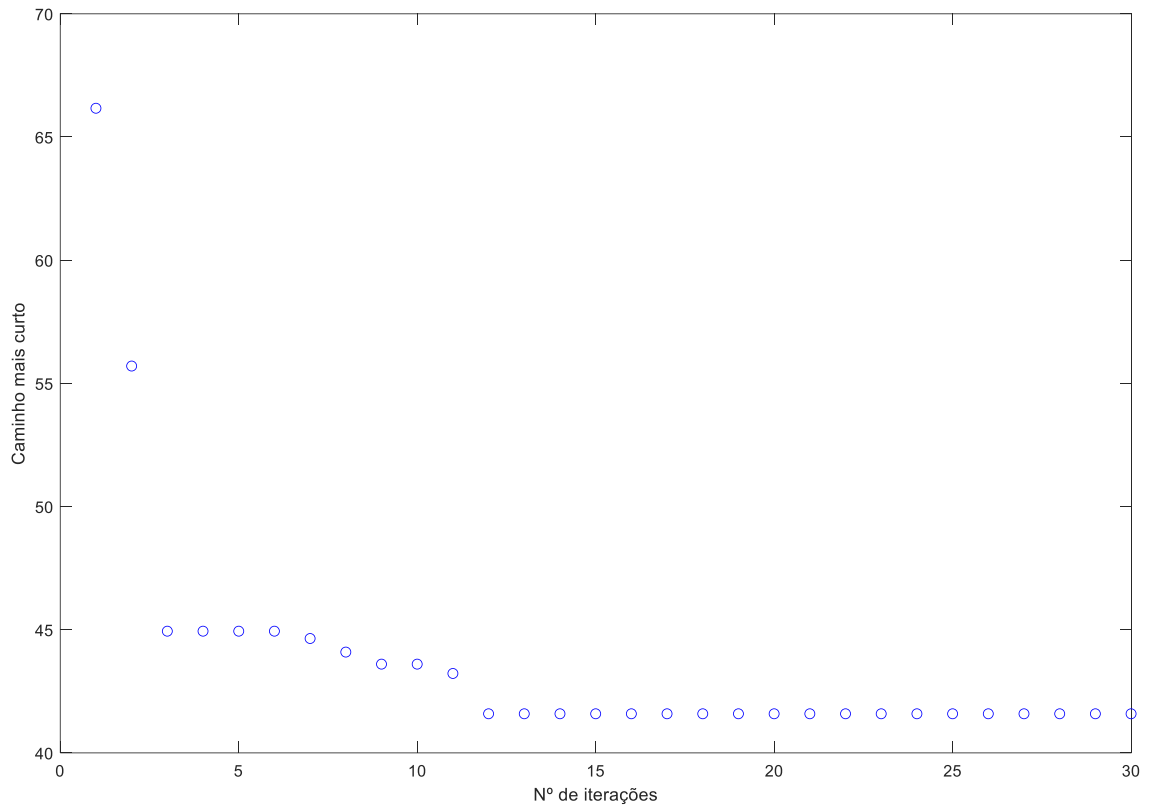
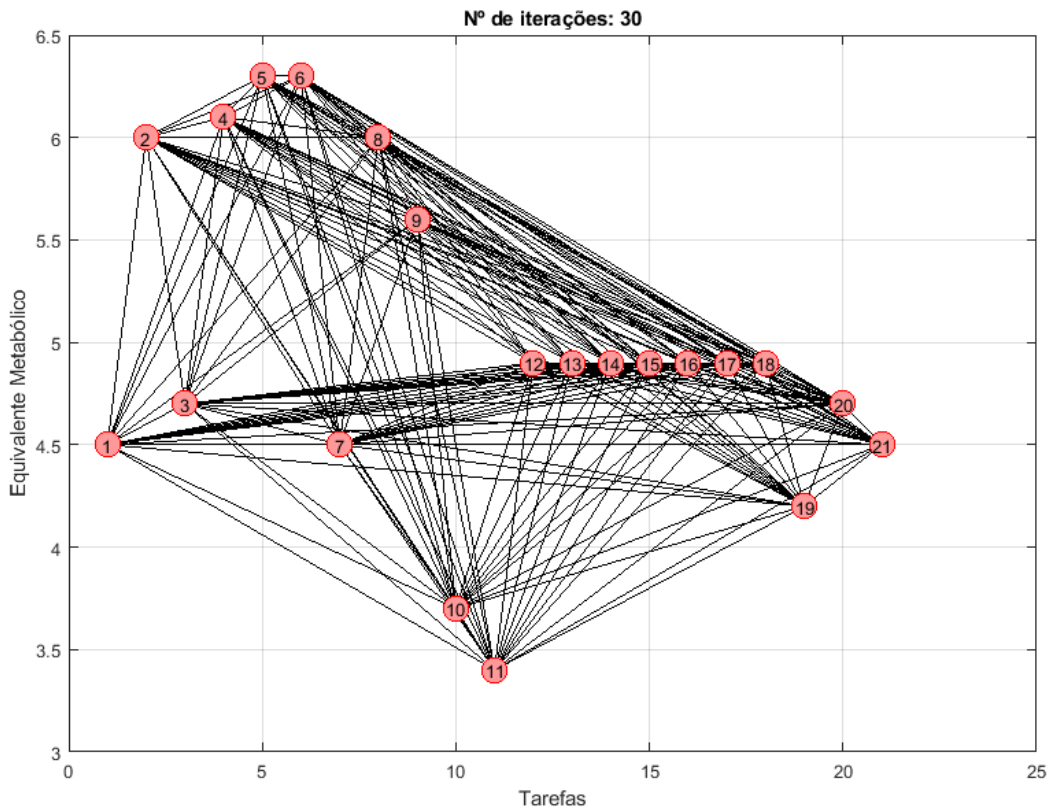


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações

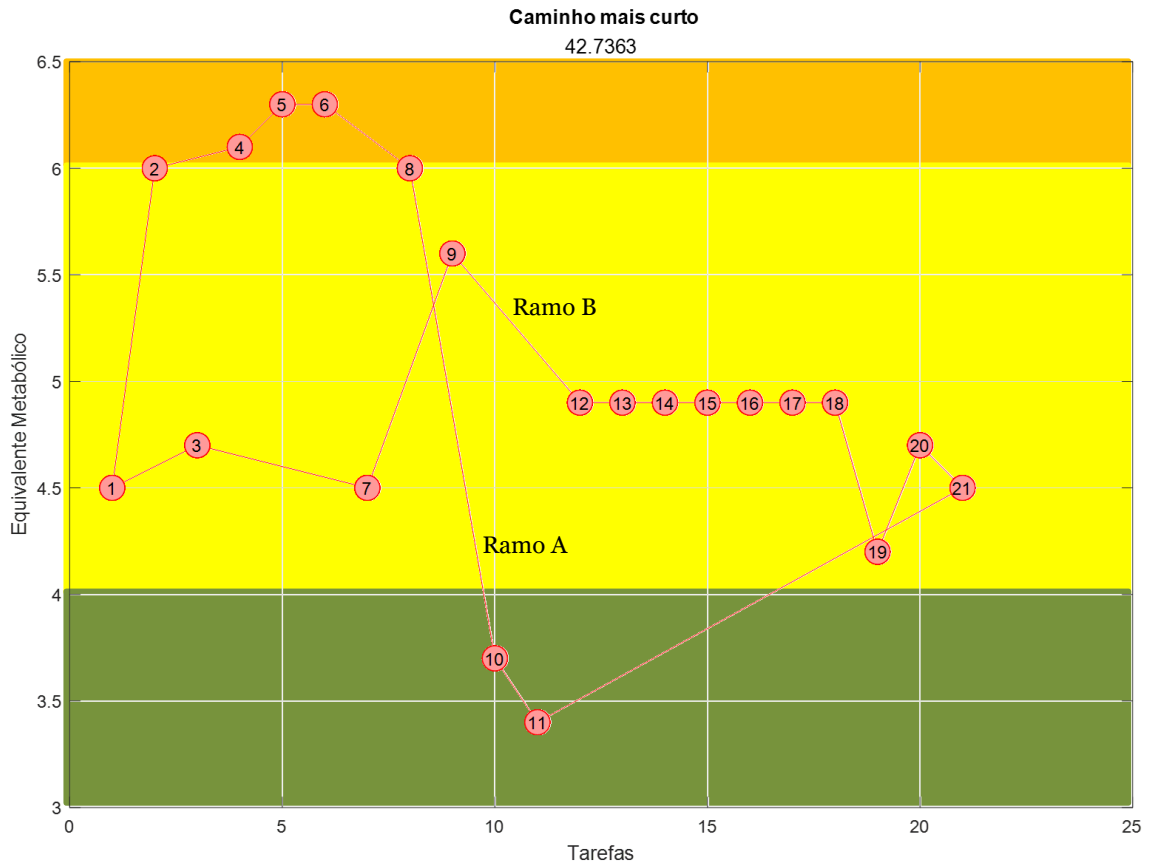


Simulação B

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

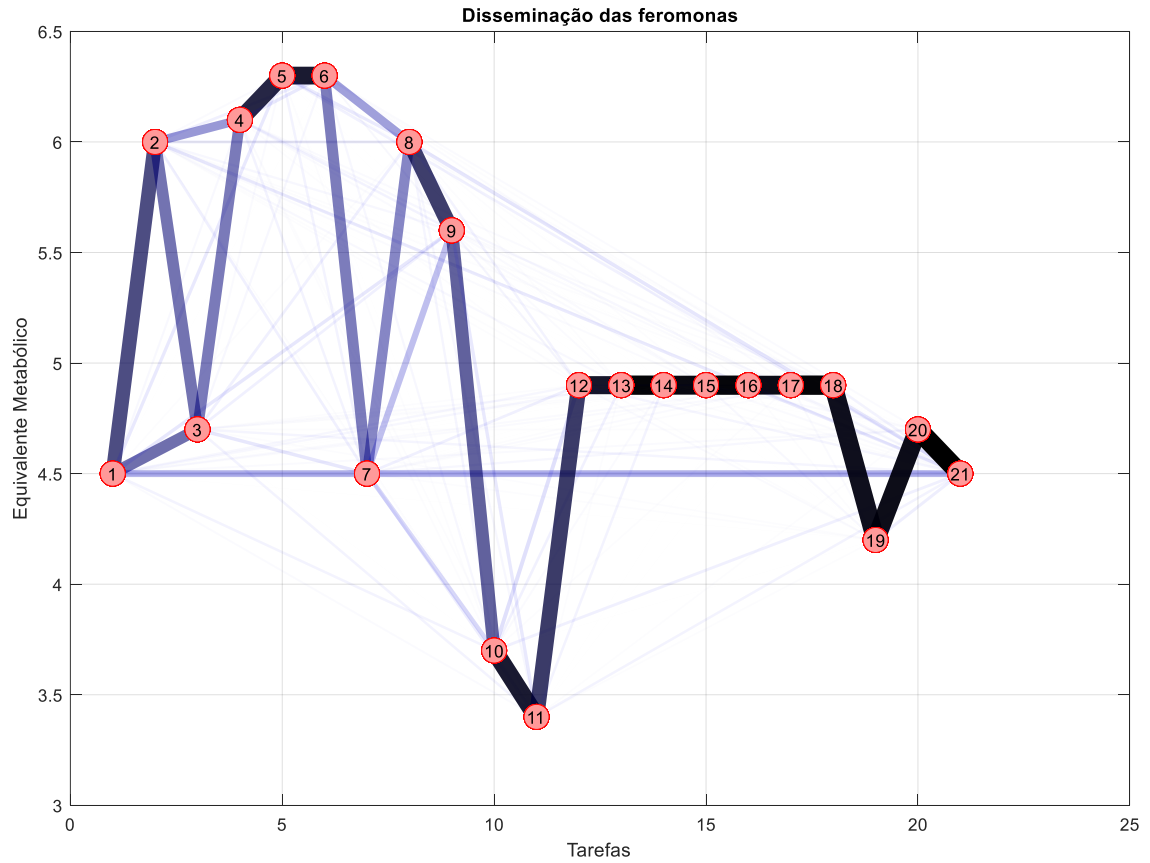
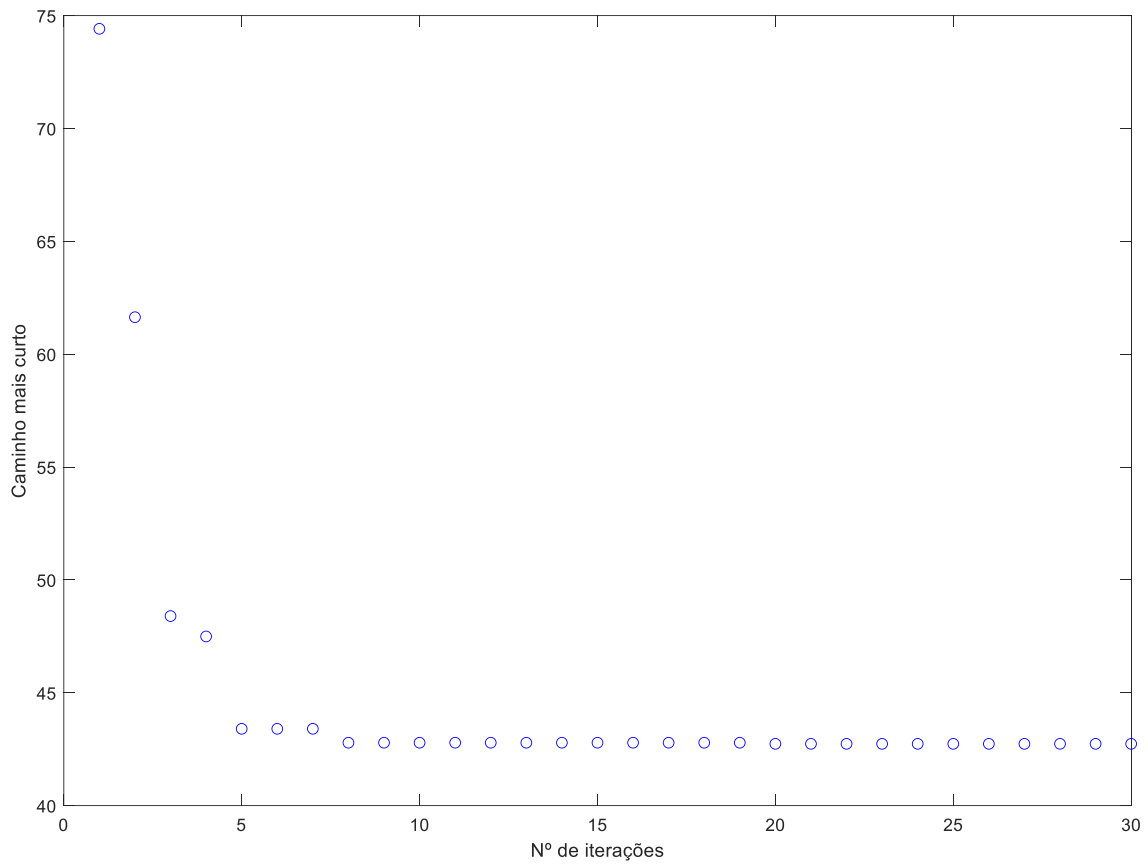
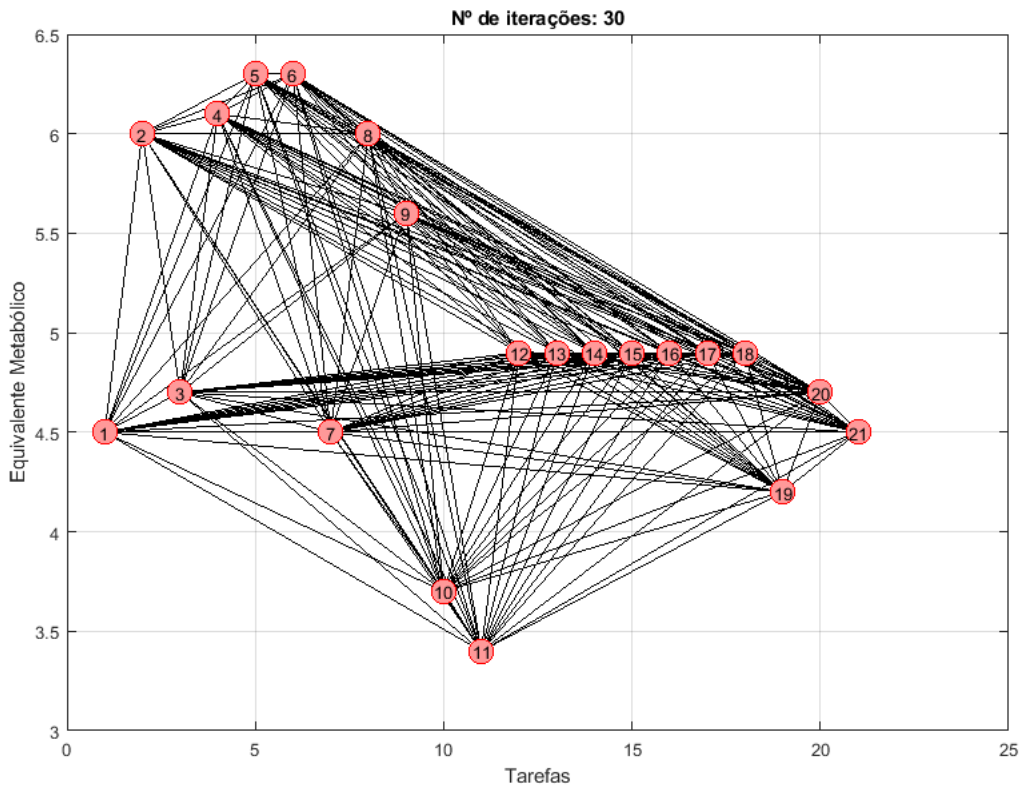


