

Aplicação da Metodologia *SMED* para Otimização do Processo de Extrusão numa Empresa de Fabrico de Fio Elétrico

José Pedro Reis Peixoto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

(2^o ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor André Ferreira Costa Vieira

Co-orientador: António José Diniz

junho de 2025

Declaração de Integridade

Eu, José Pedro Reis Peixoto, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M13523 de/o Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 10 / 06 / 2025

A handwritten signature in black ink that reads "José Peixoto". The signature is written in a cursive style with a large initial 'J' and 'P'.

Dedicatória

À classe operária que é o sustento de todo o desenvolvimento científico.

À “Covilhã Cidade Neve”, em ti vai sempre morar o meu amor.

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação representa não apenas o fim de uma etapa acadêmica, mas também o reflexo de todo o apoio, incentivo e orientação que recebi ao longo deste percurso.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. André Vieira, pela disponibilidade, paciência e orientação técnica e científica que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À empresa COFICAB, deixo um agradecimento especial pela oportunidade de realizar o estágio curricular, bem como a todos os colaboradores que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste projeto, com destaque para os meus tutores na empresa, António Diniz, André Moreira e todos os operadores da linha 01.

Aos “Perdidos”, por estes 5 anos que nunca nos sairão da memória. Todos os momentos, bons ou maus, contribuíram para que termine este trajeto não só como um melhor engenheiro, mas, acima de tudo, uma melhor pessoa. Juntos, tudo foi muito mais fácil.

A todos os meus amigos que partilharam comigo os altos e baixos desta viagem, o meu sincero agradecimento. A vossa presença faz toda a diferença ao longo do caminho.

Por fim, agradeço à minha família por todo o apoio constante e por ter tido a sorte de nascer no vosso seio. Um agradecimento muito especial à minha mãe, de quem herdei a resiliência que me sustentou ao longo deste percurso. Pelo amor incondicional e pelo apoio incansável que sempre me deu, reconheço que nada disto teria sido possível sem ela.

Resumo

Esta dissertação tem como objetivo a otimização do processo de extrusão de fio elétrico numa empresa do setor automóvel, através da aplicação de ferramentas da filosofia *Lean Manufacturing*, com especial destaque para a metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*). O trabalho foi desenvolvido no âmbito de um estágio curricular realizado na Coficab Portugal, uma organização dedicada à produção de cabos para a indústria automóvel, e surge como resposta à necessidade de melhorar os indicadores operacionais da linha de extrusão.

O projeto teve como foco principal o aumento do *running time* da linha, um dos indicadores-chave de desempenho (KPI) definidos pela empresa, e cuja melhoria influencia diretamente outros parâmetros, como o *speed efficiency* e a geração de *scrap*. A investigação iniciou-se com um diagnóstico detalhado do processo atual, recorrendo à observação direta, à cronometragem manual dos setups e à análise de dados históricos. Esta fase permitiu identificar ineficiências relacionadas com a ausência de padronização, a execução descoordenada das atividades e a má preparação dos recursos necessários às mudanças de produto.

Com base na metodologia SMED, foi realizada uma proposta de reorganização dos procedimentos de setup, assente na distinção entre tarefas internas e externas, eliminação de desperdícios e definição de trabalho padronizado. A implementação das melhorias permitiu reduzir significativamente os tempos de setup, com ganhos médios de 35% nas mudanças de bobine e 56% nas mudanças de secção. Estes resultados contribuíram para o aumento efetivo do tempo produtivo da linha, validando a eficácia da abordagem adotada.

A experiência demonstrou que, mesmo num ambiente industrial consolidado, a aplicação estruturada de ferramentas *lean* pode gerar melhorias significativas e sustentadas, desde que acompanhada pelo envolvimento das equipas operacionais e por uma análise crítica do processo. O trabalho realizado evidencia o potencial de replicação desta metodologia noutros contextos produtivos e reforça a importância da melhoria contínua como pilar da competitividade industrial.

Palavras-chave

Lean Manufacturing; *SMED*; Extrusão; Indicadores-Chave de Desempenho

Abstract

This dissertation aims to optimize the wire extrusion process in an automotive industry company through the application of Lean Manufacturing tools, with particular focus on the SMED (*Single Minute Exchange of Die*) methodology. The project was developed during a curricular internship at Coficab Portugal, a company specialized in the production of cables for the automotive sector, and responds to the need to improve the operational performance indicators of the extrusion line.

The main focus of the study was to increase the line's running time, a key performance indicator (KPI) defined by the company, whose improvement directly influences other metrics such as speed efficiency and scrap generation. The research began with a detailed diagnosis of the current process, using direct observation, manual timing of setup activities, and historical data analysis. This phase identified inefficiencies related to the lack of standardization, uncoordinated execution of tasks, and poor preparation of resources during product changeovers.

Based on the SMED methodology, a reorganization of setup procedures was proposed, grounded on the separation of internal and external tasks, waste elimination, and the definition of standardized work. The implementation of these improvements led to significant reductions in setup times, with average gains of 35% in bobbin changes and 56% in section changes. These results contributed to an effective increase in productive time, validating the approach adopted.

The experience demonstrated that, even in a mature industrial environment, the structured application of lean tools can deliver significant and sustainable improvements, provided it is supported by operator involvement and critical process analysis. This work highlights the potential to replicate this methodology in other production contexts and reinforces the importance of continuous improvement as a pillar of industrial competitiveness.

Keywords

Lean Manufacturing; SMED; Extrusion; Key-Performance Indicators

Índice

1. Introdução	1
1.1 Contextualização do Trabalho Desenvolvido	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia.....	2
1.4 Estrutura do Trabalho	3
2. Enquadramento Teórico	5
2.1 <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.2 <i>Lean Tools</i>	7
2.2.1 <i>Kaizen</i>	7
2.2.2 <i>SMED</i>	7
2.2.3 <i>5s</i>	8
2.2.4 <i>Standardized Work</i>	10
2.2.5 <i>Gemba Walks</i>	10
2.2.6 <i>Ciclo PDCA</i>	11
2.3 <i>Key-Performing Indicators</i>	12
3. COFICAB	13
3.1 Certificações	13
3.2 Estrutura Organizacional.....	14
3.3 Gama de Produtos.....	15
3.4 Processo Produtivo	16
3.4.1 <i>Trefilagem</i>	17
3.4.2 <i>Torção</i>	18
3.4.3 <i>Extrusão</i>	18
3.4.4 <i>Enfitamento</i>	19
3.4.5 <i>Braiding</i>	19
3.4.6 <i>Irradiação</i>	20
3.4.7 <i>Rebobinagem</i>	20

3.5	Processo de Extrusão	21
3.5.1	<i>Equipamentos da linha de extrusão</i>	21
3.5.2	Funcionamento e abastecimento da extrusora	25
3.5.3	Indicadores de performance na extrusão (<i>KPIs</i>).....	27
3.5.4	Desperdício na extrusão (<i>Scrap</i>)	28
4.	Ferramenta <i>SMED</i>	29
4.1	Situação Atual	30
4.2	Análise Crítica da Situação Atual	35
4.3	Impacto Atual no <i>Running Time</i>	36
4.4	Proposta de Melhoria	39
4.4.1	<i>Reorganização e Padronização das Atividades de Setup</i>	39
4.4.2	<i>Melhorias Complementares</i>	43
4.5	Implementação da Proposta de Melhoria	45
4.6	Seguimento Futuro.....	46
5.	Resultados	49
5.1	Procedimentos Seguintes	49
6.	Conclusão	51
	Bibliografia	53
	Anexos	55

Lista de Figuras

Figura 1 - Certificações COFICAB (Documento Interno)	14
Figura 2 - Organigrama da Empresa (Autoria Própria).....	15
Figura 3 - Gama de Produtos (Documento Interno).....	15
Figura 4 - Fluxograma do Processo Produtivo (Autoria Própria).....	16
Figura 5 - Processo de Trefilagem (Documento Interno)	17
Figura 6 - Processo de Trefilagem Multifilar (Documento Interno).....	17
Figura 7 - Processo de Torção de Capilares (Documento Interno).....	18
Figura 8 - Processo de Torção de Singles (Documento Interno).....	18
Figura 9 - Processo de Extrusão (Documento Interno)	19
Figura 10 - Processo de Taping (Documento Interno)	19
Figura 11 - Processo de Braiding (Documento Interno)	20
Figura 12 - Processo de Irradiação (Documento Interno)	20
Figura 13 - Pay-off Dinâmica (Documento Interno).....	22
Figura 14 - Pay-off Estática (Documento Interno)	22
Figura 15 - Marcador e marcação (Documento Interno)	23
Figura 16 - Sopradores (Autoria Própria)	
Figura 17 - Spark-Tester (Documento Interno)	24
Figura 18 - Afundamento e Nódulos (Documento Interno)	24
Figura 19 - Compensador (Autoria Própria)	25
Figura 20 - Extrusora (Documento Interno)	25
Figura 21 - Interior da Extrusora (Documento Interno)	27
Figura 22 - Cabeça de Extrusão (Autoria Própria)	27
Figura 23 - Scrap (Autória Própria)	
Figura 24 - Código para Organização de Dados (Autoria Própria).....	37
Figura 25 - Código para Contagem de Setups (Autoria Própria).....	38
Figura 26 - Fluxograma de Decisão para Instruções de Atividades (Autoria Própria)	43