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações



Simulação C

Grafo de iterações



Grafo de caminho mais curto



Grafo de disseminação de feromonas ao longo do decurso das iterações

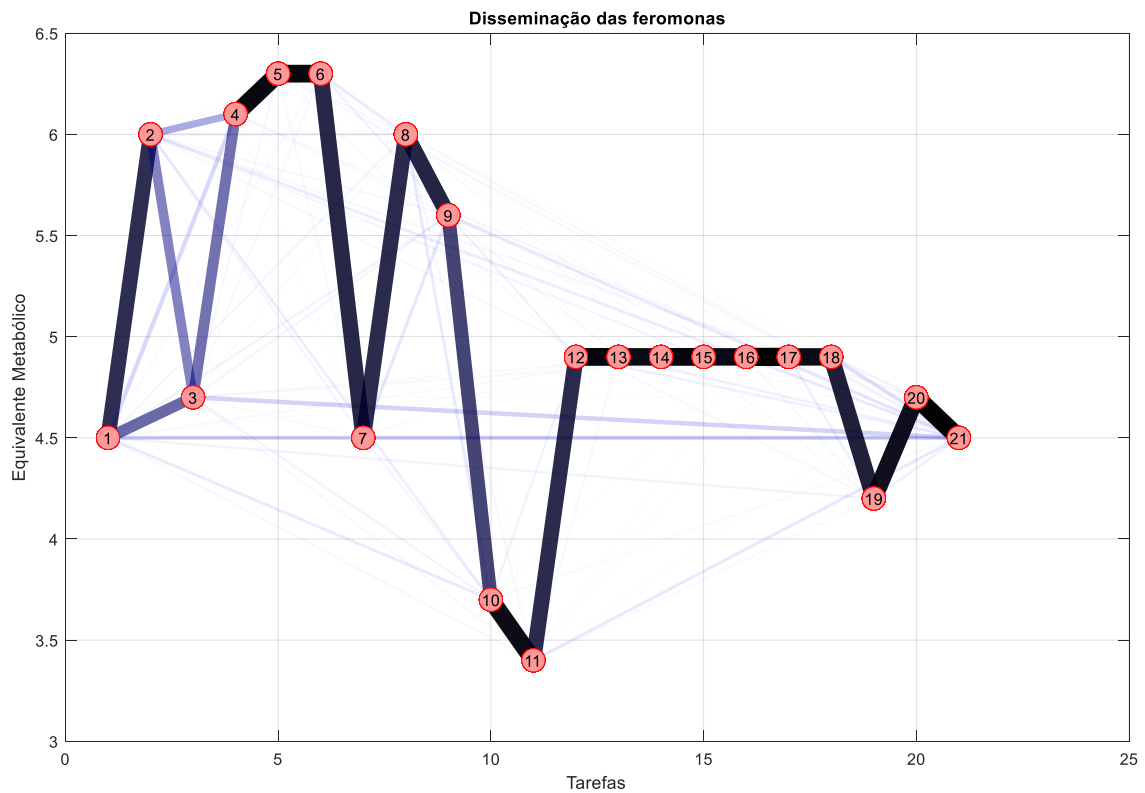
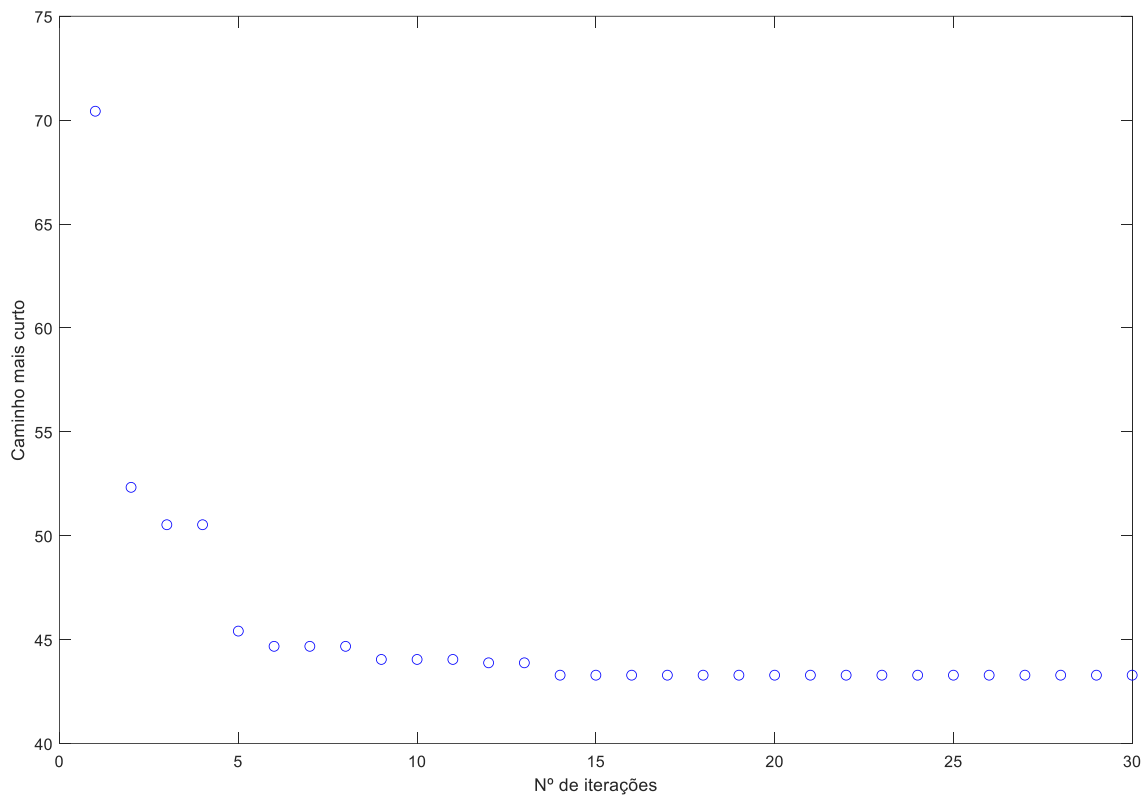


Gráfico de evolução da determinação do caminho mais curto no decurso das iterações



Apêndice IX:

Desenvolvimento da metodologia *Fuzzy Logic* e implementação em MatLab do modelo de seleção de ferramentas da Indústria 4.0 apropriadas à minimização de riscos ergonômicos

De modo a estabelecer as variáveis e os parâmetros a incluir no modelo, procedeu-se à seleção das atividades e respetivas tarefas com maior impacte no aumento dos riscos ergonômicos (MET superior a 5,8), de acordo com a avaliação de riscos descrita no capítulo 8.

Tabela 81 - Síntese das atividades laborais e das respetivas tarefas com maior impacte no aumento dos riscos ergonômicos (MET superior a 5,8).

| Atividades | MET (Médio) | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | MET (da tarefa) |
|---|-------------|---|-----------------|
| Receção e descarga das uvas | 5,9 | Descarga de veículo/despejo de caixas com uvas (Movimentação manual de cargas) | 5,9 |
| | | Subir e descer da caixa de carga das viaturas/ trator com reboque (Trabalho em desnível) | 8,8 |
| Verificação/manutenção/limpeza de tegão | | Descer e subir escadas para acesso ao tegão para manutenção/limpeza do sistema (Trabalho em desnível) | 7,5 |
| Seleção/triagem das uvas | 5,0 | Movimentação de caixas com uvas rejeitadas (Movimentação manual de cargas) | 6,5 |
| Desengace/ Esmagamento | 5,3 | Remoção do engaço (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| Verificação/ Manutenção de sistema de Desengace/ Esmagamento/extração | | Subir e descer escadas para acesso ao sistema de extração/conduitas para manutenção/limpeza do sistema de extração/conduitas (Trabalho em desnível) | 5,8 |
| Sulfitagem | 4,7 | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |

| Atividades | MET (Médio) | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | MET (da tarefa) |
|---|--------------------|--|------------------------|
| Clarificação de mostos | 6,9 | Transporte de materiais filtrantes (Movimentação manual de cargas) | 6,9 |
| | | Remoção de resíduos da filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Preparação do mosto | 5,8 | Higienização/preparação das cubas de fermentação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Controlo da Fermentação Alcoólica | 5,0 | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Verificação/acompanhamento da Maceração | 4,7 | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | 5,8 | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Sangria/Desencuba | 5,7 | Higienização/preparação das cubas de fermentação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Esgotamento/Prensagem | 5,9 | Acesso às prensas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas de fermentação (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Verificação/ Manutenção das prensas | | | |
| Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | 5,8 | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Fortificação (adição de aguardente vínica) | 5,8 | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |

| Atividades | MET (Médio) | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | MET (da tarefa) |
|---|--------------------|---|------------------------|
| Ajustes enológicos | 5,6 | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Elaboração de lotes base | 5,8 | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Estabilização/ Clarificação | 4,5 | Movimentação de materiais para estabilização/clarificação (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Filtragem | 6,0 | Transporte de materiais para filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Remoção de resíduos da filtragem (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Preparação das barricas de madeira | | Preparação das barricas de madeira | 7,0 |
| Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | 6,1 | Acondicionamento/empilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos (Movimentação manual de cargas) | 7,5 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| | | Acesso às filas de barricas nos níveis mais altos (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| | | Desempilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos após estágio (Movimentação manual de cargas) | 7,5 |

| Atividades | MET (Médio) | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | MET (da tarefa) |
|---|--------------------|---|------------------------|
| Armazenamento/Estágio (cubas inox) | 6,3 | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Estufagem (Produção de vinho Madeira) | 5,2 | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | 6,3 | Higienização/preparação das cubas inox (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Correções finais | 5,6 | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso superior às cubas (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Receção de materiais de embalagem | 3,7 | Processo de Verificação (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 5,8 |
| Enxaguamento de garrafas | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Enchimento | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |

| Atividades | MET (Médio) | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | MET (da tarefa) |
|------------------------------|--------------------|---|------------------------|
| Rolhamento ou vedação | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Capsulagem | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Rotulagem e marcação de lote | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Encaixotamento | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Fecho e marcação das caixas | 4,9 | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| | | Acesso ao módulo do sistema de engarrafamento pela parte superior (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |
| Paletização | 4,2 | Acondicionamento das caixas de produto acabado nas paletes (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| Armazenagem | 4,7 | Arrumação de caixas de produto acabado (Movimentação manual de cargas) | 8,0 |
| Expedição | 4,5 | Verificação de paletes (Trabalho em desnível - Subir e descer escadas) | 7,5 |

A etapa seguinte baseou-se na descrição dos principais riscos inerentes à cada tarefa, bem como o tipo de esforço normalmente associado, tendo em consideração a relevância da presença humana durante a execução das tarefas, ou seja, se uma determinada tarefa carece da influência do operador humano (tarefas personalizadas), ou se o processo pode ser automatizado sem a influência humana. Para o efeito, foi também considerada a necessidade de deslocação horizontal, vertical, ou ambas para a realização das tarefas Tabela 82.

Tabela 82 - Resumo das atividades e respectivas tarefas fisicamente mais exigentes, associadas aos fatores de riscos ergonômico, ao tipo de esforço relevância da presença humana e tipo de deslocação necessária.

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|---|---|---|------------------------|----------------------|----------------|
| 1) Receção e descarga das uvas | Descarga de veículo/despejo de caixas com uvas | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Subir e descer da caixa de carga das viaturas | Corpo inteiro | Não | Vertical |
| 2) Verificação/ manutenção/ limpeza de tegão | Manutenção/limpeza do sistema | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Sim | Vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 3) Seleção/ triagem das uvas | Movimentação de caixas com uvas rejeitadas | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Sim | Horizontal |
| | | Trabalho intenso | Membros superiores | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 4) Desengace/ Esmagamento | Remoção do engajo | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| 5) Verificação/ Manutenção de sistema de Desengace/ Esmagamento/ extração | Manutenção/ limpeza dos sistemas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 6) Sulfitagem | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. | |
|--|--|--|-------------------------------|----------------------|----------------|-----------------------|
| 7) Clarificação de mostos | Transporte de materiais para filtragem | Movimentação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | | |
| | Remoção de resíduos da filtragem | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | | |
| | 8) Preparação do mosto | Higienização/preparação das cubas de fermentação | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| Movimentos repetitivos | | | Membros superiores | | | |
| Subir e descer escadas | | | Membros inferiores | | | |
| Adoção de posturas incorretas | | | Corpo inteiro | | | |
| Acesso superior às cubas | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical | |
| 9) Controlo da Fermentação Alcoólica | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical | |
| 10) Verificação/acompanham. da Maceração | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical | |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|---|--|---|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 11) Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 12) Sangria/ Desencuba | Higienização/preparação das cubas de fermentação | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 13) Esgotamento/ Prensagem | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 14) Verificação/ Manutenção das prensas | Manutenção/ limpeza dos sistemas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|--|--|---|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 15) Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 16) Fortificação (adição de aguardente vínica) | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 17) Ajustes enológicos | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Sim | Horizontal e vertical |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 18) Elaboração de lotes base | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|--|--|---|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 19) Estabilização/ Clarificação | Movimentação de materiais para estabilização/ clarificação | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Trabalho repetitivo | Corpo inteiro | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| 20) Filtragem | Transporte de materiais para filtragem | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Remoção de resíduos da filtragem | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 21) Preparação das barricas de madeira | Verificação/reparação das barricas de madeira | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Sim | Horizontal e vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|--|--|---|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 22) Armazenamento / Estágio (barricas de madeira) | Acondicionamento/em pilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| | Acesso às filas de barricas nos níveis mais altos | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | Sim | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Desempilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos após estágio | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| 23) Armazenamento / Estágio (cubas inox) | Higienização/preparação das cubas inox | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|--|--|---|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 24) Estufagem (Produção de vinho Madeira) | Higienização/preparação das cubas inox | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não | Horizontal e vertical |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| | 25) Elaboração de lotes (Blending) | Higienização/preparação das cubas inox | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | Não |
| Trabalho intenso | | | Corpo inteiro | | |
| Movimentos repetitivos | | | Membros superiores | | |
| Subir e descer escadas | | | Membros inferiores | | |
| Adoção de posturas incorretas | | | Corpo inteiro | | |
| Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | | Deslocação/ transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| Acesso superior às cubas | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|---------------------------------------|--|--|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 26) Correções finais | Transporte de adjuvantes/aditivos enológicos | Deslocação/transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Não |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentos repetitivos | Membros superiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | Operações de trasfega: movimentação de bombas de trasfega, mangueiras e ligações | Deslocação/transporte manual de cargas | Corpo inteiro | Não | Horizontal e vertical |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| Acesso superior às cubas | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical | |
| 27) Receção de materiais de embalagem | Processo de Verificação | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| 28) Enxaguamento de garrafas | Higienização/preparação do sistema de enxaguamento de garrafas | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 29) Enchimento | Higienização/preparação do sistema de enchimento de garrafas | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 30) Rolhamento ou vedação | Higienização/preparação do sistema de rolhamento ou vedação de garrafas | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|----------------------------------|--|-------------------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| 31) Capsulagem | Higienização/preparação do sistema de capsulagem de garrafas (Movimentação manual de cargas) | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 32) Rotulagem e marcação de lote | Higienização/preparação dos sistemas de rotulagem e marcação de lote | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 33) Encaixotamento | Higienização/preparação do sistema de encaixotamento de garrafas | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 34) Fecho e marcação das caixas | Higienização/preparação do sistema de fecho e marcação das caixas de garrafas | Movimentação manual de cargas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 35) Paletização | Acondicionamento das caixas de produto acabado nas paletes | Subir e descer escadas | Membros inferiores | não | Vertical |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |

| Atividades | Tarefas mais exigentes fisicamente (MET >5,8) | Fatores de risco | Tipo de esforço | Relev. humana | Desloc. |
|-----------------|---|-------------------------------|--------------------|---------------|----------|
| 36) Armazenagem | Arrumação de caixas de produto acabado | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Não | Vertical |
| | | Trabalho intenso | Corpo inteiro | | |
| | | Movimentação manual de cargas | Membros superiores | | |
| | | Adoção de posturas incorretas | Corpo inteiro | | |
| 37) Expedição | Verificação de paletes | Subir e descer escadas | Membros inferiores | Sim | Vertical |
| | | Movimentos repetitivos | Membros inferiores | | |
| | | Subir e descer escadas | Membros inferiores | | |

De seguida são apresentadas as figuras referentes ao design do método *Fuzzy Logic*, assim como a criação das variáveis utilizadas no método através do *Membership Function Editor*.

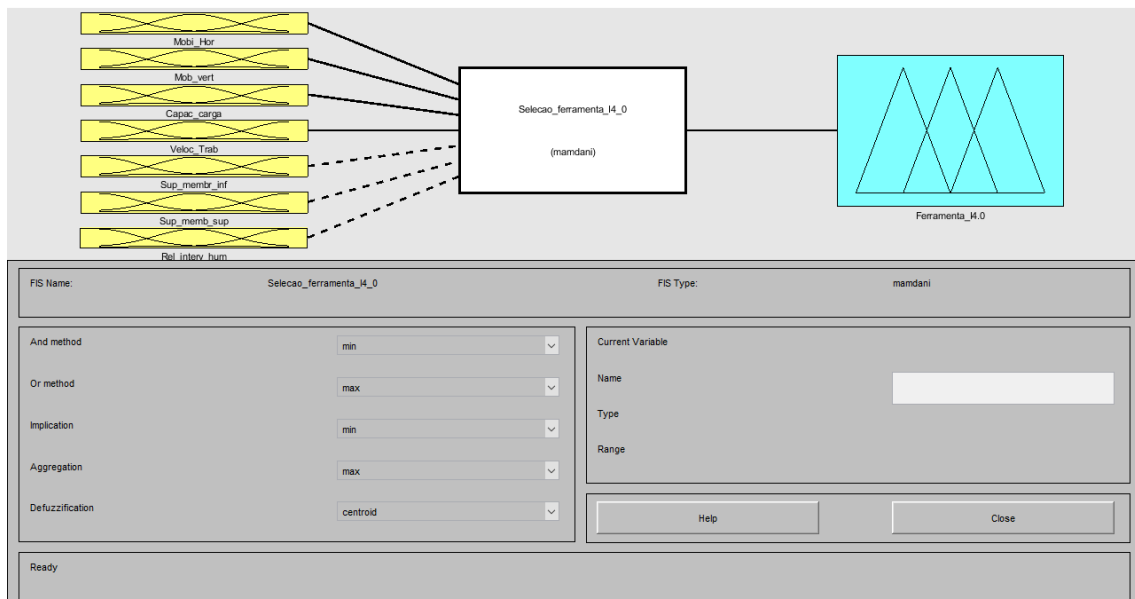


Figura 100 - Design do método *Fuzzy Logic*.

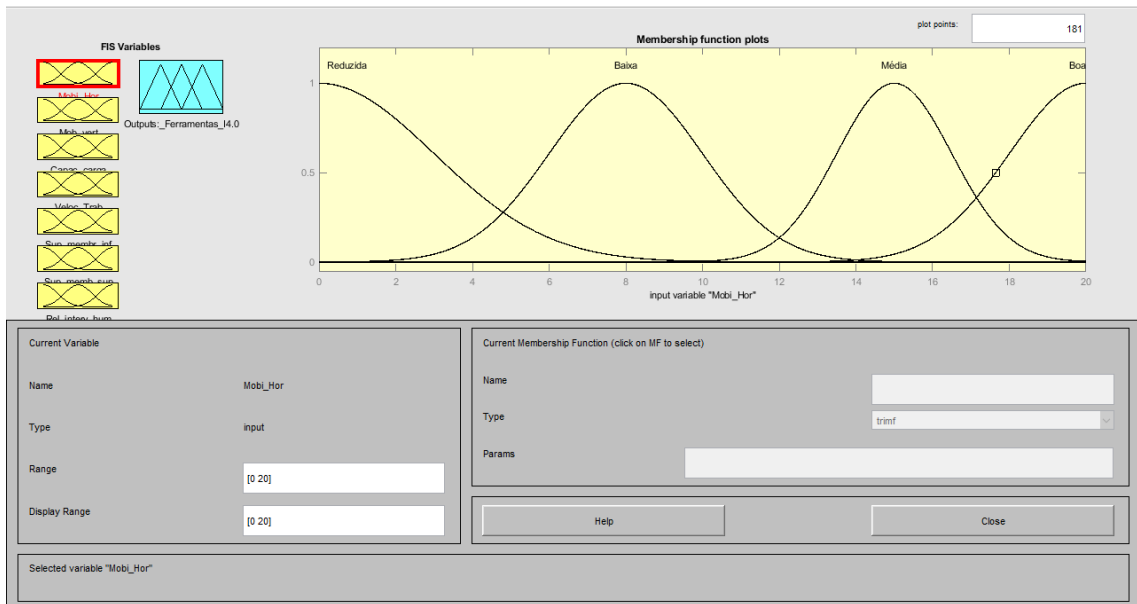


Figura 101 - Parâmetros da variável mobilidade horizontal.

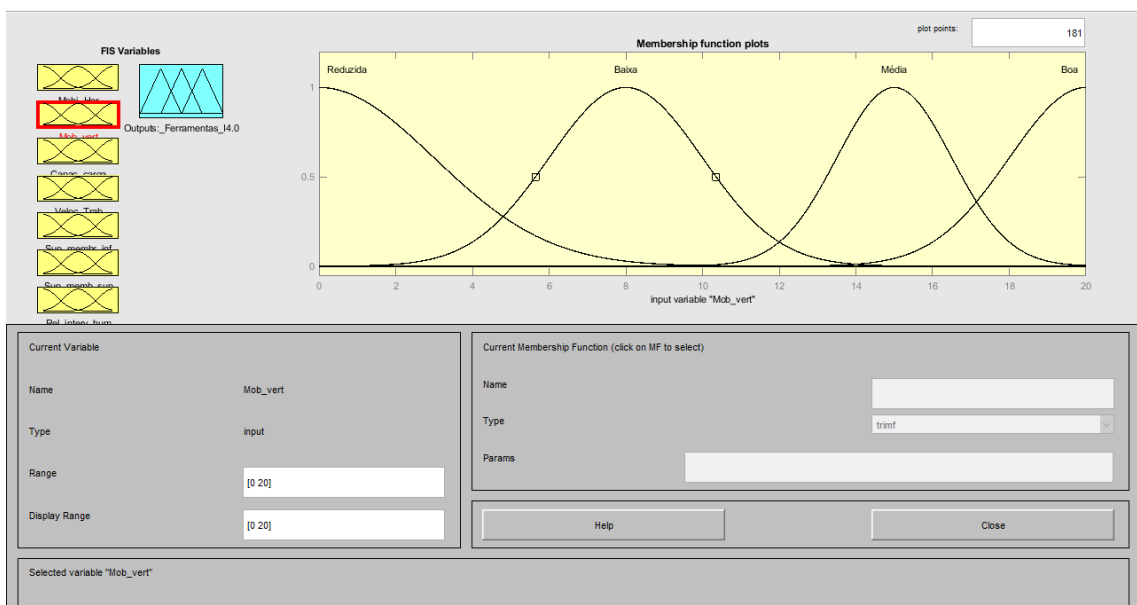


Figura 102 - Parâmetros da variável mobilidade vertical.

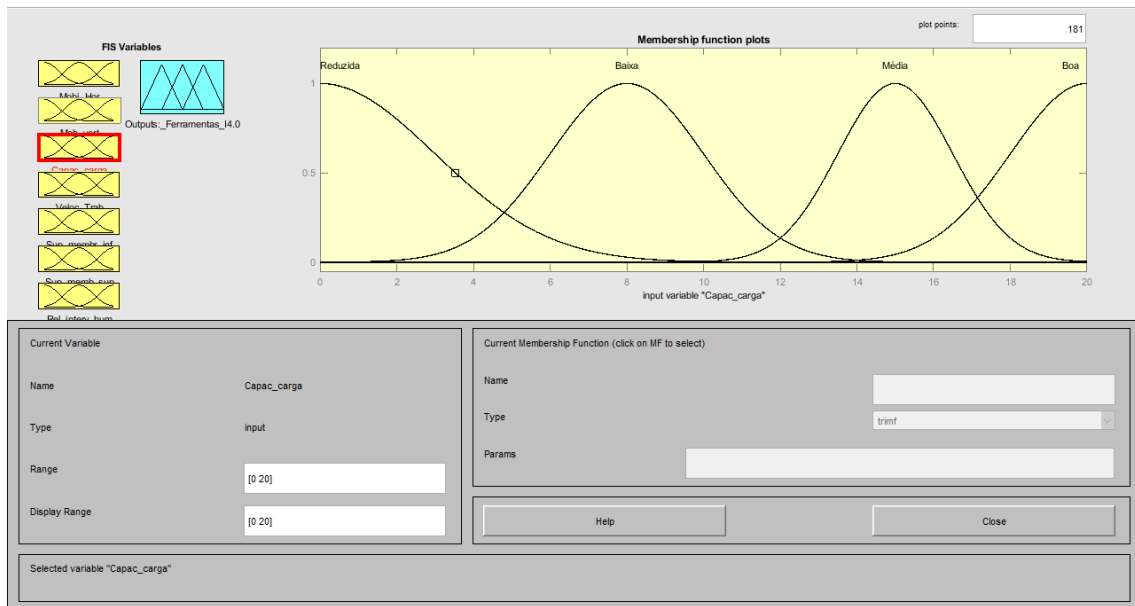


Figura 103 - Parâmetros da variável capacidade de carga.

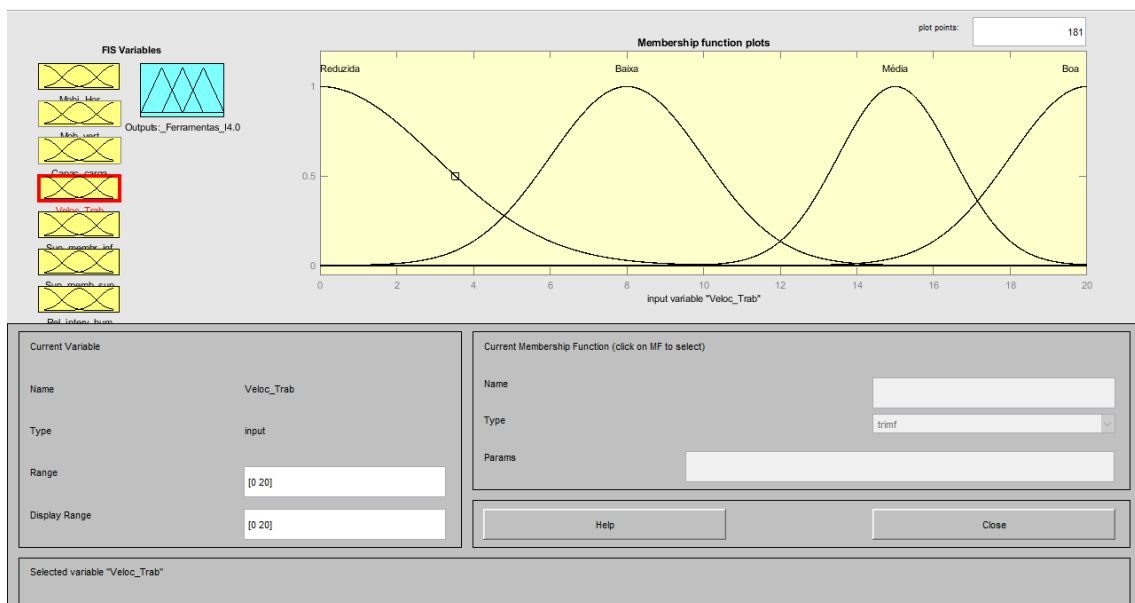


Figura 104 - Parâmetros da variável velocidade de trabalho.

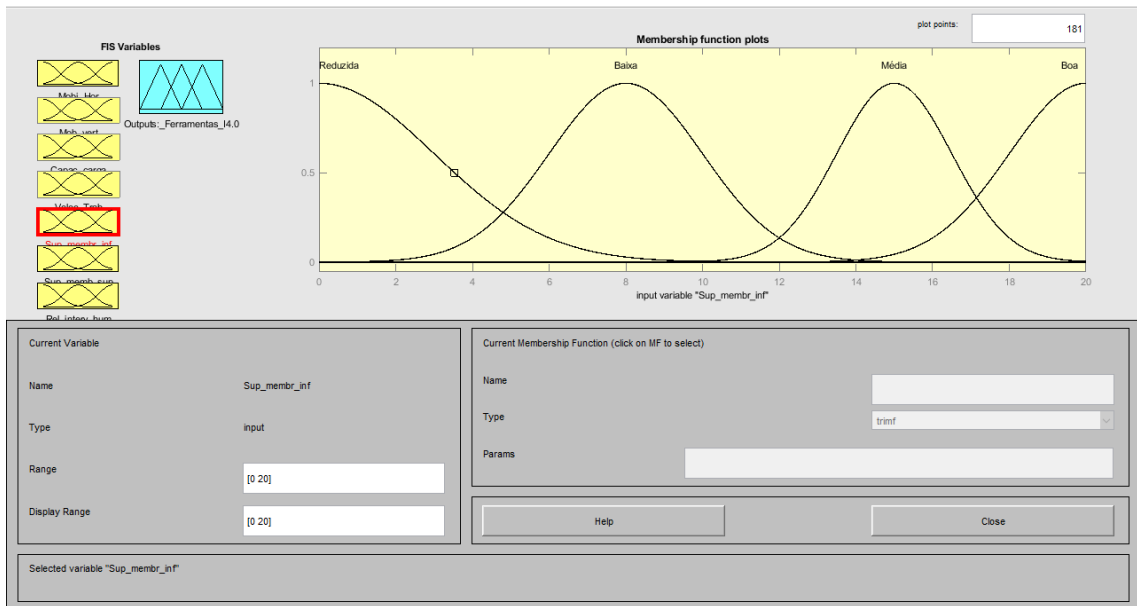


Figura 105 - Parâmetros da variável suporte aos membros inferiores.

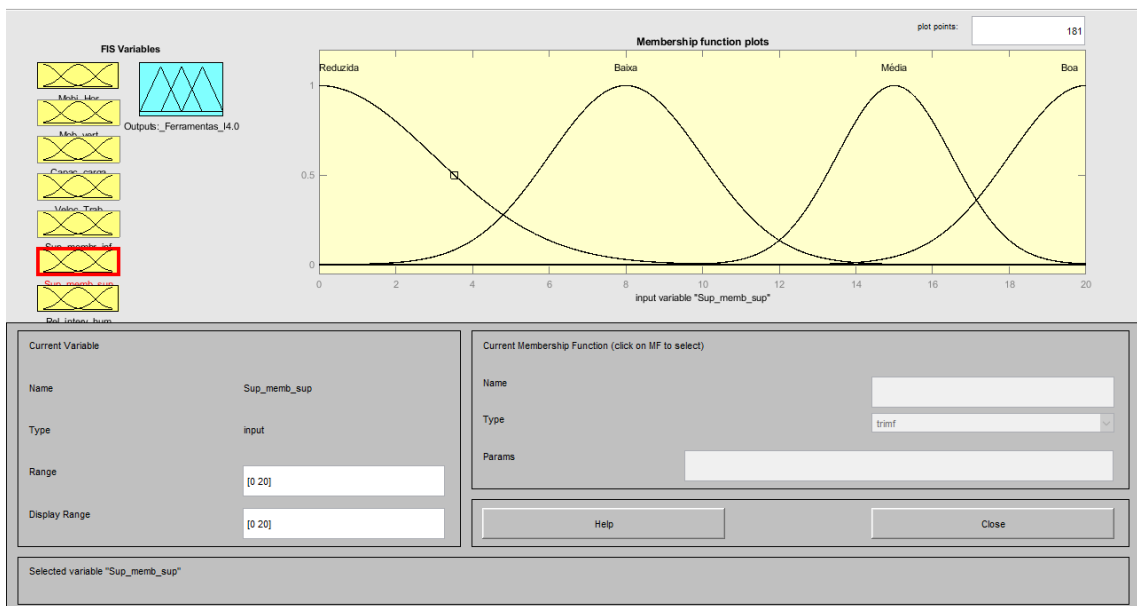


Figura 106 - Parâmetros da variável suporte aos membros superiores.