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Lista de Atividades MC	32
Tabela 2 - Lista de Atividades MB.....	32
Tabela 3 - Lista de Atividades MS.....	32
Tabela 4 - Lista de Atividades MM.....	33
Tabela 5 - Lista de Atividades LF	34
Tabela 6 - Tabela de Tempos Registrados	35
Tabela 7 - Total de Setups	38
Tabela 8 – Peso dos Setups no RT	38
Tabela 9 - Lista de Atividades Sugeridas MB.....	40
Tabela 10 - Lista de Atividades Sugeridas MS	40
Tabela 11 - Lista de Atividades Sugeridas MM.....	41
Tabela 12 - Lista de Atividades Sugeridas LF.....	42
Tabela 13 - Periodicidade das Ações de Acompanhamento	46
Tabela 14 - Novos Tempos de Setup	49
Tabela 15 - Resultados da Aplicação do SMED.....	49

Lista de Acrónimos

5S	<i>Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke</i> (metodologia de organização <i>lean</i>)
F	Flúor
FTQ	<i>First Time Quality</i> – Qualidade à primeira
GRP	Gabinete de Relações Públicas
HMI	<i>Human-Machine Interface</i> – Interface Homem-Máquina
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> – Indicador-chave de desempenho
LF	Limpeza de Fuso
MB	Mudança de Bobine
MC	Mudança de Cor
MM	Mudança de Material
MS	Mudança de Secção
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Eficiência Global dos Equipamentos
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PVC	<i>Poli</i> (cloreto de vinilo)
PUR	Poliuretano
RT	<i>Running Time</i> – Tempo de produção contínua
SE	<i>Speed Efficiency</i> – Eficiência de velocidade
SIR	Silicone (designação interna para fios com revestimento de silicone)
SMED	<i>Single-Minute Exchange of Die</i> – Troca rápida de ferramentas
UBI	Universidade da Beira Interior

1. Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar o tema da dissertação, contextualizar o trabalho desenvolvido, definir os respetivos objetivos, descrever a metodologia de investigação adotada e apresentar a estrutura geral do documento.

1.1 Contextualização do Trabalho Desenvolvido

A crescente competitividade global e as exigências dos mercados internacionais têm impulsionado as empresas do setor automóvel a adotarem estratégias operacionais mais eficientes, sustentáveis e orientadas para a excelência. Neste contexto, práticas como o *Lean Manufacturing* e as suas ferramentas associadas têm vindo a consolidar-se como pilares fundamentais na gestão industrial, com impacto direto na melhoria da produtividade, na eliminação de desperdícios e na flexibilidade dos processos (Queiroz et al., 2025).

A indústria de componentes automóveis, em particular, tem demonstrado uma forte adesão à filosofia *lean*, impulsionada pela necessidade de responder rapidamente à variabilidade da procura, garantir elevados padrões de qualidade e reduzir os custos operacionais. A implementação de práticas *lean-green* permite às organizações não apenas melhorar o seu desempenho económico, mas também integrar preocupações ambientais nas suas estratégias produtivas, promovendo um modelo industrial mais sustentável e competitivo (Sunmola et al., 2024). Neste enquadramento, a gestão eficiente dos tempos de setup e a melhoria contínua dos processos assumem um papel determinante na capacidade de resposta das empresas às exigências da cadeia de valor automóvel.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de um estágio curricular realizado na Coficab Portugal, uma empresa multinacional dedicada à produção de fios e cabos para a indústria automóvel. O estudo incide sobre o processo de extrusão de fio elétrico, um dos elos críticos da cadeia produtiva, e explora a aplicação da metodologia *SMED* como ferramenta de otimização dos tempos de *setup*. A abordagem adotada integra também práticas complementares do *Lean Manufacturing*, como o 5S, o trabalho padronizado e a filosofia de melhoria contínua (*Kaizen*), com o objetivo de aumentar a eficiência operacional e promover uma cultura de excelência no chão de fábrica.

Desta forma, o trabalho enquadra-se nas dinâmicas atuais da indústria automóvel, contribuindo para o reforço da competitividade através da racionalização dos processos produtivos e da valorização do capital humano envolvido nas operações.

1.2 Objetivos

O presente projeto tem como finalidade analisar o funcionamento da linha de extrusão de uma unidade fabril do setor automóvel, com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria suscetíveis de potenciar a eficiência operacional. Através da aplicação de ferramentas associadas à filosofia *Lean Manufacturing*, pretende-se atuar sobre os principais fatores que condicionam o desempenho da linha, com especial enfoque na mitigação de tempos improdutivos.

Neste enquadramento, as intervenções desenvolvidas ao longo do projeto centraram-se, essencialmente, nos seguintes eixos de atuação:

- Implementação da metodologia SMED, com vista à redução dos tempos de *setup* e à consequente melhoria da disponibilidade dos equipamentos;
- Intervenção direta sobre o *running time*, indicador-chave do processo, analisando o seu impacto sobre os restantes KPIs;
- Reorganização das atividades associadas ao arranque de linha e às trocas de produto, com o intuito de minimizar o desperdício gerado;
- Redução da quantidade de sucata associada às mudanças de formato e à instabilidade típica do início do ciclo produtivo;
- Avaliação do impacto das melhorias implementadas com base na análise de dados operacionais recolhidos na própria linha de produção.

Com a concretização destas ações, perspetiva-se que a linha de extrusão possa evidenciar ganhos relevantes em termos de produtividade, estabilidade processual e eficiência na utilização dos recursos disponíveis.

1.3 Metodologia

A presente dissertação enquadra-se numa investigação de natureza aplicada, orientada para a resolução de um problema concreto identificado no setor de extrusão de uma empresa do ramo automóvel. A abordagem metodológica adotada corresponde a um estudo de caso, realizado no contexto de um estágio curricular integrado no Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, decorrente na empresa Coficab Portugal.

A investigação seguiu uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A componente qualitativa esteve assente na observação direta dos processos, na

análise documental de procedimentos internos e na realização de entrevistas informais com operadores e responsáveis de produção. Por sua vez, a componente quantitativa baseou-se na recolha e tratamento de dados operacionais, com destaque para os indicadores-chave de desempenho (KPIs) definidos pela empresa, nomeadamente o *running time*, *speed efficiency*, *first time quality* e *scrap*.

A metodologia seguiu uma lógica sequencial em três fases principais: diagnóstico da situação atual, desenvolvimento de uma proposta de melhoria, e implementação com avaliação dos resultados. A principal ferramenta aplicada foi a metodologia SMED, com o objetivo de reduzir os tempos de setup e aumentar o tempo efetivo de funcionamento da linha. Esta abordagem foi complementada por práticas de trabalho padronizado, aplicação dos princípios 5S e adoção da filosofia *Kaizen*, num enquadramento alinhado com os pressupostos do *Lean Manufacturing*.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, de forma a assegurar uma exposição lógica e coerente dos conteúdos abordados. O capítulo 1 corresponde à introdução, na qual são apresentados o enquadramento do tema, os objetivos da investigação, a metodologia seguida e a estrutura geral do documento.

No capítulo 2 é desenvolvida a revisão da literatura, com especial incidência na filosofia *Lean Manufacturing*, nas suas principais ferramentas e nos indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPIs) relevantes para a gestão e otimização de processos industriais.

O capítulo 3 é dedicado à caracterização da empresa onde decorreu o estudo, contemplando a descrição da sua estrutura organizacional, dos principais processos produtivos e, em particular, o funcionamento detalhado do setor de extrusão de fio elétrico.

No capítulo 4 procede-se à análise da situação atual da linha de extrusão, com destaque para o diagnóstico dos tempos de *setup*, a identificação das principais fontes de desperdício e a respetiva análise crítica. Com base nesta avaliação, é apresentada uma proposta de melhoria sustentada na metodologia SMED e nos princípios do trabalho padronizado.