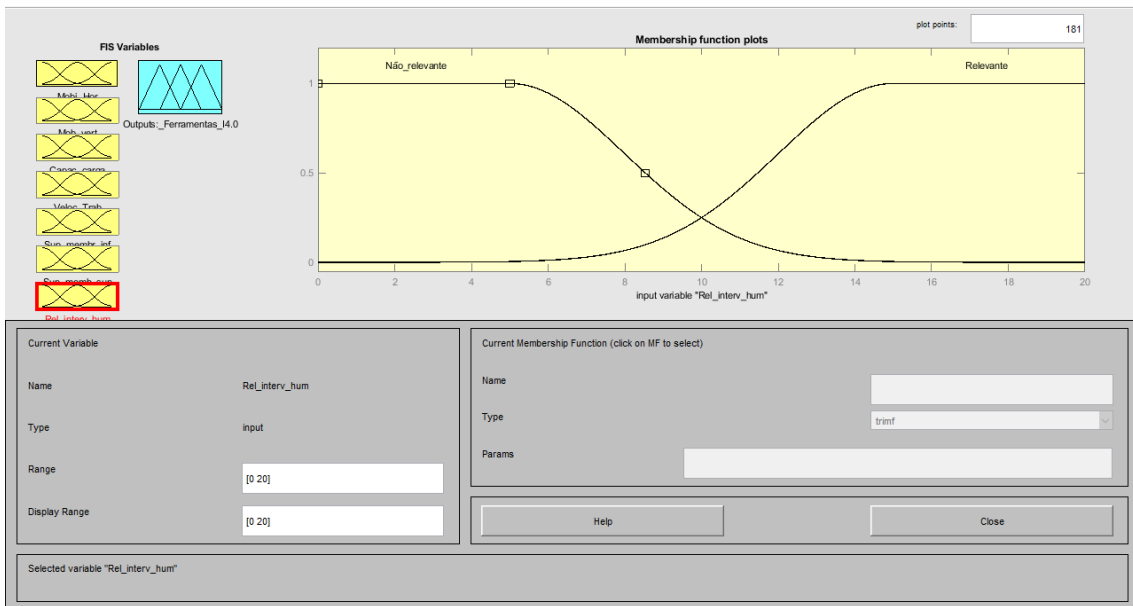


Figura 107 - Parâmetros da variável intervenção humana.

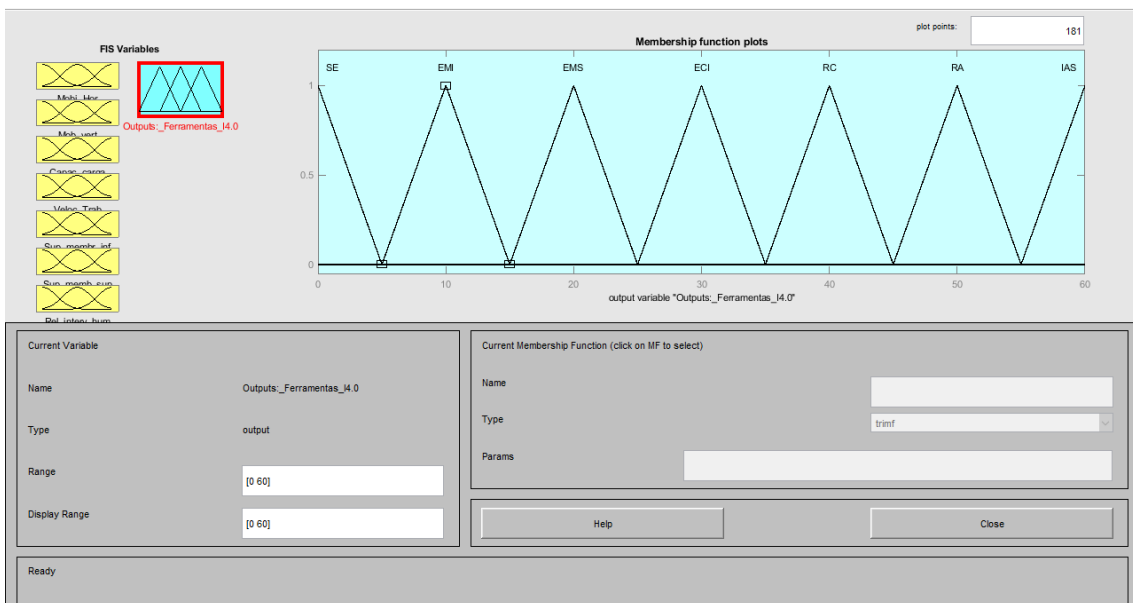


Figura 108 - Parâmetros referentes outputs relativamente à sugestão de ferramentas da Indústria 4.0.

Regras estipuladas

As regras estipuladas para a aplicação do método foram as seguintes:

1. If (Mobi_Hor is Boa) and (Mob_vert is Boa) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Rel_interv_hum is Não_relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is IAS) (1)
2. If (Mobi_Hor is Boa) and (Mob_vert is Média) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Rel_interv_hum is Não_relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is RA) (1)
3. If (Mobi_Hor is Reduzida) and (Mob_vert is Média) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Rel_interv_hum is Relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is RC) (1)
4. If (Mobi_Hor is Boa) and (Mob_vert is Boa) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Sup_membr_inf is Boa) and (Sup_memb_sup is Boa) and (Rel_interv_hum is Relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is ECI) (1)
5. If (Mobi_Hor is Reduzida) and (Mob_vert is Reduzida) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Sup_membr_inf is Reduzida) and (Sup_memb_sup is Boa) and (Rel_interv_hum is Relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is EMS) (1)
6. If (Mobi_Hor is Boa) and (Mob_vert is Boa) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Sup_membr_inf is Boa) and (Sup_memb_sup is Reduzida) and (Rel_interv_hum is Relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is EMI) (1)
7. If (Mobi_Hor is Baixa) and (Mob_vert is Boa) and (Capac_carga is Boa) and (Veloc_Trab is Boa) and (Sup_membr_inf is Boa) and (Sup_memb_sup is Reduzida) and (Rel_interv_hum is Relevante) then (Outputs:_Ferramentas_I4.0 is SE) (1)

Onde:

Mobi_Hor é a mobilidade horizontal

Mob_vert é a mobilidade vertical

Capac_carga é a capacidade de transporte de carga

Veloc_Trab é a velocidade/ritmo de trabalho

Sup_membr_inf é a capacidade de suporte aos membros inferiores do corpo humano

Sup_memb_sup é a capacidade de suporte aos membros superiores do corpo humano

Rel_interv_hum é a relevância da intervenção humana na tarefa

Gráficos de superfície referentes à associação de algumas variáveis criadas

Após a criação do modelo de seleção baseado em lógica difusa foram obtidos os seguintes gráfico de superfície referentes às várias relações entre variáveis de *input* e *output*.

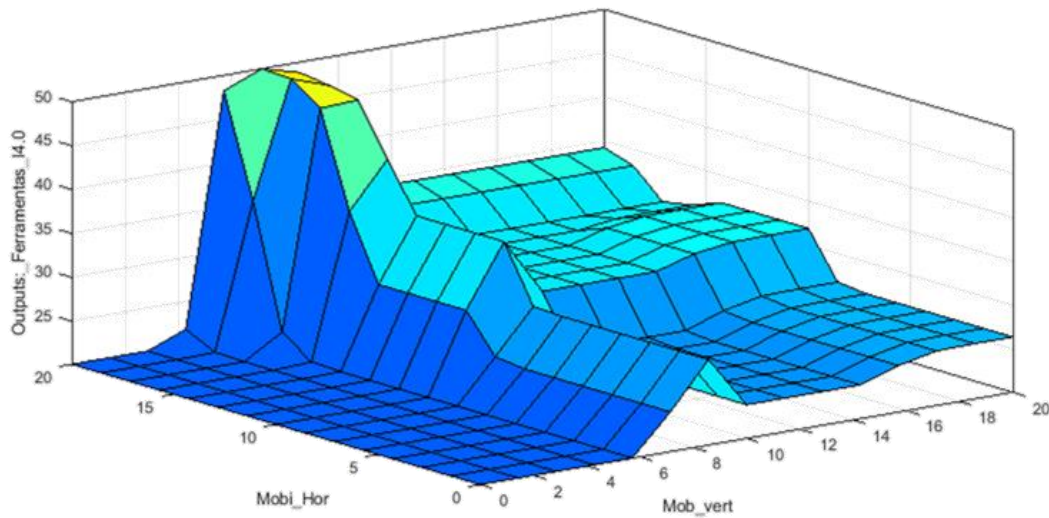


Figura 109 - Representação gráfica das variáveis de *input* mobilidade horizontal e vertical vs solução: ferramenta da Indústria 4.0.

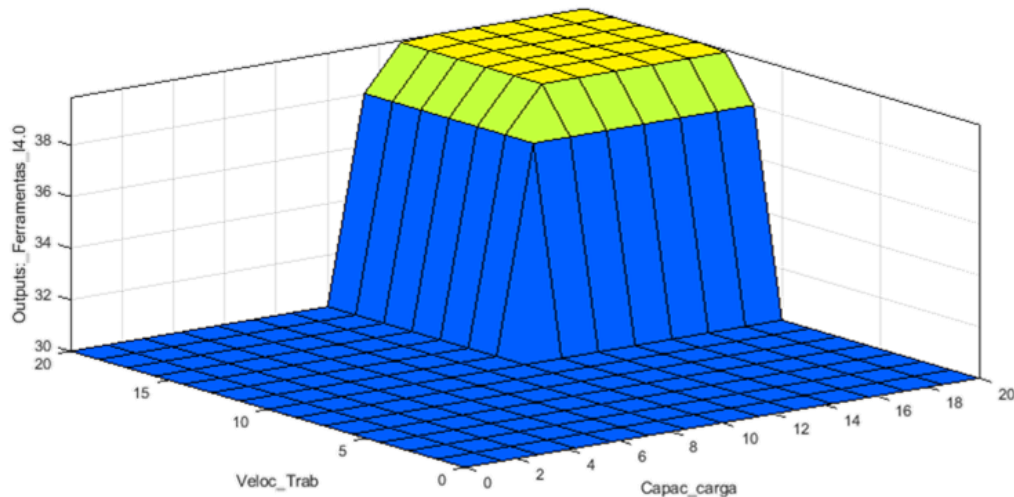


Figura 110 - Representação gráfica das variáveis de *input* velocidade de trabalho e capacidade de carga vs solução: ferramenta da Indústria 4.0.

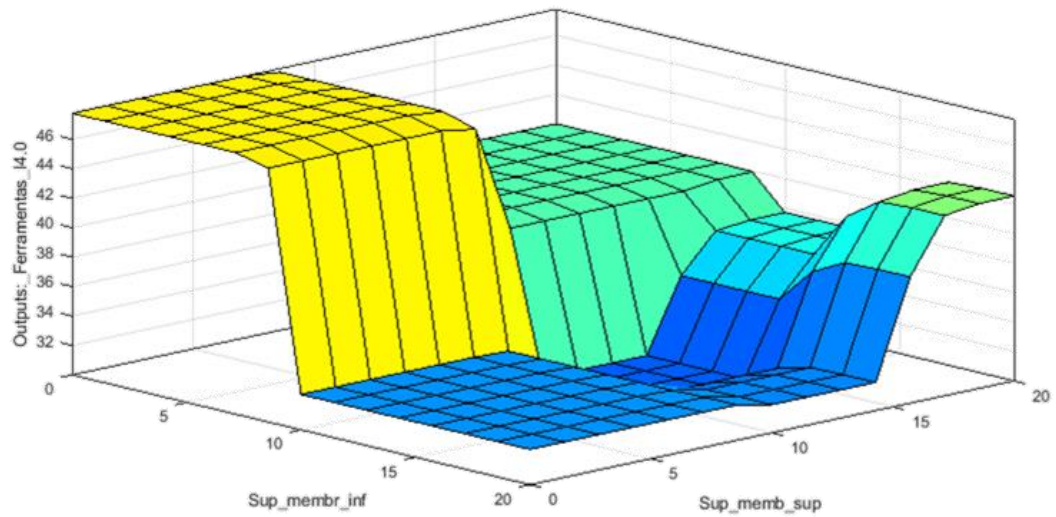


Figura 111 - Representação gráfica das variáveis de *input* apoio dos membros inferiores e superiores do corpo vs solução: ferramenta da Indústria 4.0.

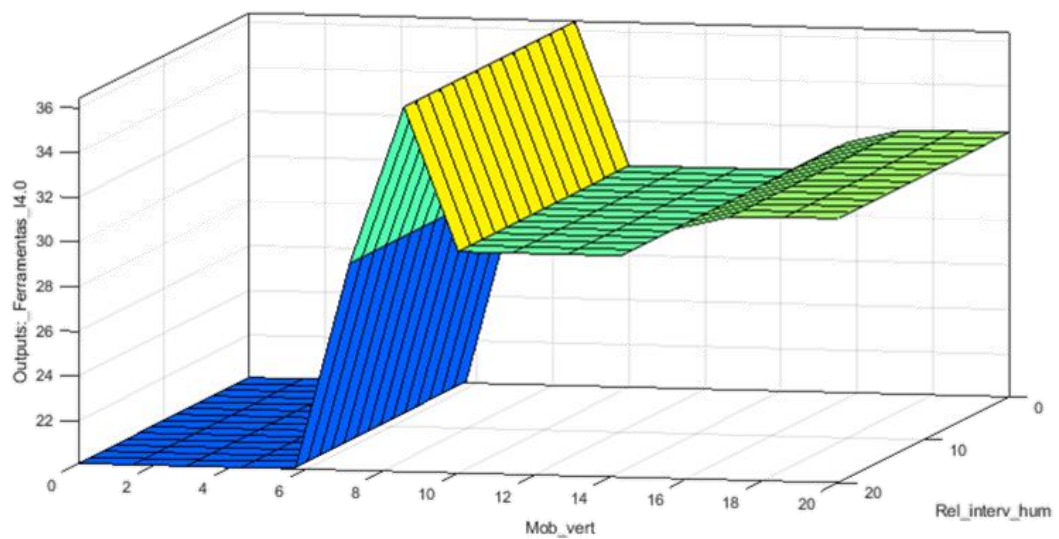


Figura 112 - Representação gráfica das variáveis de *input* mobilidade vertical e relevância da presença humana vs solução: ferramenta da Indústria 4.0.

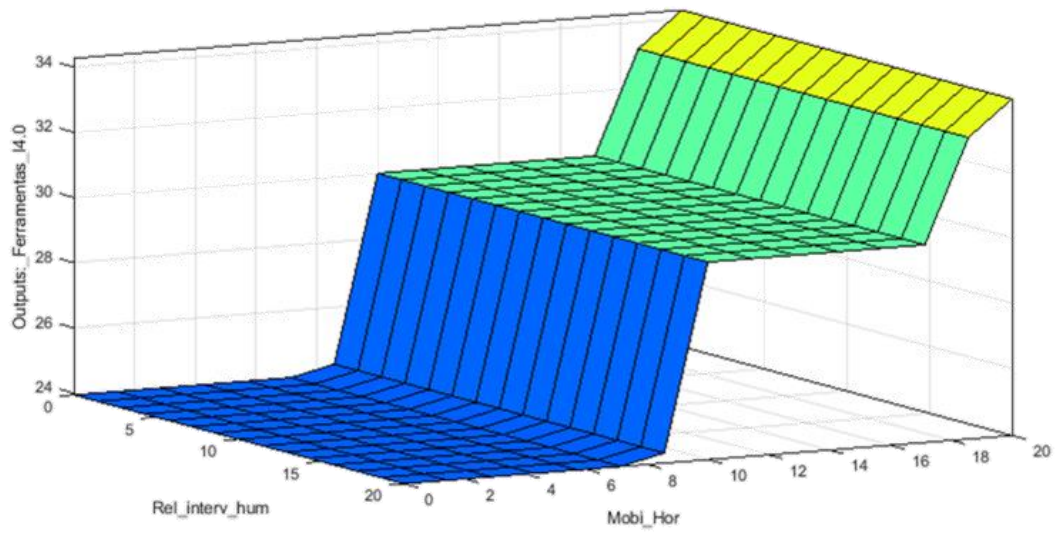


Figura 113 - Representação gráfica das variáveis de *input* mobilidade horizontal e relevância da presença humana vs solução: ferramenta da Indústria 4.0.

Apêndice X:

Resultados obtidos após aplicação do Método HTA ao cenário antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0

Após a aplicação do método HTA foi obtido o diagrama em árvore para a atividade receção e descarga de uvas, antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0, como é possível observar através da Figura 114.

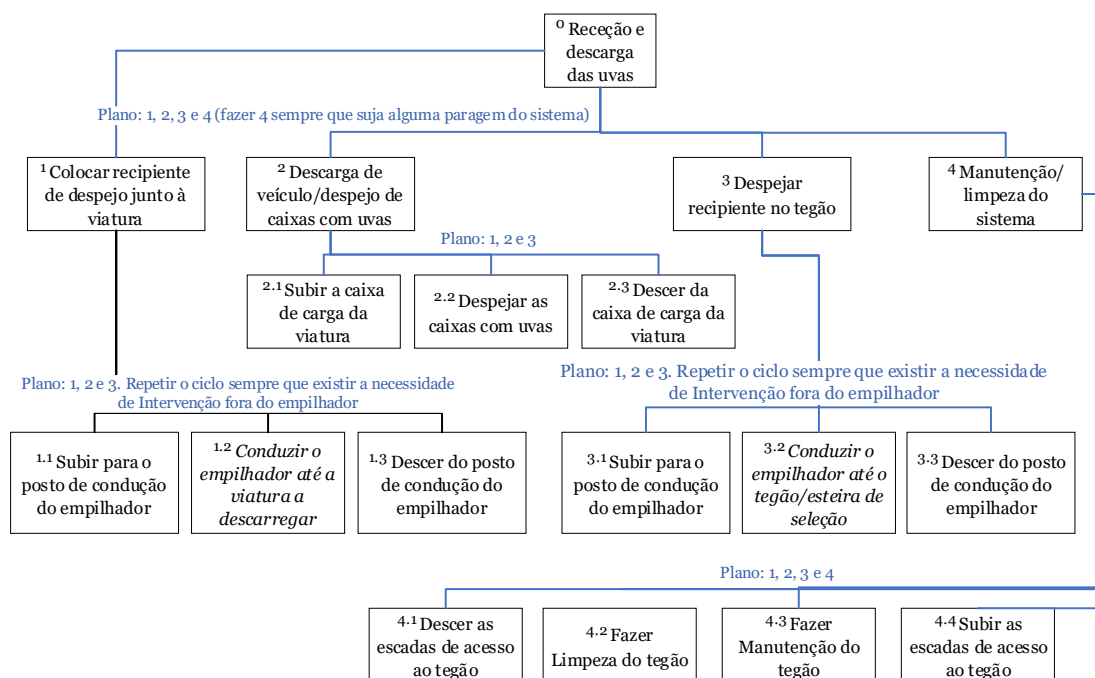


Figura 114 - Diagrama em árvore referente a atividade Receção e descarga de uvas antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0.

O método foi aplicado às restantes atividades do processo produtivo antes da implementação das ferramentas de Indústria 4.0, tendo sido obtidos os diagramas tubulares apresentados nas seguintes tabelas.

Tabela 83 - Diagrama tubular HTA para a operação recepção e descarga das uvas

| | |
|---|---|
| o. Recepção e descarga das uvas | |
| Plano 0: executar 1, depois 2, depois 3 e executar 4 sempre que surja alguma paragem do sistema | |
| 1. Colocar recipiente de despejo junto à viatura Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 (Repetir o ciclo sempre que existir a necessidade de Intervenção fora do empilhador) | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até a viatura a descarregar</i> |
| 1.3 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |
| 2. Descarga de veículo/despejo de caixas com uvas Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3 | |
| 2.1 | <i>Subir a caixa de carga da viatura</i> |
| 2.2 | <i>Despejar as caixas com uvas</i> |
| 2.3 | <i>Descer da caixa de carga da viatura</i> |
| 3. Despejar recipiente no tegão/esteira de seleção Plano 3: executar 1, depois 2 e depois 3 (Repetir o ciclo sempre que existir a necessidade de Intervenção fora do empilhador) | |
| 3.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 3.2 | <i>Conduzir o empilhador até o tegão/esteira de seleção</i> |
| 3.3 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |
| 4. Manutenção/limpeza do tegão Plano 4: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 4.1 | <i>Descer as escadas de acesso ao tegão</i> |
| 4.2 | <i>Fazer Limpeza do tegão</i> |
| 4.3 | <i>Fazer Manutenção do tegão</i> |
| 4.4 | <i>Subir as escadas de acesso ao tegão</i> |

Tabela 84 - Diagrama tubular HTA para a operação seleção/triagem das uvas

| | |
|---|--|
| o. Seleção/triagem das uvas | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Separar as uvas verdes e em mau estado fitossanitário Plano 1: executar 1 e 2 simultaneamente | |
| 1.1 | <i>Retirar as uvas verdes e em mau estado fitossanitário e colocar dentro de caixas próprias</i> |
| 1.2 | <i>Retirar materiais misturados com as uvas (exemplo arames, pedras, etc.)</i> |
| 2. Movimentar as caixas com uvas rejeitadas Plano 2: executar 1 e depois 2 | |
| 2.3 | <i>Colocar as caixas com uvas rejeitadas para a viatura de transporte</i> |
| 2.4 | <i>Transportar as caixas com uvas rejeitadas para o local de queima/aterro</i> |

Tabela 85 - Diagrama tubular HTA para a operação desbloqueio/limpeza do sistema de desengace/esmagamento

| | |
|--|---|
| o. Desobstrução/limpeza do sistema de desengace/esmagamento de uvas | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Desobstrução do sistema de desengace/esmagamento de uvas Plano 1: executar 1 e 2, depois 3 e/ou 4 e/ou 5 (de acordo com as necessidades), depois 6 e 7 | |
| 1.1 | <i>Abrir o sistema de desengace/esmagamento</i> |
| 1.2 | <i>Desmontar os componentes do sistema de desengace/esmagamento de uvas</i> |
| 1.3 | <i>Desobstruir o sistema (retirar engajo acumulado ou outros materiais)</i> |
| 1.4 | <i>Limpar/higienizar os componentes</i> |
| 1.5 | <i>Realizar a manutenção do sistema e dos componentes</i> |
| 1.6 | <i>Montar os componentes do sistema</i> |
| 1.7 | <i>Fechar o sistema de desengace/esmagamento</i> |

Tabela 86 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem

| o. Sulfitagem | |
|---|--|
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Sulfitagem automática | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e 4 em simultâneo | |
| 1.1 | <i>Higienizar/preparar o sulfítometro</i> |
| 1.2 | <i>Preparar a solução no sulfítometro</i> |
| 1.3 | <i>Controlar os volumes de mistura</i> |
| 1.4 | <i>Controlar o fluxo</i> |
| 2. Sulfitagem manual | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 (repetir o ciclo para as restantes cubas de fermentação) | |
| 2.1 | <i>Transportar o metabissulfito de potássio do armazém de materiais enológicos</i> |
| 2.2 | <i>Preparar a dose de metabissulfito de potássio a adicionar</i> |
| 2.3 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.4 | <i>Distribuir/adicionar a dose de metabissulfito de potássio</i> |
| 2.5 | <i>Acionar o sistema de remontagem (maceração)</i> |

Tabela 87 - Diagrama tubular HTA para a operação clarificação de mostos

| o. Clarificação de mostos | |
|--|--|
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Adição dos agentes clarificantes no mosto | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Transporte de materiais clarificantes</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes clarificantes no mosto</i> |
| 1.4 | <i>Acionar o sistema de remontagem (maceração)</i> |
| 2. Preparação do sistema de filtração | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 2.1 | <i>Transporte de materiais filtrantes</i> |
| 2.2 | <i>Preparação da camada filtrante no sistema de filtração</i> |
| 2.3 | <i>Estabelecer as ligações para transferência do mosto</i> |
| 2.4 | <i>Aceder à parte superior da cuba para abertura da porta superior</i> |
| 3. Realização da filtração | |
| Plano 3: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 3.1 | <i>Iniciar o sistema de filtração</i> |
| 3.2 | <i>Verificar os fluxos</i> |
| 3.3 | <i>Remover os resíduos de filtração</i> |

Tabela 88 - Diagrama tubular HTA para a operação preparação do mosto

| o. Preparação do mosto | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação das cubas de fermentação | |
| Plano 1: executar 1 e depois 2 | |
| 1.1 | <i>Verificar estado da cuba de fermentação</i> |
| 1.2 | <i>Higienizar a cuba de fermentação</i> |
| 2. Trásfega do mosto | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 2.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.2 | <i>Abrir porta superior</i> |
| 2.3 | <i>Movimentar das bombas de trásfega, mangueiras e ligações</i> |
| 2.4 | <i>Estabelecer as ligações entre cubas e bomba de trásfega</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à trásfega</i> |

| | |
|--|---|
| o. Preparação do mosto | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 3. Adição de agentes enológicos | |
| Plano 3: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 3.1 | <i>Transporte de materiais enológico</i> |
| 3.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 3.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes clarificantes no mosto</i> |
| 3.4 | <i>Acionar a bomba para realização de mistura</i> |

Tabela 89 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação alcoólica

| | |
|---|---|
| o. Controlo da Fermentação Alcoólica | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 conforme o tempo de fermentação | |
| 1. Verificação da temperatura da fermentação | |
| Plano 1: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.2 | <i>Observar o aspeto das massas vínicas</i> |
| 1.3 | <i>Verificar temperatura e registar</i> |
| 2. Verificação da evolução de fermentação | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 2.1 | <i>Verificar o registo de temperaturas de fermentação</i> |
| 2.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.3 | <i>Observar o aspeto das massas vínicas</i> |
| 2.4 | <i>Retirar amostra para verificação de grau Baumé</i> |

Tabela 90 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/acompanhamento da maceração

| | |
|---|---|
| o. Verificação/acompanhamento da Maceração | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Verificação do sistema de remontagem | |
| Plano 1: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1.1 | <i>Acionar o sistema de remontagem</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Verificar o funcionamento do sistema</i> |
| 2. Verificação das massas vínicas | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 2.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.2 | <i>Observar o aspeto das massas vínicas</i> |

Tabela 91 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos brancos)

| | |
|---|--|
| o. Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Verificação da evolução da fermentação | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Verificar o registo de análises</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Observar o aspeto do mosto</i> |
| 1.4 | <i>Retirar amostra para análise</i> |

Tabela 92 - Diagrama tubular HTA para a operação sangria/descubra

| | |
|--|---|
| o. Sangria/Descubra | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de sangria | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 1.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.2 | <i>Abrir porta superior</i> |
| 1.3 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.4 | <i>Estabelecer as ligações entre a cuba de fermentação, a bomba de transferência de massas e o sistema de sangria ou a prensa</i> |
| 1.5 | <i>Estabelecer as ligações entre a bomba de trasfega, o sistema de sangria e a cuba de estágio</i> |
| 2. Operação de transferência | |
| Plano 2: executar 1 | |
| 2.1 | <i>Proceder à transferência da parte líquida</i> |

Tabela 93 - Diagrama tubular HTA para a operação esgotamento/prensagem

| | |
|---|---|
| o. Esgotamento/Prensagem | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação do sistema de transferência | |
| Plano 1: executar 1, depois 2 e depois 3, | |
| 1.1 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.2 | <i>Estabelecer as ligações entre a cuba de fermentação, a bomba de transferência de massas e o sistema de sangria ou a prensa</i> |
| 1.3 | <i>Estabelecer as ligações entre a bomba de trasfega, o sistema de sangria e a cuba de estágio</i> |
| 2. Operação de transferência | |
| Plano 2: executar 1 | |
| 2.1 | <i>Proceder à transferência das massas vínicas</i> |
| 3. Lavagem/Higienização dos equipamentos e acessórios | |
| Plano 3: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 3.1 | <i>Lavar/Higienizar a cuba de fermentação</i> |
| 3.2 | <i>Lavar/Higienizar as mangueiras e as bombas de transferência</i> |
| 3.3 | <i>Lavar/Higienizar a prensa</i> |

Tabela 94 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/manutenção das prensas

| | |
|--|---|
| o. Verificação/Manutenção das prensas | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Manutenção/limpeza do sistema | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Descer as escadas de acesso à prensa</i> |
| 1.2 | <i>Fazer Limpeza da prensa</i> |
| 1.3 | <i>Fazer Manutenção da prensa</i> |
| 1.4 | <i>Subir as escadas da prensa</i> |

Tabela 95 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos tintos)

| | |
|--|--|
| o. Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Verificação da evolução da fermentação | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Verificar o registo de análises</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Observar o aspeto do mosto</i> |
| 1.4 | <i>Retirar amostra para análise</i> |

Tabela 96 - Diagrama tubular HTA para a operação fortificação (adição de aguardente vínica)

| o. Fortificação (adição de aguardente vínica) | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 (apenas para os casos da produção de vinho do Porto e Vinho Madeira) | |
| 1. Operação de trasfega | |
| Plano 1: executar as tarefas de 1 a 10 em série | |
| 1.1 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.2 | <i>Estabelecer as ligações entre a bomba de trasfega e as duas cubas (onde está o álcool e onde está o vinho)</i> |
| 1.3 | <i>Aceder à parte superior da cuba onde está a aguardente vínica</i> |
| 1.4 | <i>Abrir a porta superior da cuba</i> |
| 1.5 | <i>Aceder à parte superior da cuba do vinho a fortificar</i> |
| 1.6 | <i>Abrir a porta superior da cuba</i> |
| 1.7 | <i>Iniciar o processo de trasfega</i> |
| 1.8 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 1.9 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as duas cubas (onde está o álcool e onde está o vinho)</i> |
| 1.10 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 97 - Diagrama tubular HTA para a operação ajustes enológicos

| o. Ajustes enológicos | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.2 | <i>Abrir a porta superior</i> |
| 1.3 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.4 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Adição dos agentes enológicos ao vinho | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 7 em série | |
| 2.1 | <i>Transporte de materiais clarificantes</i> |
| 2.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes clarificantes no mosto</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à mistura</i> |
| 2.5 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.6 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as duas cubas (onde está o álcool e onde está o vinho)</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 98 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes base

| o. Elaboração de lotes base | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 1.2 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 1.3 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.4 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 2.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 2.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.3 | <i>Retirar amostras</i> |
| 2.4 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as duas cubas (onde está o álcool e onde está o vinho)</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 99 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação

| | |
|--|---|
| o. Estabilização/Clarificação | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Transporte e adição dos agentes para estabilização/clarificação | |
| Plano 1: executar 1 | |
| 1.1 | <i>Transporte de materiais para estabilização/clarificação</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes para estabilização/clarificação no mosto</i> |

Tabela 100 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem

| | |
|--|--|
| o. Filtragem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de filtragem | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Transporte de materiais filtrantes</i> |
| 1.2 | <i>Preparação da camada filtrante no sistema de filtragem</i> |
| 1.3 | <i>Estabelecer as ligações para transferência do mosto</i> |
| 1.4 | <i>Aceder à parte superior da cuba para abertura da porta superior</i> |
| 2. Realização da filtragem | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 2.1 | <i>Iniciar o sistema de filtragem</i> |
| 2.2 | <i>Verificar os fluxos</i> |
| 2.3 | <i>Remover os resíduos de filtragem</i> |

Tabela 101 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem

| | |
|---|--|
| o. Sulfitagem | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Sulfitagem automática | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e 4 em simultâneo | |
| 1.1 | <i>Higienizar/preparar o sulfitómetro</i> |
| 1.2 | <i>Preparar a solução no sulfitómetro</i> |
| 1.3 | <i>Controlar os volumes de mistura</i> |
| 1.4 | <i>Controlar o fluxo</i> |
| 2. Sulfitagem manual | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 (repetir o ciclo para as restantes cubas de fermentação) | |
| 2.1 | <i>Transportar o metabissulfito de potássio do armazém de materiais enológicos</i> |
| 2.2 | <i>Preparar a dose de metabissulfito de potássio a adicionar</i> |
| 2.3 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.4 | <i>Distribuir/adicionar a dose de metabissulfito de potássio</i> |
| 2.5 | <i>Acionar o sistema de mistura</i> |