O capítulo 5 aborda a implementação das ações de melhoria, a quantificação dos resultados alcançados e a análise do impacto das alterações introduzidas nos indicadores de desempenho previamente definidos.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as principais conclusões do trabalho, sintetizando os contributos da investigação, identificando as limitações encontradas durante o desenvolvimento do projeto e sugerindo possíveis linhas de aprofundamento para estudos futuros.

2. Enquadramento Teórico

Nesta secção é apresentada uma breve revisão da literatura que serviu como base teórica para a elaboração deste relatório.

2.1 *Lean Manufacturing*

O *Lean Manufacturing* teve origem no Japão, mais especificamente no seio da Toyota Motor Company, após a Segunda Guerra Mundial. O contexto de reconstrução nacional e a escassez de recursos financeiros, materiais e humanos impulsionaram a criação de um sistema de produção inovador. Liderado por *Taiichi Ohno*, *Eiji Toyoda* e *Kiichiro Toyoda*, o chamado *Toyota Production System* (TPS) deu origem ao que hoje é reconhecido como a filosofia *Lean* (Deshmukh et al., 2022; Kumar et al., 2022). O objetivo inicial era produzir com qualidade e eficiência, minimizando os desperdícios e maximizando o valor entregue ao cliente. A designação “*Lean*” foi introduzida mais tarde por *John Krafcik* em 1988, durante um estudo do MIT, e disseminada internacionalmente por *James Womack* e *Daniel Jones* na obra “*Lean Thinking*”, na qual se formalizaram os princípios essenciais da abordagem *lean* (Deshmukh et al., 2022).

Esta filosofia baseia-se na melhoria contínua dos processos, na eliminação sistemática de desperdícios e na geração de valor a partir da perspectiva do cliente. O foco é produzir apenas o necessário, na quantidade certa e no momento certo, utilizando o mínimo de recursos indispensáveis. Os cinco princípios fundamentais que sustentam o *Lean Manufacturing* são (Kumar et al., 2022):

- A definição clara do valor para o cliente;
- O mapeamento da cadeia de valor;
- O estabelecimento de fluxo contínuo;
- A implementação de sistemas puxados (*pull*);
- A busca pela perfeição através da melhoria contínua.

Esses princípios são operacionalizados por meio de um conjunto vasto de ferramentas e técnicas, como o *Value Stream Mapping* (VSM), o sistema 5S, o *Kanban*, o *Kaizen*, o *Just-in-Time*, o *Poka-Yoke* e o *Standardized Work*, entre outros (Kumar et al., 2022; Santos et al., 2023).

O objetivo central do *Lean* é, portanto, eliminar todos os elementos que não agregam valor ao produto ou serviço final. Entre os desperdícios (*muda*) tradicionalmente identificados por *Taiichi Ohno*, destacam-se sete categorias: superprodução, tempo de espera, transporte

desnecessário, processamento excessivo, inventário excedente, movimentos desnecessários e defeitos (Kumar et al., 2022). Estes desperdícios representam não apenas perdas econômicas, mas também entraves ao fluxo eficiente de trabalho e ao desempenho global da organização. A filosofia *Lean* propõe-se, assim, a transformar os processos produtivos em sistemas produtivos eficientes, flexíveis e resilientes, onde a eficiência operacional anda de mãos dadas com a qualidade e a satisfação do cliente (Deshmukh et al., 2022; Kumar et al., 2022; Santos et al., 2023).

A implementação de um sistema *Lean* não ocorre de forma automática ou padronizada, mas envolve etapas bem definidas. Inicialmente, é necessário realizar um diagnóstico aprofundado da situação atual da organização, com recurso ao mapeamento do fluxo de valor. Com base nesse diagnóstico, estabelecem-se metas e indicadores de desempenho alinhados com os objetivos estratégicos. A seguir, procede-se à capacitação dos colaboradores e à disseminação da cultura *Lean* em todos os níveis hierárquicos, promovendo o envolvimento ativo das equipas de trabalho. As ferramentas *Lean* são então aplicadas gradualmente, de forma estruturada e com base em dados concretos. O processo requer monitorização contínua, revisão sistemática dos resultados e disposição para ajustes sempre que necessário. Barreiras comuns à implementação incluem resistência à mudança, falta de conhecimento técnico, ausência de liderança comprometida e dificuldades de comunicação interna (Kumar et al., 2022).

Apesar desses desafios, os benefícios verificados da aplicação do *Lean Manufacturing* são amplamente documentados. Empresas que adotaram esta abordagem relataram reduções significativas em tempos de *setup*, *lead time* e inventário, bem como melhorias expressivas na qualidade, produtividade e satisfação do cliente (Kumar et al., 2022; Santos et al., 2023). Além disso, observa-se frequentemente uma maior motivação dos colaboradores, uma vez que o *Lean* promove ambientes de trabalho organizados, seguros e com participação ativa nas decisões de melhoria (Deshmukh et al., 2022).

O *Lean Manufacturing* assume-se, assim, como uma abordagem estratégica de gestão que vai além da simples aplicação de ferramentas. Trata-se de uma filosofia orientada para a melhoria contínua, a criação de valor e a eficiência dos processos produtivos. Quando devidamente implementado, o modelo *lean* contribui para o aumento da competitividade e da capacidade de resposta das organizações face aos desafios de um mercado cada vez mais dinâmico e exigente (Kumar et al., 2022; Santos et al., 2023).

2.2 Lean Tools

Neste subcapítulo, são apresentadas de forma aprofundada as principais ferramentas do *Lean Manufacturing* utilizadas ao longo do presente relatório. A seleção incide sobre métodos consagrados na literatura e amplamente aplicados na prática industrial, nomeadamente o SMED, o 5S, o *Standard Work*, o *Kaizen*, o *Gemba Walk* e o ciclo PDCA.

2.2.1 Kaizen

A filosofia *Kaizen*, termo japonês que significa “melhoria contínua”, refere-se a uma abordagem sistemática e gradual de aperfeiçoamento dos processos organizacionais, através da eliminação de desperdícios e da resolução estruturada de problemas. Esta filosofia, integrada no contexto do *Lean Manufacturing*, propõe a realização de pequenas melhorias constantes, em vez de mudanças radicais, com o envolvimento ativo de todos os colaboradores, independentemente da sua função ou hierarquia (Reza et al., 2025)

A aplicação do *Kaizen* promove uma cultura organizacional orientada para a disciplina, a participação e a aprendizagem contínua, incentivando equipas interdisciplinares a colaborar na otimização dos processos e na redução das variações. Neste sentido, a melhoria contínua assume-se como um elemento essencial para sustentar o desempenho operacional, reforçar a competitividade e responder de forma ágil às exigências de mercados cada vez mais dinâmicos (Reza et al., 2025).

2.2.2 SMED

O SMED (*Single Minute Exchange of Die*) é uma metodologia desenvolvida no âmbito do *Lean Manufacturing*, concebida com o propósito de reduzir significativamente os tempos de *setup* dos equipamentos industriais, tornando os processos produtivos mais flexíveis, eficientes e responsivos à variabilidade da procura (Godina et al., 2018). A sua designação refere-se ao objetivo de efetuar trocas de ferramentas em menos de dez minutos — daí a expressão “*single minute*” (Godina et al., 2018; Shingo, 1985).

A origem da metodologia remonta aos trabalhos de Shigeo Shingo, engenheiro industrial japonês, que durante a sua colaboração com a Toyota nos anos 1950 e 60, sistematizou um conjunto de técnicas que permitiam realizar trocas rápidas de moldes e ferramentas em linhas de produção. O foco inicial estava na indústria automóvel, mas a sua aplicabilidade expandiu-se rapidamente a diversos setores industriais (Shingo, 1985). De acordo com Godina et al. (2018), a metodologia SMED pode ser traduzida como “troca rápida de

ferramenta”, consistindo num processo estruturado que visa minimizar o tempo de inatividade causado por mudanças de produção.

O *SMED* assenta num processo evolutivo, estruturado em cinco etapas fundamentais (Godina et al., 2018):

- Observação e registo detalhado da operação de *setup* tal como é executada atualmente;
- Separação entre tarefas internas e externas – onde tarefas internas são aquelas que só podem ser realizadas com a máquina parada, e externas as que podem ser executadas com a máquina em funcionamento;
- Conversão de tarefas internas em externas, sempre que tecnicamente viável;
- Racionalização e simplificação das tarefas remanescentes;
- Documentação padronizada dos procedimentos, para garantir reprodutibilidade e melhoria contínua.