Tabela 102 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (barricas de madeira)

| | |
|--|--|
| o. Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação das barricas, dos canteiros e da estrutura do empilhamento | |
| Plano 1: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1.1 | <i>Preparação das barricas de madeira</i> |
| 1.2 | <i>Transporte de barricas de madeira</i> |
| 1.3 | <i>Acondicionamento/empilhamento de barricas de madeira em canteiro/suportes metálicos</i> |
| 2. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 2.1 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 2.3 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 2.4 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |

| | |
|---|--|
| o. Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 3. Transferência dos vinhos para as barricas | |
| Plano 3: executar 1, depois 2 (após conclusão da trasfega dos vinhos), depois executar as etapas de 3 e 4 | |
| 3.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 3.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 3.3 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as cubas</i> |
| 3.4 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 103 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (cubas inox)

| | |
|---|--|
| o. Armazenamento/Estágio (cubas inox) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 1.1 | <i>Higienização/preparação das cubas de estágio</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 1.3 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 1.4 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.5 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 (após conclusão da trasfega dos vinhos), depois executar as etapas de 3 e 4 | |
| 2.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 2.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.3 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as cubas</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 104 - Diagrama tubular HTA para a operação estufagem (Produção de vinho Madeira)

| | |
|--|--|
| o. Estufagem (Produção de vinho Madeira) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 1.1 | <i>Higienização/preparação das cubas de estufagem</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 1.3 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 1.4 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.5 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 2.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 2.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.3 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as cubas</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 105 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes (*Blending*)

| | |
|--|---|
| o. Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 | |
| 1.1 | <i>Higienização/preparação das cubas a usar na elaboração dos lotes</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 1.3 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 1.4 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.5 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |

| | |
|--|--|
| o. Elaboração de lotes (Blending) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 (após conclusão das proporções dos vinhos desejadas), depois executar as etapas de 3 a 5 | |
| 2.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 2.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.3 | <i>Retirar amostras</i> |
| 2.4 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as cubas</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 106 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação

| | |
|--|---|
| o. Estabilização/Clarificação | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Transporte e adição dos agentes para estabilização/clarificação | |
| Plano 1: executar 1 | |
| 1.1 | <i>Transporte de materiais para estabilização/clarificação</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes para estabilização/clarificação no mosto</i> |

Tabela 107 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem

| | |
|--|--|
| o. Filtragem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de filtragem | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Transporte de materiais filtrantes</i> |
| 1.2 | <i>Preparação da camada filtrante no sistema de filtragem</i> |
| 1.3 | <i>Estabelecer as ligações para transferência do mosto</i> |
| 1.4 | <i>Aceder à parte superior da cuba para abertura da porta superior</i> |
| 2. Realização da filtragem | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 2.1 | <i>Iniciar o sistema de filtragem</i> |
| 2.2 | <i>Verificar os fluxos</i> |
| 2.3 | <i>Remover os resíduos de filtragem</i> |

Tabela 108 - Diagrama tubular HTA para a operação correções finais

| | |
|--|---|
| o. Correções finais | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 | |
| 1.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 1.2 | <i>Abrir a porta superior</i> |
| 1.3 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.4 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Adição dos agentes enológicos ao vinho | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 7 em série | |
| 2.1 | <i>Transporte de materiais clarificantes</i> |
| 2.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes clarificantes no mosto</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à mistura</i> |
| 2.5 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.6 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as duas cubas (onde está o álcool e onde está o vinho)</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 109 - Diagrama tubular HTA para a operação receção de materiais de embalagem

| o. Receção de materiais de embalagem | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Verificação dos materiais | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 7 (Repetir o ciclo para todas as paletes a verificar) | |
| 1.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 1.2 | <i>Subir escada</i> |
| 1.3 | <i>Abrir caixas</i> |
| 1.4 | <i>Verificar os materiais</i> |
| 1.5 | <i>Retirar amostras</i> |
| 1.6 | <i>Descer escada</i> |
| 1.7 | <i>Envolver a paleta em filme de plástico</i> |
| 2. Transporte e armazenamento dos materiais | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até a verificação estar concluída). Após concluir a verificação de todas as paletes executar as etapas 6 e 7 | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até o local de verificação dos materiais</i> |
| 1.3 | <i>Transportar a paleta até o armazém de materiais de embalagem</i> |
| 1.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 1.5 | <i>Deslocar o empilhador até o local de verificação dos materiais</i> |
| 1.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 1.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |

Tabela 110 - Diagrama tubular HTA para a operação despaletização

| o. Despaletização | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Disponibilização das paletes de garrafas | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3, repetir até satisfazer a necessidade da linha de engarrafamento, depois executar 4 e depois 5 | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até o armazém de materiais de embalagem</i> |
| 1.3 | <i>Transportar a paleta desde o armazém de materiais de embalagem até o início da linha de engarrafamento</i> |
| 1.4 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 1.5 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |
| 2. Disponibilização das paletes de garrafas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5. As etapas 2 e 4 deixam de ser executadas quando o nível da paleta estiver mais baixo | |
| 2.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 2.2 | <i>Subir a escada</i> |
| 2.3 | <i>Retirar as garrafas</i> |
| 2.4 | <i>Descer a escada</i> |
| 2.5 | <i>Colocar as garrafas no tapete transportador</i> |

Tabela 111 - Diagrama tubular HTA para a operação enxaguamento de garrafas

| o. Enxaguamento de garrafas | |
|--|--|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação da Enxaguadora | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar a Enxaguadora de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar a Enxaguadora</i> |
| 1.3 | <i>Abastecer garrafas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar a Enxaguadora</i> |

| | |
|--|---|
| o. Enxaguamento de garrafas | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Limpeza e manutenção da Enxaguadora Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza da Enxaguadora nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 112 - Diagrama tubular HTA para a operação enchimento

| | |
|---|---|
| o. Enchimento de garrafas com vinho | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do Sistema de enchimento Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de enchimento de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de enchimento</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer vinho sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de enchimento</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de enchimento Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de enchimento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de enchimento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de enchimento nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 113 - Diagrama tubular HTA para a operação rolhamento ou vedação

| | |
|--|---|
| o. Rolhamento ou vedação | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de rolhamento ou vedação Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de rolhamento ou vedação de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de rolhamento ou vedação</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer rolhas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de rolhamento ou vedação</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de rolhamento ou vedação Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de rolhamento ou vedação de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de rolhamento ou vedação de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de rolhamento ou vedação nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 114 - Diagrama tubular HTA para a operação capsulagem

| o. Capsulagem | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de capsulagem Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de capsulagem de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de capsulagem</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer cápsulas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de capsulagem</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de capsulagem Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de capsulagem nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 115 - Diagrama tubular HTA para a operação rotulagem e marcação de lote

| o. Rotulagem e marcação de lote | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de capsulagem Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de capsulagem de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de capsulagem</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer cápsulas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de capsulagem</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de capsulagem Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de capsulagem nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 116 - Diagrama tubular HTA para a operação encaixotamento

| o. Encaixotamento | |
|--|--|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de encaixotamento Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa ou caixa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de encaixotamento de acordo com o tipo de garrafa, tipo e dimensão de caixa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de encaixotamento</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer caixas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de encaixotamento</i> |

| | |
|--|---|
| o. Encaixotamento | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de encaixotamento | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de encaixotamento pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de encaixotamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de encaixotamento nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 117 - Diagrama tubular HTA para a operação fecho e marcação das caixas

| | |
|---|--|
| o. Fecho e marcação das caixas | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de fecho e marcação das caixas | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa ou caixa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de encaixotamento de acordo com o tipo de garrafa, tipo e dimensão de caixa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de fecho e marcação das caixas</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer caixas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de fecho e marcação das caixas</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de fecho e marcação das caixas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de fecho e marcação das caixas nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 118 - Diagrama tubular HTA para a operação paletização

| | |
|---|---|
| o. Paletização | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de paletização | |
| Plano 1: executar 1, depois 2 e depois 3 no fim do turno. | |
| 1.1 | <i>Operar/controlar o sistema de paletização</i> |
| 1.2 | <i>Verificar/abastecer paletes e filme de plástico envolvente sempre que necessário</i> |
| 1.3 | <i>Higienizar/preparar o sistema</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de paletização | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de paletização pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de paletização pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do paletização nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 119 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenagem

| o. Armazenagem | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Transporte e armazenamento de produto semiacabado | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até retirar todas as paletes com produto). Depois executar as etapas 6 e 7 | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até o fim da linha de engarrafamento</i> |
| 1.3 | <i>Transportar a paleta até o armazém de produto semiacabado</i> |
| 1.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 1.5 | <i>Deslocar o empilhador até o fim da linha de engarrafamento</i> |
| 1.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 1.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |
| 2. Transporte e armazenamento de produto acabado | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até retirar todas as paletes com produto). Depois executar as etapas 6 e 7 | |
| 2.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 2.2 | <i>Conduzir o empilhador até o fim da linha de engarrafamento</i> |
| 2.3 | <i>Transportar a paleta até o armazém de produto acabado</i> |
| 2.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 2.5 | <i>Deslocar o empilhador até o fim da linha de engarrafamento</i> |
| 2.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 2.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |

Tabela 120 - Diagrama tubular HTA para a operação expedição

| o. Expedição | |
|---|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Verificação do produto acabado | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 7 (Repetir o ciclo para todas as paletes a verificar) | |
| 1.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 1.2 | <i>Subir escada</i> |
| 1.3 | <i>Abrir caixas</i> |
| 1.4 | <i>Verificar o estado/apresentação das garrafas</i> |
| 1.5 | <i>Retirar amostras</i> |
| 1.6 | <i>Descer escada</i> |
| 1.7 | <i>Envolver a paleta em filme de plástico</i> |
| 2. Transporte e acondicionamento das paletes no veículo/contentor de transporte | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até a verificação estar concluída). Após concluir o acondicionamento das paletes no veículo de transporte/contentor executar as etapas 6 e 7 | |
| 2.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 2.2 | <i>Conduzir o empilhador até o armazém de produto acabado</i> |
| 2.3 | <i>Transportar a paleta até a área de expedição</i> |
| 2.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 2.5 | <i>Deslocar o empilhador até o armazém de produto acabado</i> |
| 2.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 2.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |

Apêndice XI:

Resultados Obtidos Após Aplicação do Método HTA ao Cenário Após a Implementação das Ferramentas de Indústria 4.0

Após a aplicação do método HTA às atividades do processo produtivo após a implementação das ferramentas de Indústria 4.0 e, tendo sido feitas as estimativas para as novas tarefas, foram obtidos os diagramas tubulares apresentados através das seguintes tabelas.

Tabela 121 - Diagrama tubular HTA para a operação recepção e descarga das uvas

| | |
|--|--|
| 0. Recepção e descarga das uvas | |
| Plano 0: executar 1, depois 2, depois 3 e executar 4 sempre que surja alguma paragem do sistema | |
| 1. Verificação/preparação do robô autônomo | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 5 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Verificar a programação de tarefas e trajetórias do robô autônomo</i> |
| 1.2 | <i>Verificar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.3 | <i>Verificar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo fisicamente</i> |
| 1.4 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.5 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Descarga de veículo/despejo de caixas com uvas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 3. Despejar recipiente no tegão/esteira de seleção | |
| Plano 3: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 3.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 3.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 3.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 4. Manutenção/limpeza do tegão (Uso de exosqueleto com apoio para corpo inteiro) | |
| Plano 4: executar as etapas de 1 a 8 (ação humana com ECI) | |
| 4.1 | <i>Vestir o exosqueleto</i> |
| 4.2 | <i>Descer a escada de acesso ao tegão</i> |
| 4.3 | <i>Fazer Limpeza do tegão</i> |
| 4.4 | <i>Fazer Manutenção do tegão</i> |
| 4.5 | <i>Subir as escadas de acesso ao tegão</i> |
| 4.6 | <i>Despir o exosqueleto</i> |
| 4.7 | <i>Verificar o estado do exosqueleto</i> |
| 4.8 | <i>Armazenar o exosqueleto no local estipulado</i> |

Tabela 122 - Diagrama tubular HTA para a operação seleção/triagem das uvas

| | |
|--|--|
| o. Seleção/triagem das uvas | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Separar as uvas verdes e em mau estado fitossanitário | |
| Plano 1: executar 1 e 2 simultaneamente (ação humana) | |
| 1.1 | <i>Retirar as uvas verdes e em mau estado fitossanitário e colocar dentro de caixas próprias</i> |
| 1.2 | <i>Retirar materiais misturados com as uvas (exemplo arames, pedras, etc.)</i> |
| 2. Movimentar as caixas com uvas rejeitadas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 123 - Diagrama tubular HTA para a operação desbloqueio/limpeza do sistema de desengace/esmagamento

| | |
|--|--|
| o. Desobstrução/limpeza do sistema de desengace/esmagamento de uvas | |
| Plano 0: executar 1 (ação de robô autônomo) | |
| 1. Desobstrução do sistema de desengace/esmagamento de uvas | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 124 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem

| | |
|---|---|
| o. Sulfitagem | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Sulfitagem automática | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Sulfitagem manual | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 125 - Diagrama tubular HTA para a operação clarificação de mostos

| | |
|--|--|
| o. Clarificação de mostos | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Adição dos agentes clarificantes no mosto | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Preparação do sistema de filtração | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 3. Realização da filtração | |
| Plano 3: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 3.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 3.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 3.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 126 - Diagrama tubular HTA para a operação preparação do mosto

| | |
|--|---|
| o. Preparação do mosto | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação das cubas de fermentação | |
| Plano 1: executar 1 e depois 2 (ação humana com ECI) | |
| 1.1 | <i>Verificar estado da cuba de fermentação</i> |
| 1.2 | <i>Higienizar a cuba de fermentação</i> |
| 2. Trásfega do mosto | |
| Plano 2: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 (ação humana com ECI) | |
| 2.1 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 2.2 | <i>Abrir porta superior</i> |
| 2.3 | <i>Movimentar das bombas de trásfega, mangueiras e ligações</i> |
| 2.4 | <i>Estabelecer as ligações entre cubas e bomba de trásfega</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à trásfega</i> |
| 3. Adição de agentes enológicos | |
| Plano 3: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 (ação humana com ECI) | |
| 3.1 | <i>Transporte de materiais enológico</i> |
| 3.2 | <i>Aceder à parte superior da cuba</i> |
| 3.3 | <i>Distribuir/adicionar os agentes clarificantes no mosto</i> |
| 3.4 | <i>Acionar a bomba para realização de mistura</i> |

Tabela 127 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação alcoólica

| | |
|---|---|
| o. Controlo da Fermentação Alcoólica | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 conforme o tempo de fermentação | |
| 1. Verificação da temperatura da fermentação | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Verificação da evolução de fermentação | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 128 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/acompanhamento da maceração

| | |
|---|---|
| o. Verificação/acompanhamento da Maceração | |
| Plano 0: executar 1 e 2 | |
| 1. Verificação do sistema de remontagem | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Verificação das massas vínicas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 129 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos brancos)

| | |
|---|---|
| o. Controlo da Fermentação Malolática (vinhos brancos) | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Verificação da evolução da fermentação | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 130 - Diagrama tubular HTA para a operação sangria/descubra

| | |
|--|--|
| o. Sangria/Descubra | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de sangria | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Operação de transferência | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.2 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 131 - Diagrama tubular HTA para a operação esgotamento/prensagem

| | |
|---|---|
| o. Esgotamento/Prensagem | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação do sistema de transferência | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Operação de transferência | |
| Plano 2: executar 1 | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 3. Lavagem/Higienização dos equipamentos e acessórios | |
| Plano 3: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 3.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 3.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 3.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 132 - Diagrama tubular HTA para a operação verificação/manutenção das prensas

| | |
|--|---|
| o. Verificação/Manutenção das prensas | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Manutenção/limpeza do sistema | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3 e depois 4 (ação humana com ECI) | |
| 1.1 | <i>Descer as escadas de acesso à prensa</i> |
| 1.2 | <i>Fazer Limpeza da prensa</i> |
| 1.3 | <i>Fazer Manutenção da prensa</i> |
| 1.4 | <i>Subir as escadas da prensa</i> |

Tabela 133 - Diagrama tubular HTA para a operação controlo da fermentação malolática (vinhos tintos)

| | |
|---|---|
| o. Controlo da Fermentação Malolática (vinhos tintos) | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Verificação da evolução da fermentação | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 134 - Diagrama tubular HTA para a operação fortificação (adição de aguardente vínica)

| | |
|---|---|
| o. Fortificação (adição de aguardente vínica) | |
| Plano 0: executar 1 (apenas para os casos da produção de vinho do Porto e Vinho Madeira) | |
| 1. Operação de trasfega | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 135 - Diagrama tubular HTA para a operação ajustes enológicos

| | |
|--|--|
| o. Ajustes enológicos | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Adição dos agentes enológicos ao vinho | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 136 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes base

| | |
|---|---|
| o. Elaboração de lotes base | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 137 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação

| | |
|---|---|
| o. Estabilização/Clarificação | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Transporte e adição dos agentes para estabilização/clarificação | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 138 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem

| | |
|--|--|
| o. Filtragem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de filtragem | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

| | |
|--|--|
| o. Filtragem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Realização da filtragem | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 139 - Diagrama tubular HTA para a operação sulfitagem

| | |
|---|---|
| o. Sulfitagem | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Sulfitagem automática | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Sulfitagem manual | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 140 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (barricas de madeira)

| | |
|---|---|
| o. Armazenamento/Estágio (barricas de madeira) | |
| Plano 0: executar 1, depois 2 e depois 3 | |
| 1. Preparação das barricas, dos canteiros e da estrutura do empilhamento | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do robô colaborativo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 3. Transferência dos vinhos para as barricas | |
| Plano 3: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 3.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 3.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 3.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 141 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenamento/estágio (cubas inox)

| | |
|---|---|
| o. Armazenamento/Estágio (cubas inox) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 142 - Diagrama tubular HTA para a operação estufagem (Produção de vinho Madeira)

| | |
|---|---|
| o. Estufagem (Produção de vinho Madeira) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação das operações de trasfega de vinhos | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 143 - Diagrama tubular HTA para a operação elaboração de lotes (*Blending*)

| | |
|--|---|
| o. Elaboração de lotes (<i>Blending</i>) | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar 1, depois 2, depois 3, depois 4 e depois 5 (ação humana com ECI) | |
| 1.1 | <i>Higienização/preparação das cubas a usar na elaboração dos lotes</i> |
| 1.2 | <i>Aceder à parte superior das cubas</i> |
| 1.3 | <i>Abrir as portas superiores</i> |
| 1.4 | <i>Movimentar das bombas de trasfega, mangueiras e ligações</i> |
| 1.5 | <i>Estabelecer as ligações entre as cubas e a bomba de trasfega</i> |
| 2. Transferência dos vinhos | |
| Plano 2: executar 1, depois 2 (após conclusão das proporções dos vinhos desejadas), depois executar as etapas de 3 a 5 (ação humana com ECI) | |
| 2.1 | <i>Proceder à trasfega dos vinhos desejados</i> |
| 2.2 | <i>Parar o processo de trasfega</i> |
| 2.3 | <i>Retirar amostras</i> |
| 2.4 | <i>Desconectar as ligações entre a bomba de trasfega e as cubas</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à lavagem/higienização dos equipamentos e acessórios</i> |

Tabela 144 - Diagrama tubular HTA para a operação estabilização/clarificação

| | |
|---|---|
| o. Estabilização/Clarificação | |
| Plano 0: executar 1 | |
| 1. Transporte e adição dos agentes para estabilização/clarificação | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 145 - Diagrama tubular HTA para a operação filtragem

| | |
|--|--|
| o. Filtragem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de filtragem | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autónomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autónomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Realização da filtragem | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autónomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autónomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 146 - Diagrama tubular HTA para a operação correções finais

| | |
|--|--|
| o. Correções finais | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação do sistema de trasfega | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Adição dos agentes enológicos ao vinho | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 147 - Diagrama tubular HTA para a operação receção de materiais de embalagem

| | |
|--|---|
| o. Receção de materiais de embalagem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Verificação dos materiais | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 7 (Repetir o ciclo para todas as paletes a verificar) (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 1.2 | <i>Subir escada</i> |
| 1.3 | <i>Abrir caixas</i> |
| 1.4 | <i>Verificar os materiais</i> |
| 1.5 | <i>Retirar amostras</i> |
| 1.6 | <i>Descer escada</i> |
| 1.7 | <i>Envolver a paleta em filme de plástico</i> |
| 2. Transporte e armazenamento dos materiais | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até a verificação estar concluída). Após concluir a verificação de todas as paletes executar as etapas 6 e 7 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até o local de verificação dos materiais</i> |
| 1.3 | <i>Transportar a paleta até o armazém de materiais de embalagem</i> |
| 1.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 1.5 | <i>Deslocar o empilhador até o local de verificação dos materiais</i> |
| 1.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 1.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |

Tabela 148 - Diagrama tubular HTA para a operação despaletização

| | |
|--|---|
| o. Despaletização | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Disponibilização das paletes de garrafas | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3, repetir até satisfazer a necessidade da linha de engarrafamento, depois executar 4 e depois 5 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 1.2 | <i>Conduzir o empilhador até o armazém de materiais de embalagem</i> |
| 1.3 | <i>Transportar a paleta desde o armazém de materiais de embalagem até o início da linha de engarrafamento</i> |
| 1.4 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 1.5 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |
| 2. Disponibilização das paletes de garrafas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5. As etapas 2 e 4 deixam de ser executadas quando o nível da paleta estiver mais baixo (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 2.2 | <i>Subir a escada</i> |
| 2.3 | <i>Retirar as garrafas</i> |
| 2.4 | <i>Descer a escada</i> |
| 2.5 | <i>Colocar as garrafas no tapete transportador</i> |

Tabela 149 - Diagrama tubular HTA para a operação enxaguamento de garrafas

| o. Enxaguamento de garrafas | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação da Enxaguadora | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar a Enxaguadora de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar a Enxaguadora</i> |
| 1.3 | <i>Abastecer garrafas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar a Enxaguadora</i> |
| 2. Limpeza e manutenção da Enxaguadora | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de enxaguamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza da Enxaguadora nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 150 - Diagrama tubular HTA para a operação enchimento

| o. Enchimento de garrafas com vinho | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do Sistema de enchimento | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de enchimento de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de enchimento</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer vinho sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de enchimento</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de enchimento | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de enchimento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de enchimento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de enchimento nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 151 - Diagrama tubular HTA para a operação rolhamento ou vedação

| o. Rolhamento ou vedação | |
|--|---|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de rolhamento ou vedação | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de rolhamento ou vedação de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de rolhamento ou vedação</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer rolhas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de rolhamento ou vedação</i> |

| | |
|---|---|
| o. Rolhamento ou vedação | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de rolhamento ou vedação | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de rolhamento ou vedação de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de rolhamento ou vedação de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de rolhamento ou vedação nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 152 - Diagrama tubular HTA para a operação capsulagem

| | |
|--|---|
| o. Capsulagem | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de capsulagem | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de capsulagem de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de capsulagem</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer cápsulas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de capsulagem</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de capsulagem | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de capsulagem nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 153 - Diagrama tubular HTA para a operação rotulagem e marcação de lote

| | |
|--|---|
| o. Rotulagem e marcação de lote | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de capsulagem | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de capsulagem de acordo com o tipo de garrafa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de capsulagem</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer cápsulas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de capsulagem</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de capsulagem | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de capsulagem de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de capsulagem nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 154 - Diagrama tubular HTA para a operação encaixotamento

| o. Encaixotamento | |
|---|--|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de encaixotamento | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa ou caixa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de encaixotamento de acordo com o tipo de garrafa, tipo e dimensão de caixa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de encaixotamento</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer caixas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de encaixotamento</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de encaixotamento | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de encaixotamento pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de encaixotamento de garrafas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de encaixotamento nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 155 - Diagrama tubular HTA para a operação fecho e marcação das caixas

| o. Fecho e marcação das caixas | |
|---|--|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de fecho e marcação das caixas | |
| Plano 1: executar 1 no início do turno ou quando houver alteração do tipo de garrafa ou caixa na linha de produção, depois executar 2, depois 3 e depois 4 no fim do turno (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Preparar o sistema de encaixotamento de acordo com o tipo de garrafa, tipo e dimensão de caixa a utilizar</i> |
| 1.2 | <i>Operar/controlar o sistema de fecho e marcação das caixas</i> |
| 1.3 | <i>Verificar/abastecer caixas sempre que necessário</i> |
| 1.4 | <i>Higienizar/preparar o sistema de fecho e marcação das caixas</i> |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de fecho e marcação das caixas | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir escadas</i> |
| 2.2 | <i>Abrir o sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior</i> |
| 2.3 | <i>Proceder à limpeza do sistema</i> |
| 2.4 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema</i> |
| 2.5 | <i>Proceder à manutenção</i> |
| 2.6 | <i>Fechar o sistema de fecho e marcação das caixas pela parte superior</i> |
| 2.7 | <i>Proceder à limpeza do sistema de fecho e marcação das caixas nas áreas mais baixas</i> |
| 2.8 | <i>Proceder à verificação do bom funcionamento do sistema dos componentes mais baixos</i> |
| 2.9 | <i>Proceder à manutenção</i> |

Tabela 156 - Diagrama tubular HTA para a operação paletização

| o. Paletização | |
|--|--|
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Preparação e operação do sistema de paletização | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação de robô autônomo) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

| | |
|--|--|
| o. Paletização | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 2. Limpeza e manutenção do sistema de paletização | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 9 (ação de robô autônomo) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar os trabalhos efetuados pelo robô autônomo através do sistema informatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 157 - Diagrama tubular HTA para a operação armazenagem

| | |
|--|---|
| o. Armazenagem | |
| Plano 0: executar 1 ou 2 | |
| 1. Transporte e armazenamento de produto semiacabado | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 3 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 1.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 1.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 1.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |
| 2. Transporte e armazenamento de produto acabado | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até retirar todas as paletes com produto). Depois executar as etapas 6 e 7 (ação do sistema integrado automatizado) | |
| 2.1 | <i>Acompanhar informaticamente as ações efetuadas pelo sistema integrado automatizado</i> |
| 2.2 | <i>Verificar a ocorrência de erros</i> |
| 2.3 | <i>Corrigir os erros detetados</i> |

Tabela 158 - Diagrama tubular HTA para a operação expedição

| | |
|--|---|
| o. Expedição | |
| Plano 0: executar 1 e depois 2 | |
| 1. Verificação do produto acabado | |
| Plano 1: executar as etapas de 1 a 7 (Repetir o ciclo para todas as paletes a verificar) (ação humana com sistema elevatório) | |
| 1.1 | <i>Cortar e remover o plástico que envolve as paletes</i> |
| 1.2 | <i>Subir escada</i> |
| 1.3 | <i>Abrir caixas</i> |
| 1.4 | <i>Verificar o estado/apresentação das garrafas</i> |
| 1.5 | <i>Retirar amostras</i> |
| 1.6 | <i>Descer escada</i> |
| 1.7 | <i>Envolver a paleta em filme de plástico</i> |
| 2. Transporte e acondicionamento das paletes no veículo/contentor de transporte | |
| Plano 2: executar as etapas de 1 a 5 (Repetir as etapas de 2 a 5 até a verificação estar concluída). Após concluir o acondicionamento das paletes no veículo de transporte/contentor executar as etapas 6 e 7 (ação humana com sistema elevatório) | |
| 2.1 | <i>Subir para o posto de condução do empilhador</i> |
| 2.2 | <i>Conduzir o empilhador até o armazém de produto acabado</i> |
| 2.3 | <i>Transportar a paleta até a área de expedição</i> |
| 2.4 | <i>Acondicionar a paleta a área designada</i> |
| 2.5 | <i>Deslocar o empilhador até o armazém de produto acabado</i> |
| 2.6 | <i>Deslocar o empilhador até o local de estacionamento</i> |
| 2.7 | <i>Descer do posto de condução do empilhador</i> |

Apêndice XII:

Resultados obtidos após aplicação do NASA-TLX aos cinco conjuntos de tarefas estabelecidos após implementação das ferramentas da Indústria 4.0

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô autônomo

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô autônomo (Tabela 159).

Tabela 159 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|---------------------|--------------|----------------|
| Exigência Mental | I I I I I | 5 |
| Exigência Física | ----- | 0 |
| Exigência Temporal | I I I | 3 |
| Desempenho | I I I I | 4 |
| Nível de Esforço | I | 1 |
| Nível de Frustração | I I | 2 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô autônomo (Tabela 160).

Tabela 160 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô autônomo (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Exigência Mental | 5 | 90 | 450 |
| Exigência Física | 0 | 15 | 0 |
| Exigência Temporal | 3 | 80 | 240 |
| Desempenho | 4 | 10 | 40 |
| Nível de Esforço | 1 | 40 | 40 |
| Nível de Frustração | 2 | 10 | 20 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 790

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 53\%$$

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô colaborativo

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô colaborativo (Tabela 161).

Tabela 161 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô colaborativo.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|---------------------|--------------|----------------|
| Exigência Mental | I I | 2 |
| Exigência Física | ----- | 0 |
| Exigência Temporal | I I I I | 4 |
| Desempenho | I I I I I | 5 |
| Nível de Esforço | I I | 2 |
| Nível de Frustração | I I | 2 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação de robô colaborativo (Tabela 162).

Tabela 162 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação de robô colaborativo (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Exigência Mental | 2 | 50 | 100 |
| Exigência Física | 0 | 30 | 0 |
| Exigência Temporal | 4 | 80 | 320 |
| Desempenho | 5 | 30 | 150 |
| Nível de Esforço | 2 | 40 | 80 |
| Nível de Frustração | 2 | 10 | 20 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 670

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 45\%$$

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação do sistema integrado automatizado

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação do sistema integrado automatizado (Tabela 163).

Tabela 163 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação do sistema integrado automatizado.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|---------------------|--------------|----------------|
| Exigência Mental | I I I I | 5 |
| Exigência Física | ----- | 0 |
| Exigência Temporal | I I I | 3 |
| Desempenho | I I I | 3 |
| Nível de Esforço | I I I | 3 |
| Nível de Frustração | I | 1 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação do sistema integrado automatizado (Tabela 164).

Tabela 164 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação do sistema integrado automatizado (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Exigência Mental | 5 | 90 | 450 |
| Exigência Física | 0 | 10 | 0 |
| Exigência Temporal | 3 | 80 | 240 |
| Desempenho | 3 | 10 | 30 |
| Nível de Esforço | 3 | 40 | 120 |
| Nível de Frustração | 1 | 10 | 10 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 850

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 57\%$$

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI (Exosqueleto com apoio para o corpo inteiro) (Tabela 165).

Tabela 165 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com ECI.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|---------------------|--------------|----------------|
| Exigência Mental | I I | 2 |
| Exigência Física | I I | 2 |
| Exigência Temporal | I I I I I | 5 |
| Desempenho | I I I I | 4 |
| Nível de Esforço | I | 1 |
| Nível de Frustração | I | 1 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com ECI (Tabela 166).

Tabela 166 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com ECI (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Exigência Mental | 2 | 60 | 120 |
| Exigência Física | 2 | 60 | 120 |
| Exigência Temporal | 5 | 70 | 350 |
| Desempenho | 4 | 80 | 320 |
| Nível de Esforço | 1 | 70 | 70 |
| Nível de Frustração | 1 | 30 | 30 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 1010

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 67\%$$

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com sistema elevatório

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com sistema elevatório (Tabela 167).

Tabela 167 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com sistema elevatório.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Exigência Mental | I | 1 |
| Exigência Física | III | 3 |
| Exigência Temporal | IIII | 4 |
| Desempenho | III | 3 |
| Nível de Esforço | IIII | 4 |
| Nível de Frustração | ----- | 0 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana com sistema elevatório (Tabela 168).

Tabela 168 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana com sistema elevatório (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Exigência Mental | 1 | 50 | 50 |
| Exigência Física | 3 | 70 | 210 |
| Exigência Temporal | 4 | 80 | 320 |
| Desempenho | 3 | 30 | 90 |
| Nível de Esforço | 4 | 50 | 200 |
| Nível de Frustração | 0 | 20 | 0 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 870

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 58\%$$

Aplicação do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana sem apoio

Aplicação da primeira fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana sem apoio (Tabela 169).

Tabela 169 - Folha de contagem com o resultado da comparação de fontes de trabalho obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana sem apoio.

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|---------------------|--------------|----------------|
| Exigência Mental | ----- | 0 |
| Exigência Física | I I I I | 4 |
| Exigência Temporal | I I I | 3 |
| Desempenho | I I | 2 |
| Nível de Esforço | I I I I I | 5 |
| Nível de Frustração | I | 1 |

Contagem total = 15

Aplicação da segunda fase do método NASA-TLX ao conjunto de tarefas englobadas na categoria com ação humana sem apoio (Tabela 170).

Tabela 170 - Resultado da avaliação ponderada obtido através do método NASA-TLX aplicado ao conjunto de tarefas com ação humana sem apoio (Hart & Staveland, 1988).