O principal objetivo do *SMED* é reduzir o tempo de *setup* sem comprometer a qualidade e a segurança, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e possibilitando uma produção mais flexível e adaptada a lotes pequenos e personalizados. Em ambientes industriais cada vez mais dinâmicos e exigentes, a frequência das trocas de formato tem vindo a aumentar, tornando a sua eficiência um fator crítico de competitividade (Godina et al., 2018).

Entre as vantagens mais relevantes da implementação do *SMED*, destacam-se (Godina et al., 2018):

- Redução significativa do tempo de paragem dos equipamentos;
- Aumento da flexibilidade operacional, permitindo responder com agilidade a diferentes ordens de produção;
- Diminuição do inventário e dos lotes de produção, promovendo fluxos mais enxutos;
- Melhoria da produtividade e da eficiência global do equipamento (OEE);
- Envolvimento e capacitação dos operadores, que participam ativamente na melhoria do processo.

Importa ainda salientar que a eficácia do *SMED* depende fortemente do envolvimento dos operadores e equipas de produção, sendo recomendável a sua participação ativa desde a seleção do equipamento-alvo até à implementação das melhorias identificadas. A abordagem colaborativa facilita não só a adoção da metodologia, mas também a consolidação das boas práticas no ambiente de trabalho (Godina et al., 2018)

2.2.3 5s

A metodologia *5S* é um pilar essencial do *Lean Manufacturing*, cuja aplicação visa a eliminação de desperdícios, a melhoria da organização e a criação de um ambiente de trabalho

mais eficiente, limpo e seguro. Esta ferramenta tem origem no Japão, sendo inicialmente desenvolvida por *Hiroiyuki Hirano*, e baseia-se em cinco princípios que começam com a letra “S” na língua japonesa: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke* (Senthil Kumar et al., 2022; Shahriar et al., 2022)

O principal objetivo do 5S é criar um ambiente de trabalho organizado, padronizado e visualmente controlado, onde os fluxos de trabalho são simplificados, os tempos de procura são reduzidos e as condições de segurança e ergonomia são otimizadas. Além disso, promove a disciplina operacional e reforça a motivação das equipas, elementos essenciais para a competitividade industrial (Senthil Kumar et al., 2022).

As cinco etapas do 5S, tal como descritas nos estudos analisados, são (Shahriar et al., 2022):

- *Seiri* (senso de utilização) – Separar os materiais e equipamentos necessários dos desnecessários, removendo do local de trabalho tudo o que não é útil ou frequentemente utilizado.
- *Seiton* (senso de arrumação) – Organizar de forma funcional os materiais e ferramentas, atribuindo locais definidos e acessíveis, de modo a facilitar a execução das tarefas.
- *Seiso* (senso de limpeza) – Manter o local de trabalho limpo, promovendo a deteção precoce de falhas ou sujidades anómalas e prevenindo a degradação dos equipamentos.
- *Seiketsu* (senso de padronização) – Estabelecer normas visuais e procedimentos consistentes que assegurem a continuidade e estabilidade das práticas associadas aos três primeiros S.
- *Shitsuke* (senso de autodisciplina) – Desenvolver hábitos de cumprimento das regras estabelecidas, cultivando uma cultura de responsabilidade e melhoria contínua.

A aplicação do 5S na indústria mostra resultados como redução dos tempos de *setup* e de ciclo, bem como na eliminação de movimentos desnecessários e aumento da produtividade (Shahriar et al., 2022). Noutros exemplos é possível observar também que a aplicação do 5S promove melhorias significativas na organização do espaço e na eficiência global do processo, servindo ainda como base para a aplicação de outras ferramentas *Lean* (Senthil Kumar et al., 2022).

Entre as principais vantagens da implementação do 5S, destacam-se (Senthil Kumar et al., 2022; Shahriar et al., 2022):

- Eliminação de desperdícios associados ao tempo, movimento e espaço;

- Aumento da produtividade e da eficiência operacional;
- Melhoria das condições de trabalho e da segurança;
- Redução de erros operacionais e melhoria da qualidade dos produtos;
- Consolidação de uma cultura organizacional orientada para a melhoria contínua.

A eficácia do 5S depende fortemente do envolvimento ativo dos colaboradores e da liderança por parte da gestão, sendo recomendável a implementação de auditorias regulares, formações internas e sistemas de incentivo que assegurem a continuidade das boas práticas e o enraizamento cultural da metodologia na organização (Shahriar et al., 2022).

2.2.4 Standardized Work

O trabalho padronizado é uma ferramenta essencial do *Lean Manufacturing*, com o propósito de definir a melhor sequência de tarefas a realizar, de forma consistente, eficiente e repetível. Ao estabelecer métodos operacionais claros, reduz-se a variabilidade, facilitando a detecção de desperdícios e promovendo melhorias sustentadas (Claudio et al., 2021; Gonçalves et al., 2025).

No contexto do *Toyota Production System*, o trabalho padronizado assenta em documentos técnicos como folhas de medição de tempos, gráficos de equilíbrio de linha e tabelas de combinação de tarefas. Estes instrumentos permitem analisar os tempos de execução, identificar desequilíbrios e apoiar o treino de operadores, promovendo estabilidade operacional (Gonçalves et al., 2025).

A aplicação do trabalho padronizado contribui também para a melhoria da previsibilidade dos processos e permite ajustá-los de acordo com os recursos disponíveis, assegurando simultaneamente a consistência na execução das tarefas. Esta abordagem fornece uma base sólida para a integração de outras ferramentas do *Lean Manufacturing* (Claudio et al., 2021).

2.2.5 Gemba Walks

O conceito de *Gemba* refere-se ao “local real” onde o trabalho acontece — isto é, o espaço físico da produção onde os produtos são desenvolvidos e os processos ocorrem. Esta ferramenta, originada no seio do *Lean Manufacturing*, promove a observação direta do processo no terreno, permitindo uma compreensão concreta das operações, dos tempos de ciclo, das esperas, dos inventários e dos retrabalhos. Ao visitar regularmente o *Gemba*, os

responsáveis operacionais obtêm informações valiosas sobre a realidade do chão de fábrica, facilitando a identificação de problemas e oportunidades de melhoria com base em dados observáveis e não em suposições ou relatórios indiretos (Santos et al., 2023).

2.2.6 Ciclo PDCA

O ciclo *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*) é uma metodologia concebida para promover a melhoria contínua dos processos organizacionais. A sua origem remonta à década de 1930, tendo sido inicialmente desenvolvido por Walter A. Shewhart, sendo mais tarde amplamente divulgado por W. Edwards Deming nos anos 1950, motivo pelo qual também é conhecido como *Ciclo de Deming*. Embora tenha sido inicialmente aplicado ao controlo da qualidade de produtos, o seu uso estendeu-se à gestão de processos e sistemas, com enfoque na eficiência, na padronização e na resolução estruturada de problemas (Silva et al., 2017).

O método é constituído por quatro fases cíclicas, que se interligam e se repetem continuamente (Silva et al., 2017):

- *Planear (Plan)* – Esta fase consiste na identificação de oportunidades de melhoria e na definição dos objetivos e metas a atingir. Através da análise das causas dos problemas, são planeadas ações corretivas ou preventivas baseadas em dados concretos e em metodologias de análise sistemática.
- *Executar (Do)* – Após o planeamento, procede-se à implementação das ações definidas. Esta etapa envolve a aplicação prática das melhorias propostas e o registo de todas as alterações efetuadas, permitindo a monitorização do processo e a aprendizagem com os resultados obtidos.
- *Verificar (Check)* – Nesta fase, avalia-se o impacto das ações executadas, comparando os resultados atuais com os valores de referência estabelecidos na fase de planeamento. A verificação permite validar a eficácia das intervenções e identificar eventuais desvios que carecem de nova análise.
- *Agir (Act)* – Com base na verificação anterior, são adotadas medidas para padronizar as melhorias bem-sucedidas e corrigir eventuais falhas. Caso os objetivos não tenham sido alcançados, o ciclo recomeça, promovendo uma abordagem iterativa de melhoria contínua.

Entre as principais vantagens do ciclo *PDCA*, destaca-se a sua aplicabilidade em diferentes contextos industriais, a estruturação clara das etapas de melhoria, e a integração com outras ferramentas da qualidade. A utilização do *PDCA* fomenta uma cultura organizacional

orientada para a análise sistemática e sustentada do desempenho, com ganhos na produtividade, na redução de desperdícios e na melhoria da eficiência operacional (Silva et al., 2017)

2.3 Key-Performing Indicators

Os indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPIs) são instrumentos fundamentais para a monitorização e gestão eficaz das operações nas organizações industriais. Através da medição sistemática de variáveis críticas, os KPIs permitem avaliar em que medida os objetivos estratégicos e operacionais estão a ser alcançados, promovendo a tomada de decisão informada e baseada em evidência (Hwang et al., 2020).