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|---------------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| Exigência Mental | 0 | 40 | 0 |
| Exigência Física | 4 | 70 | 280 |
| Exigência Temporal | 3 | 70 | 210 |
| Desempenho | 2 | 60 | 120 |
| Nível de Esforço | 5 | 80 | 400 |
| Nível de Frustração | 1 | 20 | 20 |

Soma da coluna da avaliação ajustada = 1030

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = 69\%$$

Anexo I:

As Principais Máquinas e Equipamentos Utilizados na Atividade Vinícola

A Tabela 171 apresenta a diversidade de máquinas e equipamentos normalmente utilizados durante os processos de vinificação.


Tabela 171 - As máquinas e equipamentos utilizados ao longo do processo de fabrico de vinhos (Lamy, 2015; Grainger & Tattersall, 2016; Jackson, 2020).

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|---|---|---|
| Desengaçador/Esmagador | Tem como função efetuar o desengace e a remoção de folhas, e só depois efetuar o esmagamento das uvas. |  |
| Cubas de fermentação em inox | As cubas de fermentação inox são utilizadas para a fermentação dos mostos, embora a fermentação também possa ser efetuada em tonéis e em barricas de madeira. As principais vantagens do inox residem na facilidade de limpeza e na capacidade de integrar sistemas de refrigeração. Estas cubas podem ser abertas ou fechadas no topo. |  |
| Bomba para trasfega de mostos e de bagaço | A bomba de bagaço transporta os frutos esmagados para a prensa ou para o fermentador. |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|--|--|--|
| Prensa | <p>A prensa é usada para extrair o sumo das películas das uvas. As prensas podem ser classificadas como contínua ou de lote. Por sua vez, existem três tipos as prensas de lote: de prato horizontal, pneumática e de cesto vertical. O tipo de prensa a usar dependerá de vários fatores, tais como a necessidade de evitar a oxidação dos vinhos, ou o objetivo de extrair compostos específicos, ou ainda evitar o aparecimento de sabores amargos durante o processo de prensagem.</p> |  <p>a) Prensa contínua</p>  <p>b) Prensa pneumática</p> |
| Bomba de trasfega | <p>As bombas são amplamente utilizadas nas adegas em diversas operações, como o enchimento de tanques, em remontagens, nas transferências de vinhos, no processo de engarrafamento, entre outras. As bombas atuam sobre os líquidos de forma agressiva, sendo por esta razão de evitar o seu uso na transferência de mostos. De forma a colmatar esta agressividade, existem as bombas peristálticas que são muito mais suaves do que o sistema de bombas centrífugas.</p> |  |
| Mangueiras para trasfega | <p>As mangueiras em policloreto de vinilo (PVC) são flexíveis, reforçadas com espiral rígida em PVC ou com malha de poliéster de alta resistência. São atóxicas e permitem trabalhar numa gama de temperaturas entre -10°C a 40°C.</p> |  |
| Cubas de armazenagem em inox com e sem camisas de arrefecimento/aquecimento (caso específico dos vinhos Madeira) | <p>As cubas de armazenagem em inox são utilizadas no estágio dos vinhos mais correntes, destinados à colocação imediata no mercado como vinhos jovens, assim como para o armazenamento temporário dos vinhos entre operações enológicas. As principais vantagens deste tipo de recipiente inox residem essencialmente na facilidade de limpeza e na capacidade de armazenamento, proporcionando operações de trasfega extremamente rápidas.</p> |  |



| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|---|--|---|
| Barricas ou cascos de madeira | Existem vinhos que beneficiam do envelhecimento em carvalho. O impacto dos barris ou tonéis no estilo e qualidade do vinho depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho do recipiente, o tipo e origem do carvalho (ou outra madeira), o grão da madeira (grão fino, com uma espessura de 22 mm, e o barril padrão com uma espessura de 27 mm), as técnicas de fabricação do recipiente, designadamente torragem das madeiras, a quantidade de tempo que vinho permanecerá no barril e as características do local onde os barris são armazenados. |  |
| Tonéis de madeira | Existem vinhos que beneficiam do envelhecimento em carvalho. O impacto dos barris ou tonéis no estilo e qualidade do vinho depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho do recipiente, o tipo e origem do carvalho (ou outra madeira), o grão da madeira (grão fino, com uma espessura de 22 mm, e o barril padrão com uma espessura de 27 mm), as técnicas de fabricação do recipiente, designadamente torragem das madeiras, a quantidade de tempo que vinho permanecerá no barril e as características do local onde os barris são armazenados. |  |
| Sistemas de refrigeração para controlo de fermentação | O controlo de temperatura durante a fermentação é, normalmente, efetuado através da passagem de água ou de etilenoglicol nas camisas de arrefecimento, as quais fazem parte integrante das cubas de fermentação em inox. Para tal, é necessária a presença de uma unidade de refrigeração e de um sistema de bombagem, ambos com capacidade suficiente para abastecer e diminuir a temperatura nas cubas de fermentação, assim como de um sistema de electroválvulas gerido através de um quadro com programadores de temperatura. |  |
| Sistemas de refrigeração para estabilização tartárica | No processo de estabilização tartárica a refrigeração deverá ser rápida, de forma a tornar mais eficiente a precipitação dos bitartratos. As unidades de refrigeração utilizadas são equipamentos, que trabalham através de expansão direta de amónia, provocando um choque térmico, dos 20°-22° naturais até -5°. Como alternativa aos sistemas de refrigeração, podem ser usados sistemas de eletrodialise. |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|--|---|---|
| Sistema de aquecimento para processo de estufagem na produção de vinho madeira | <p>O controlo de temperatura no processo de estufagem implica manter os vinhos a uma temperatura entre 45°C a 50°C durante 3 meses. Este controlo de temperatura é normalmente efetuado através de hastes de imersão no interior das cubas, através das quais a água quente circula, ou através do sistema de aquecimento incorporado nas cubas de aço inoxidável, baseado em camisas duplas, sendo que em ambos os casos o aquecimento é efetuado através de um sistema de caldeiras.</p> |  |
| Filtro rotativo pelo vácuo | <p>O sistema é composto por um cilindro horizontal de grandes dimensões revestido por uma tela perfurada que cobre a superfície curva, em conjunto com um revestimento filtrante. No processo de filtragem, o cilindro gira dentro de um recipiente contendo <i>kieselguhr</i> e água. O cilindro é submetido a vácuo proporcionando a fixação de uma camada de mistura <i>kieselguhr</i>-água na superfície filtrante. A água é absorvida para o interior do cilindro, deixando uma camada de <i>kieselguhr</i> sobre a tela filtrante, a qual irá atuar como meio filtrante fino. Depois, o vinho é colocado no recipiente e filtrado através de <i>kieselguhr</i>.</p> |  |
| Filtro de Terras | <p>Esta técnica de filtragem recorre à aluvionagem em contínuo. Após a formação da pré-camada de filtragem, são adicionadas terras diatomáceas ao vinho turvo, antes da sua passagem no filtro. A camada filtrante aumenta continuamente de espessura, sendo que a camada externa nunca colmata.</p> |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|---|---|---|
| Filtro de placas de celulose esterilizantes | <p>A técnica é utilizada normalmente na preparação dos vinhos para o engarrafamento e tem como objetivo obter uma perfeita limpidez e estabilidade microbiológica.</p> <p>Para o efeito os vinhos devem ser corretamente pré-clarificados através de várias técnicas como a sedimentação espontânea, colagem, filtração por terras, centrifugação, etc.</p> <p>É recomendável a filtração por terras, pouco tempo antes da filtração por placas (1 semana).</p> |  |


Após a fase de vinificação, envelhecimento/estágio e das operações inerentes à preparação dos vinhos como produto final, segue-se a fase de engarrafamento. Deste modo, torna-se pertinente a descrição das principais máquinas que integram uma linha de engarrafamento (Tabela 172).

Tabela 172 - Máquinas e equipamentos constituintes de uma linha automática de engarrafamento (Eurisko, 2011; Wine Communications Group, 2021).

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|-------------------------|--|---|
| Enxaguadora | <p>Remove, com água, qualquer tipo de sujidade e resíduos que se encontrem dentro das garrafas ou na superfície, resultantes quer do fabrico da garrafa quer do seu manuseamento.</p> <p>A garrafa é agarrada pelo gargalo e voltada para baixo, para facilitar a injeção e a saída da água esterilizada.</p> |  |
| Enchedora | <p>O enchimento deve ser realizado sem possibilidades de contaminações exteriores, devido à necessidade de garantir que o produto mantém todas as suas características, não havendo alterações.</p> <p>O nível de enchimento deve ser constante e sem formar espuma.</p> <p>As válvulas de enchimento funcionam tanto por ligeira depressão como por gravidade, contrapressão e isobarometria.</p> |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|-------------------------|--|---|
| Injetora de gás neutro | <p>A injetora de gás neutro injeta um gás neutro, como por exemplo o azoto, logo após o enchimento. Desta forma é reduzida a oxidação e a pressão entre o vinho e a rolha.</p> <p>Pode-se também verificar o nível do enchimento após o mesmo, aspirando o vinho em excesso que é recolhido para um recipiente apropriado.</p> |  |
| Lavadora | <p>Permite remover a sujidade e os resíduos exteriores da garrafa.</p> <p>Permite a secagem total da garrafa, eliminando assim a possibilidade de condensação superficial (facilitando a rotulagem).</p> |  |
| Rolhadora | <p>A rolha é apertada até atingir um diâmetro previamente fixado.</p> <p>Este aperto deve ser lento e a sua introdução na garrafa rápido.</p> |  |
| Capsuladora | <p>Permite a adaptação da cápsula ao gargalo da garrafa. Isto pode ser feito de uma forma mecânica ou de uma forma térmica (dependendo do material da cápsula).</p> |  |
| Rotuladora | <p>Colocação dos rótulos e contrarrótulos nas garrafas.</p> <p>Um sensor deteta a presença da garrafa, sendo esta empurrada contra o rolo rotativo para efetuar a rotulagem).</p> |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|--------------------------|---|---|
| Encaixotadora | <p>Consiste num sistema semiautomático para formação das caixas, colocação de divisórias (quando aplicável), sendo a colocação das garrafas efetuada manualmente.</p> |  |
| Paletizadora | <p>Colocação das caixas em palete, que posteriormente será retratilizada.</p> |  |
| Sistema de ar comprimido | <p>A maioria dos componentes das linhas de engarrafamento necessitam de um sistema de ar comprimido, que possa debitar a pressão de ar suficiente para o correto funcionamento dos vários módulos, desde as ferramentas pneumáticas, aos sistemas de encaixotamento e equipamentos de automação, controlo e transporte, pelo que se torna imperativo o correto dimensionamento do compressor a utilizar.</p> |  |
| Empilhador | <p>Os empilhadores normalmente utilizados neste setor devem ser versáteis, possibilitando a sua utilização tanto dentro de instalações fabris (espaços fechados) como no exterior, sendo mais procurados os equipamentos com motorização elétrica e a gás propano. Estas máquinas têm como principais funções durante a época da vindima: a descarrega as uvas e o respetivo despejo na mesa de triagem ou na prensa, assim como para carregar caixas com os resíduos da vindima, como o bagaço após prensagem, aquando do envio para compostagem nas vinhas. Estes equipamentos são também utilizados noutras etapas do processo produtivo, como: a movimentação de barricas de madeira e tanques para transporte de vinho, a descarga de materiais de embalagem, como por exemplo paletes de garrafas vazias, bem como no carregamento das viaturas para distribuição de produto acabado localmente, ou de contentores para exportação, entre outras funções.</p> |  |

| Máquinas e equipamentos | Descrição | |
|---------------------------------|---|---|
| Porta-paletes ou <i>Stacker</i> | <p>Os porta-paletes são normalmente utilizados em operações dentro das unidades fabris, tendo como principal função a movimentação de paletes de materiais de embalagem, com as garrafas vazias e a deslocação de paletes de produto acabado. Embora muitas organizações continuem a utilizar os sistemas manuais, existe uma forte tendência para a utilização de porta-paletes elétricos.</p> |  |

Anexo II:

Método de aplicação do NASA *Task Load Index*

Definição das escalas de avaliação do método NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

| Definição | Escala | Descrição |
|---------------------|---------------------------|---|
| Exigência Mental | Muito Baixa/Muito Elevada | Quanta atividade mental e de percepção que foi necessária para a execução das tarefas (exemplo: pensar, decidir, calcular, lembrar, olhar, procurar, etc.)? A tarefa foi fácil ou difícil, simples ou complexa, precisa ou imprecisa? |
| Exigência Física | Muito Baixa/Muito Elevada | Quanta atividade física foi exigida (exemplo: empurrar, puxar, rodar, controlar, ativar)? A tarefa foi fácil ou difícil, lenta ou rápida, folgada ou árdua, descansada ou trabalhosa? |
| Exigência Temporal | Muito Baixa/Muito Elevada | Quanta pressão temporal foi sentida face à duração e ritmo das tarefas executadas? O ritmo foi lento e ocioso ou rápido e frenético? |
| Nível de Esforço | Muito Baixo/Muito Elevado | Qual o nível de esforço (mental e físico) que foi necessário para atingir o seu nível de desempenho? |
| Desempenho | Bom/Fraco | Qual o nível de sucesso percebido consequente do cumprimento dos objetivos das tarefas? Qual o nível de satisfação do seu desempenho, face ao cumprimento desses objetivos? |
| Nível de Frustração | Muito Baixo/Muito Elevado | Sentiu-se inseguro, desencorajado, irritado, incomodado e estressado durante a realização das tarefas? (Alto nível de frustração) Ou pelo contrário, sentiu-se seguro, contente, tranquilo? (Baixo nível de frustração). |

Cartões de comparação de fontes de trabalho - Comparação de exigências de carga de trabalho do método NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

| Título da escala | | Desempenho |
|-------------------------|----|---------------------|
| Nível de Esforço | ou | Desempenho |
| Exigência Temporal | ou | Nível de Frustração |
| Exigência Temporal | ou | Nível de Esforço |
| Exigência Física | ou | Nível de Frustração |
| Desempenho | ou | Nível de Frustração |
| Exigência Física | ou | Exigência Temporal |
| Exigência Física | ou | Desempenho |
| Exigência Temporal | ou | Exigência Mental |
| Nível de Frustração | ou | Nível de Esforço |
| Desempenho | ou | Exigência Mental |
| Desempenho | ou | Exigência Temporal |
| Exigência Mental | ou | Nível de Esforço |
| Exigência Mental | ou | Exigência Física |
| Nível de Esforço | ou | Exigência Física |
| Nível de Frustração | ou | Exigência Mental |

Escalas de avaliação das exigências do método NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

| Nome | Tarefa | Data |
|------|--------|------|
| | | |

Exigência Mental Qual foi a exigência mental da tarefa?



Exigência Física Qual foi a exigência física da tarefa?



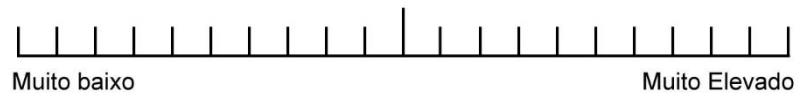
Exigência Temporal Qual foi o ritmo da tarefa?



Desempenho Quão bem sucedido foi em completar o que lhe foi solicitado para fazer?



Esforço Qual foi o esforço aplicado para alcançar o seu nível de desempenho?



Frustração Quão inseguro, desanimado, irritado, com stress e aborrecido se sentiu?



Folha de contagem da comparação de fontes de trabalho do método NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

| Título da Escala | Contagem (C) | Ponderação (P) |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Exigência Mental | | |
| Exigência Física | | |
| Exigência Temporal | | |
| Desempenho | | |
| Nível de Esforço | | |
| Nível de Frustração | | |

Contagem total = _____

(NOTA: A contagem total é incluída como uma verificação. Se a contagem total não for igual a 15, contagem esta que corresponde ao número total de comparações efetuadas através dos cartões de comparação de fontes de trabalho. Algo foi contabilizado incorretamente. Além disso, nenhum peso pode ter um valor maior que 5, valor este que corresponde ao número total de repetições de cada título de escala ao longo do processo de comparação de fontes de trabalho).

Folha de avaliação ponderada do método NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988)

| Título da Escala | Ponderação (P) | Avaliação Inicial (AI) | Avaliação Ajustada (P×AI) |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Exigência Mental | | | |
| Exigência Física | | | |
| Exigência Temporal | | | |
| Desempenho | | | |
| Nível de Esforço | | | |
| Nível de Frustração | | | |

Soma da coluna da avaliação ajustada = _____

$$\text{Avaliação Ponderada} = \sum \frac{\text{Avaliações ajustadas}}{15} = \underline{\hspace{2cm}}$$