Segundo os autores, a medição do desempenho não deve limitar-se a indicadores financeiros, já que estes não refletem de forma adequada a complexidade das operações nem os fatores que determinam a competitividade a longo prazo. Torna-se, assim, necessário adotar uma abordagem abrangente, que integre indicadores financeiros e não financeiros, de modo a capturar múltiplas dimensões da performance organizacional. A medição eficaz do desempenho deve incluir aspetos como qualidade, flexibilidade, eficiência dos processos, utilização de recursos, envolvimento humano e capacidade de melhoria contínua (Hwang et al., 2020).

A seleção dos *KPIs* deve obedecer a critérios rigorosos, considerando tanto os objetivos estratégicos da organização como a sua realidade operacional. Um bom sistema de medição deve ser coerente, relevante e equilibrado, assegurando que os indicadores escolhidos fornecem uma visão clara e útil para os diferentes níveis hierárquicos da empresa. A definição dos *KPIs* deve envolver os vários intervenientes da organização e ter em conta as interdependências entre os processos, de modo a garantir a consistência e a utilidade da informação gerada (Hwang et al., 2020).

Além de funcionarem como instrumento de controlo, os *KPIs* desempenham um papel essencial na melhoria contínua, pois tornam visíveis os desvios face aos objetivos e ajudam a identificar as causas dos problemas. Quando corretamente definidos, os indicadores permitem alinhar a estratégia da organização com a execução diária no chão de fábrica, reforçando a transparência, a responsabilização e o foco na excelência operacional (Hwang et al., 2020).

3. COFICAB

A COFICAB PORTUGAL – Companhia de Fios e Cabos, Lda, integra o ELLOUMI GROUP desde 1993, é uma empresa que desenha, desenvolve e fabrica fios e cabos elétricos para a indústria automóvel e energética e é sediada no Vale da Estrela, no distrito da Guarda.

Ao longo de três décadas, a COFICAB evoluiu de uma empresa desconhecida no setor automóvel para uma liderança mundial na produção de fios e cabos elétricos, consolidando sua presença em 13 países. Sua origem remonta a 1992, na Tunísia, com a criação de uma *joint venture* denominada Electric Cables, estabelecida entre a COFAT e a Delphi. Essa parceria surgiu para atender a uma procura do mercado identificada por ambas as empresas e, no ano seguinte, expandiu-se para Portugal, resultando na fundação da COFICAB Portugal (COFPT).

A escolha da cidade da Guarda para a implantação da COFPT foi motivada por diversos fatores, incluindo o crescimento da atividade de cablagens na Península Ibérica, a disponibilidade de espaço físico na unidade da Delphi na região, que contava com mais de 3000 funcionários, e o encerramento da Reinshagen, uma empresa do Grupo Packard Electric sediada na Alemanha, que atuava na produção de fios. Toda a maquinaria dessa empresa foi transferida para a COFPT, viabilizando o início da produção.

Com a ampliação da carteira de clientes e o conseqüente aumento da ordem de produção, tornou-se necessário expandir as instalações. Assim, em 2003, a COFPT transferiu suas operações para Vale de Estrela, local onde, atualmente, se encontram quatro naves de produção e um *Center of Excellence (CoE)*.

Em 2020, a COFICAB inaugurou sua segunda unidade industrial em Portugal, a COFGR. Esta unidade foi projetada especificamente para o desenvolvimento de cabos de dados, (de baixa e alta frequência superiores a 10 Gigabytes), para a indústria automóvel, medicinal, entre outras, incorporando tecnologias alinhadas aos conceitos da Indústria 4.0.

3.1 Certificações

De modo a assegurar a sua posição no mercado e cumprir as suas políticas empresariais, a COFPT obteve algumas certificações.



Figura 1 - Certificações COFICAB (Documento Interno)

Para assegurar a qualidade a COFICAB possui as certificações ISO 9001:2015 e IATF 16949:2016, a primeira obriga que as empresas documentem todos os procedimentos realizados garantindo assim que os processos estão padronizados e a qualidade mantida, a segunda é uma certificação obrigatória para as empresas do setor automóvel.

Relativamente à higiene, segurança e ambiente a empresa é certificada pelas normas ISO 14001:2015 e EMAS. Normas estas que garantem a segurança e saúde dos trabalhadores e estabelecem propósitos para um compromisso de melhorar a sustentabilidade.

Por último, possui também a certificação pela norma Portuguesa NP EN ISO/IEC 17025:2018 para o Sistema de Gestão de Laboratório.

3.2 Estrutura Organizacional

A COFPT é composta por treze departamentos, cada um sob a direção de um chefe que se reporta diretamente ao *PM*. Este reporta-se ao gerente da *Corporate*. A *Corporate* não se trata de um departamento, mas sim da entidade encarregada da regulamentação e administração de todas as unidades do grupo COFICAB.

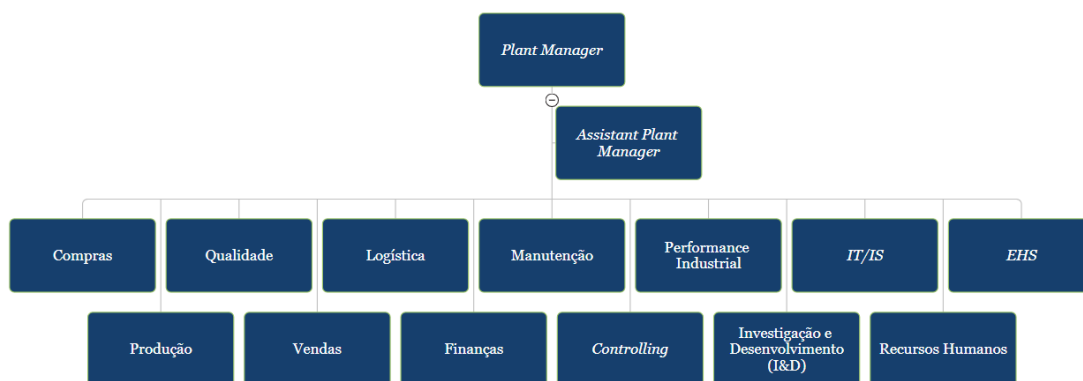


Figura 2 - Organigrama da Empresa (Autoria Própria)

3.3 Gama de Produtos

A COFICAB é a principal produtora mundial de fios para a indústria automóvel e, sendo uma indústria onde existem diversas aplicações para fios elétricos, como fios para luzes de travões, ou fios para funcionamento de *infotainment*, a empresa tem um portfólio enorme de produção, ainda mais com o aumento dos meios de transporte elétricos.

No entanto, para consolidar a sua posição no mercado e não depender economicamente das flutuações num setor do mercado, a companhia já produz também fios para robôs industriais, aparelhos do ramo da saúde e energias renováveis.

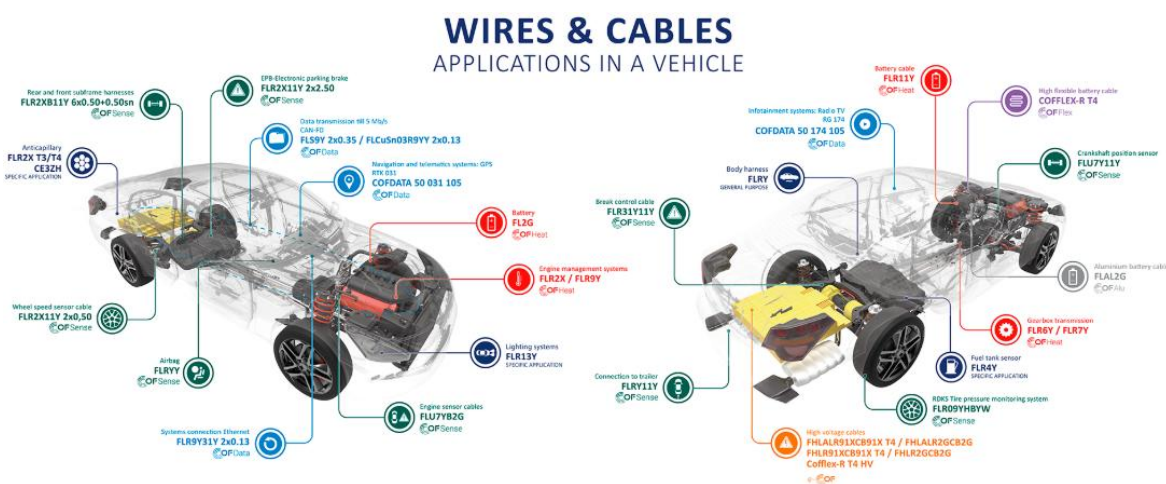


Figura 3 - Gama de Produtos (Documento Interno)

3.4 Processo Produtivo

A obtenção do produto final, desde a matéria-prima, engloba essencialmente entre 3 a 5 processos diferentes que em sequência e combinados produzem toda a gama de produtos da empresa. Nesta secção serão abordados os processos individualmente.

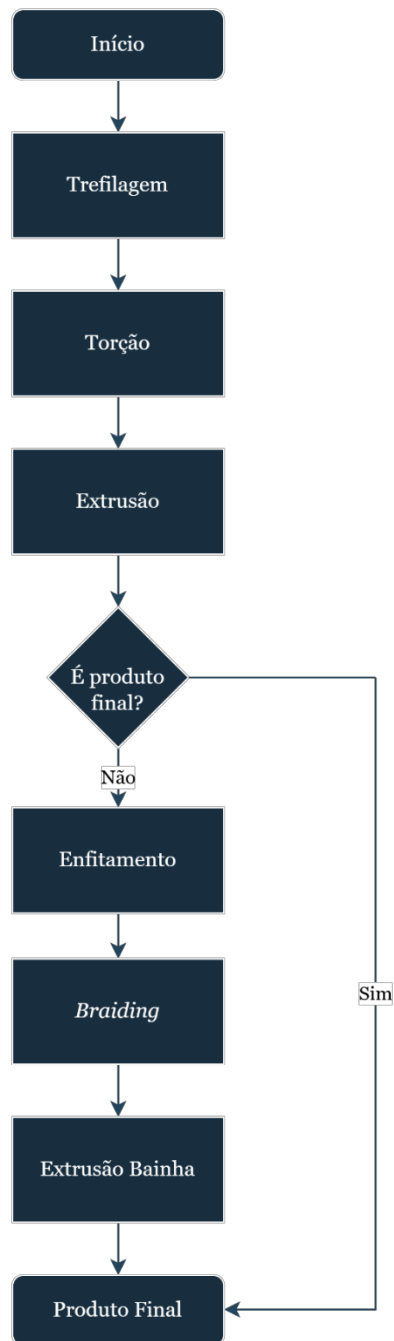


Figura 4 - Fluxograma do Processo Produtivo (Autoria Própria)

3.4.1 Trefilagem

A matéria-prima é rececionada na fábrica em rolos de cobre com cerca de 5 toneladas cada, em que o fio tem um diâmetro de 8mm.

O primeiro processo passa então por fazer passar esse cobre por um conjunto de feiras que vão reduzindo sucessivamente o seu diâmetro até 1,80mm. No final do processo é guardado em cestos específicos com cerca de 800kg cada.

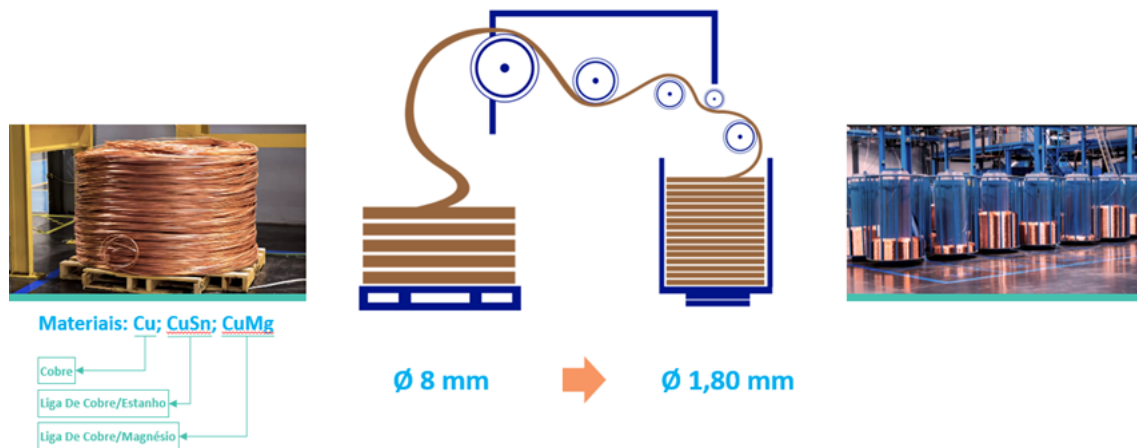


Figura 5 - Processo de Trefilagem (Documento Interno)

O segundo momento de trefilagem já é multifilar, ou seja, é realizado com vários fios, denominados de capilares, ao mesmo tempo, sendo a secção final destes definida conforme as características do produto final a que vai dar origem (varia entre 0.44mm e 0.08mm). Durante este processo, circula no interior da máquina uma emulsão de trefilagem (água e óleo) que lubrifica o fio e elimina resíduos que possam se acumular nas feiras. Antes de serem recolhidos em bobines, os fios passam por um processo de recozimento para restabelecerem as suas propriedades físicas e elétricas.

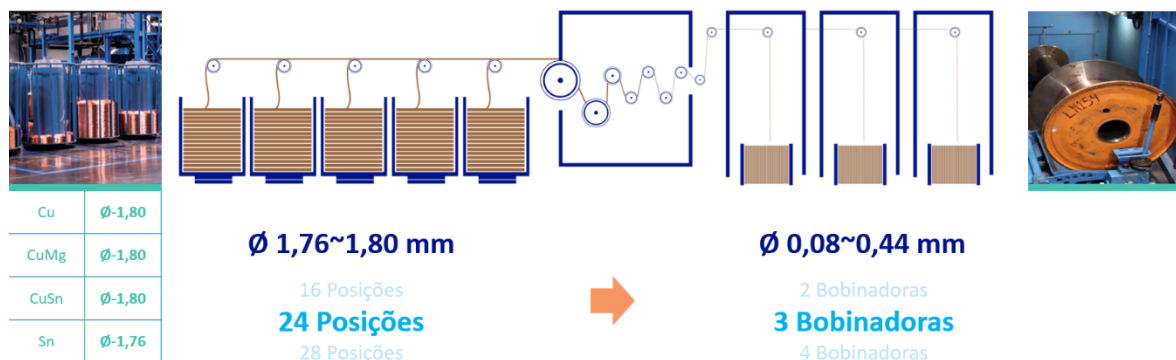


Figura 6 - Processo de Trefilagem Multifilar (Documento Interno)

3.4.2 Torção

À semelhança da trefilagem, podemos ter também dois processos de torção, dependendo do produto final. O primeiro momento de torção recebe as bobinas do processo de trefilagem e torce os vários fios de cobre (capilares) uns nos outros, de modo a aumentar propriedades mecânicas do fio.

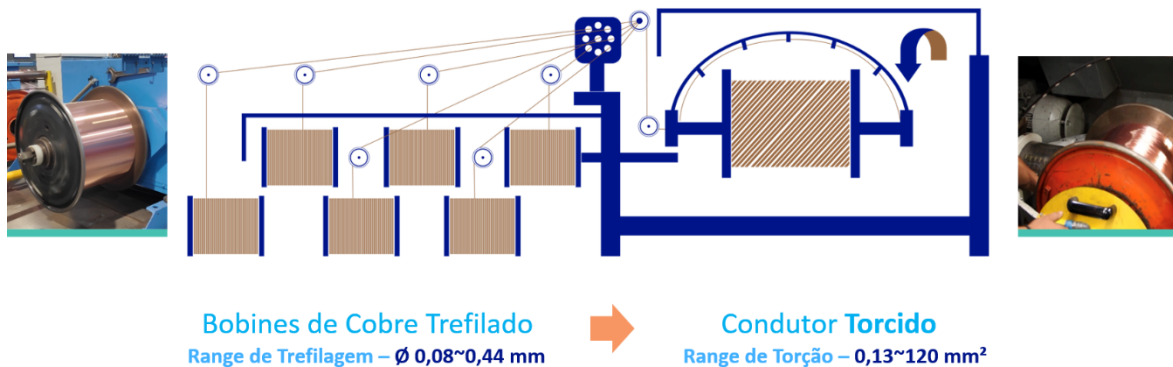


Figura 7 - Processo de Torção de Capilares (Documento Interno)

O segundo processo de torção acontece depois da extrusão em que vários *singles*, (uma secção de cobre com uma camada de extrusão), são torcidos entre si para depois levarem uma segunda camada de extrusão a englobar todos os *singles*.

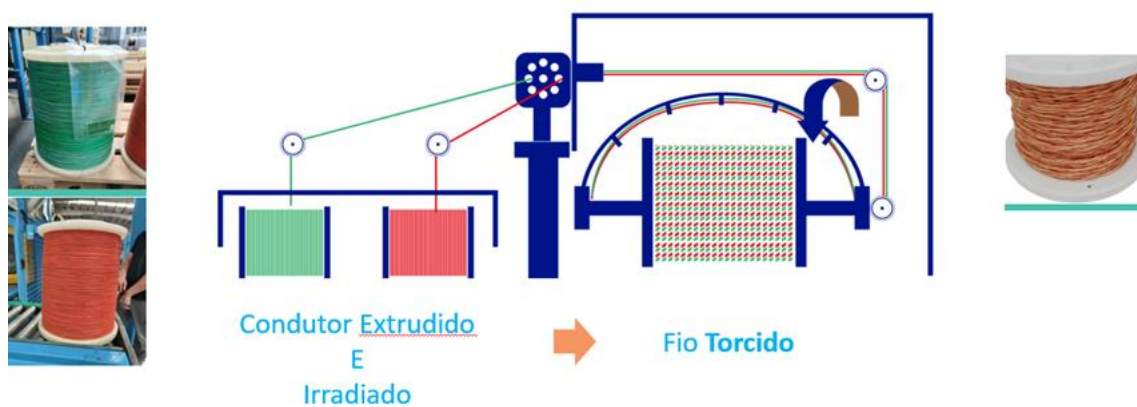


Figura 8 - Processo de Torção de Singles (Documento Interno)

3.4.3 Extrusão

Neste processo é feito o revestimento dos fios de cobre com diferentes materiais (Polipropileno - PP, Poli-(cloreto de vinilo) - PVC, Polietileno - PE, Flúor - F, Poliuretano -PUR ou Silicone - SIR) de forma a isolar e proteger o cobre, dependendo das condições de aplicação do fio. A extrusão destes materiais de revestimento pode ser feita diretamente nos fios de cobre, para produzir singles, ou pode ser feita uma extrusão para um conjunto de *singles*

torcidos ao que se dá o nome de bainha. No final deste processo, o fio é bobinado para um tromel.

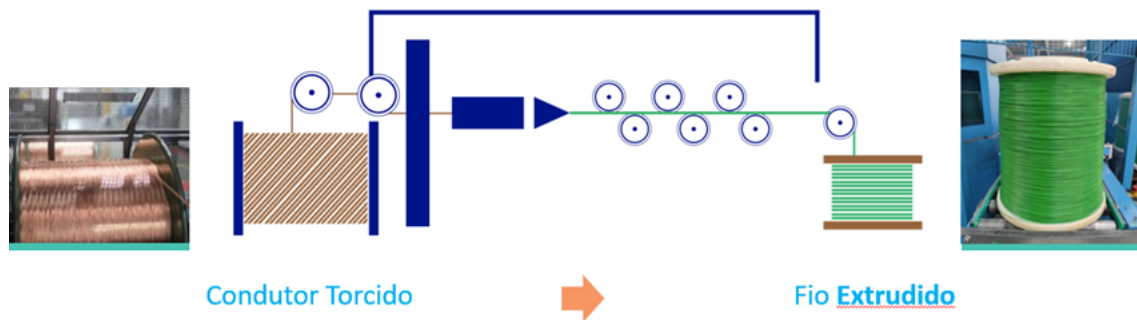


Figura 9 - Processo de Extrusão (Documento Interno)

3.4.4 Enfitamento

Neste processo, como o nome indica, é feito um revestimento do fio com uma fita. Isto serve para, dependendo do material da fita, proteger o fio contra interferências eletromagnéticas, para proteção do revestimento ou para diminuir a aderência entre o isolante e o condutor.

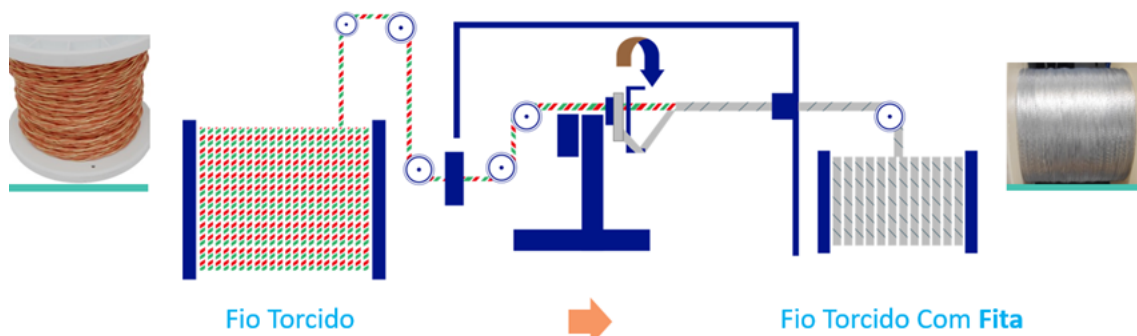


Figura 10 - Processo de Taping (Documento Interno)

3.4.5 Braiding

No processo de *braiding* é colocada uma malha de condutor em estanho ou cobre que, assim como no enfitamento, serve para melhorar a resistência do fio.

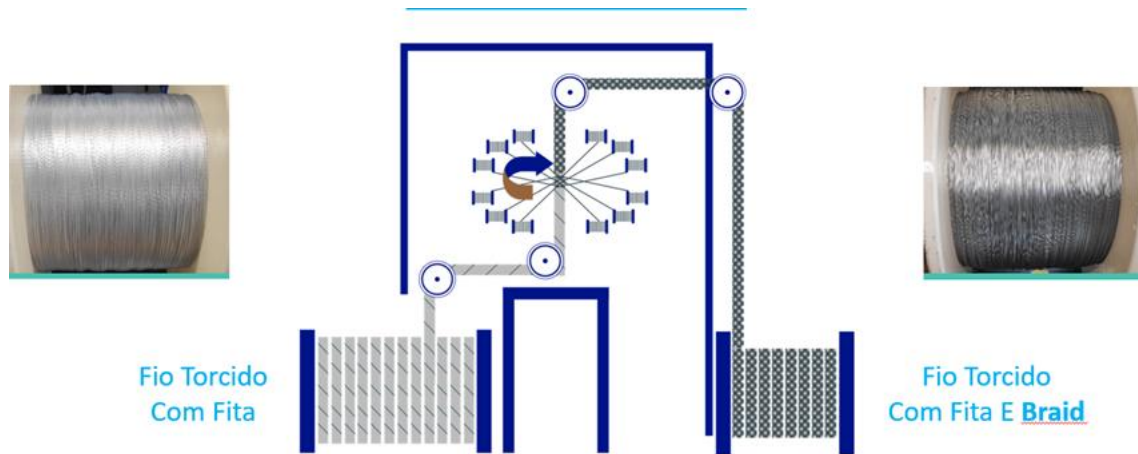


Figura 11 - Processo de Braiding (Documento Interno)

3.4.6 Irradiação

Este processo aplica-se apenas aos fios com revestimento XLPE e é utilizado para reticular os polímeros desse material, aumentando assim o peso molecular e melhorando as propriedades mecânicas e a resistência a altas temperaturas.

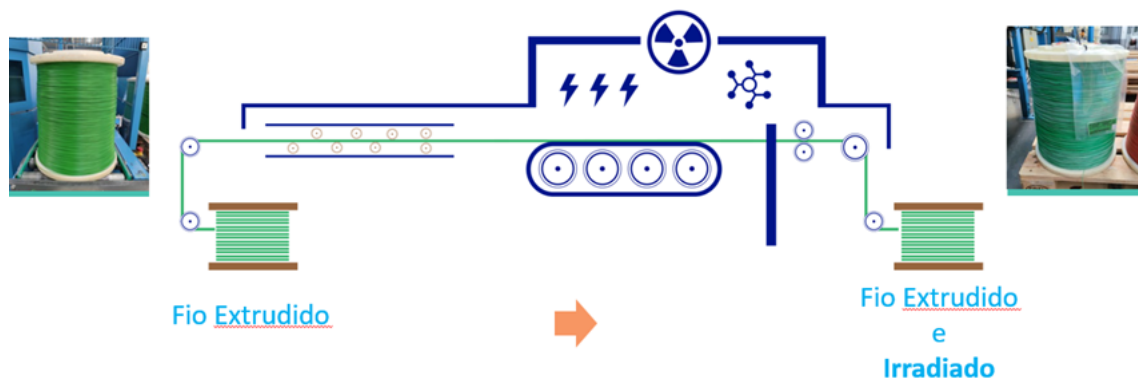


Figura 12 - Processo de Irradiação (Documento Interno)

3.4.7 Rebobinagem

A rebobinagem é uma etapa complementar na fabricação de fio, uma vez que este não é um procedimento que modifique as propriedades físicas ou mecânicas do fio elétrico.

Este procedimento, como o nome sugere, é utilizado para rebobinar fios derivados da extrusão ou irradiação que apresentem falhas, como discrepâncias de diâmetro, nódulos ou imperfeições no isolamento que são detetadas no final desses processos através de equipamentos de controle. As rebobinadoras possuem então os mesmos equipamentos, mas no início do processo, de modo a identificar logo onde estão os erros e parando a máquina de

forma automática. Dessa forma o operador pode retirar a secção de fio com as falhas detetadas e aproveitar todo o fio que esteja conforme.

3.5 Processo de Extrusão

Como referido anteriormente, o processo de extrusão é o processo de revestimento do cobre com um material protetor. Este procedimento é realizado de forma automática pelas máquinas que formam a linha de extrusão, sendo apenas necessário do operador que controle os parâmetros e avisos que a máquina consegue transmitir ao operador através dos vários dispositivos de controlo dispostos ao longo da linha.

O processo de extrusão começa com o produto final do processo anterior, a bobine de cobre torcido, e é abastecido de duas matérias-primas, o granulado neutro, que depende da referência a produzir e pode ser uma das seguintes bases poliméricas, PP, PVC, PE, PUR ou F, e é abastecido também de *masterbatch* colorido que nada mais é que um granulado colorido para dar cor a todo o revestimento. Este *masterbatch* é vulgarmente designado por "colorizante" no contexto interno da fábrica, sendo esta a terminologia adotada pelos operadores e técnicos nas operações do dia a dia.

Importa destacar que o silicone é abastecido de maneira diferente. Este material é adquirido em caixas com uma tira de silicone já colorizada, o que faz com que as linhas de extrusão de SIR tenham características um pouco diferentes das descritas nas próximas secções.

3.5.1 Equipamentos da linha de extrusão

Nesta secção serão então explicados os vários equipamentos que compõem a linha de extrusão, além da própria extrusora, para uma melhor compreensão do processo estudado.

Pay-off: No início da linha de extrusão as *pay-offs* são os equipamentos que suportam as bobines de cobre torcido e, conforme a secção do fio a ser utilizado as *pay-offs* podem ser de dois tipos:

-*Pay-off* dinâmica: trabalha com suporte de um motor que, em sincronismo com a velocidade da linha, ajuda a desenrolar o condutor para manter a tensão desejada no mesmo, o que faz com que seja este mecanismo o responsável por desbobinar o fio e alimentar a linha de extrusão.



Figura 13 - Pay-off Dinâmica (Documento Interno)

-*Pay-off* estática: onde a bobine de cobre é posta transversalmente à linha de extrusão e o fio é puxado à medida que vai passando na linha de extrusão, passando por um tensionador externo para manter a tensão desejada.

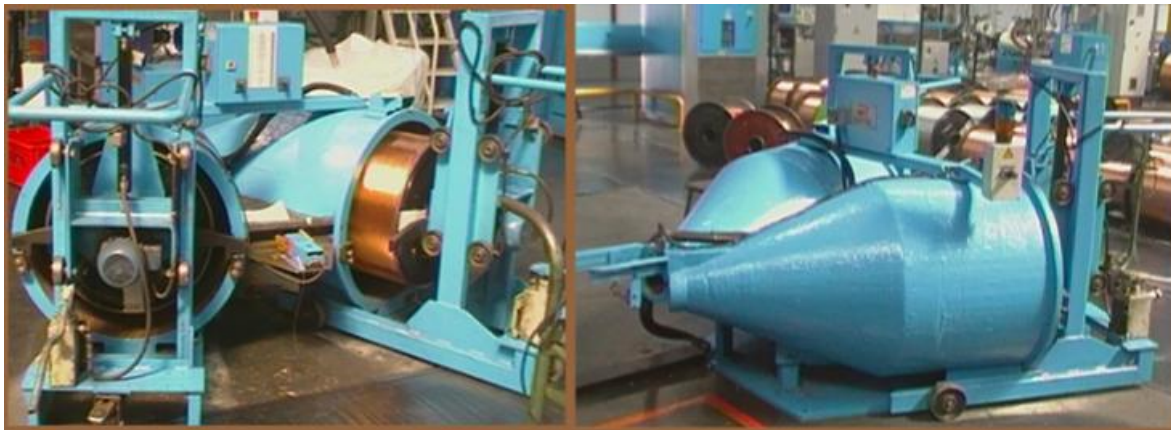


Figura 14 - Pay-off Estática (Documento Interno)

Extrusora: A extrusora é o equipamento principal deste processo. É onde o granulado neutro e colorido são derretidos e, por meio de um fuso, são forçados a passar por uma fieira, que dá ao material uma forma circular, retangular, oval, (...), dependendo da aplicação, e assim revestir o fio.

Câmara de diâmetros a quente: Depois de passar na cabeça de extrusão o fio já revestido e ainda quente, passa por uma câmara de diâmetros que serve de controlo à velocidade angular do fuso, de modo a manter o débito de material pela extrusora.

Marcador: Este equipamento serve para marcar no fio todas as informações associadas aquele produto, de modo a ser identificado pelo cliente no momento de aplicação.



Figura 15 - Marcador e marcação (Documento Interno)

Caleira: Antes de passar neste equipamento o fio encontra-se a altas temperaturas, pelo que é impossível ser logo bobinado. Por isso o fio passa nas caleiras, onde é mergulhado em água fria para terminar o arrefecimento e assim solidificar o revestimento.

Dependendo do material usado no revestimento, o fio pode ter que passar previamente numa pré-caleira, que nada mais é que uma caleira de água quente, de modo que o choque térmico não afete as propriedades desse material.

Sopradores: No final da passagem pela caleira o fio encontra-se molhado, o que não é conveniente por duas razões: o fio deve ser bobinado seco e, a água presente no fio pode ser responsável por erros falsos lidos na camara de nódulos e afundamentos, descrita em seguida. Para resolver isso, os sopradores na linha sopram ar contra o fio que está a ser bobinado.



Figura 16 - Sopradores (Autoria Própria)

Spark-tester: Este equipamento aplica uma tensão elétrica no fio para assim detetar se o revestimento tem falhas. Este teste é essencial para o controle de qualidade do fio produzido, pelo que quando detetada uma falha no revestimento o fio é enviado para o processo de rebobinagem e posteriormente segregado para ser sucateado.



Figura 17 - Spark-Tester (Documento Interno)

Câmara de nódulos e afundamentos: O fio passa paralelamente a esta câmara que deteta e mede a presença de nódulos e afundamentos no revestimento do fio. No entanto há um intervalo aceitável para essas irregularidades, pelo que só quando existe um caso desse intervalo não ser respeitado é que a câmara manda um aviso para o sistema. Um aviso deste tipo obriga a paragem da linha e limpeza da extrusora.

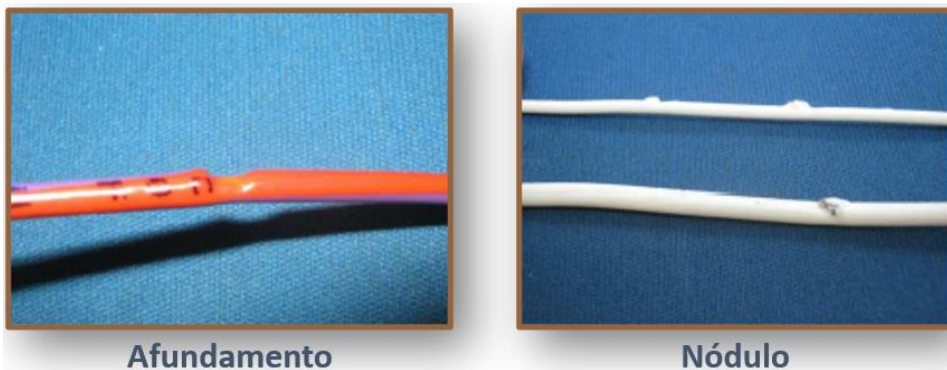


Figura 18 - Afundamento e Nódulos (Documento Interno)

Câmara de diâmetro a frio: Esta câmara funciona da mesma maneira que a câmara de diâmetro a quente, mas está posicionada no final da linha onde o fio já está arrefecido.

Compensadores: Os compensadores podem se encontrar em várias fases da linha e têm como função regular a tensão à qual o fio está sujeito ao longo da linha.



Figura 19 - Compensador (Autoria Própria)

Bobinadora: No final da linha de extrusão o fio produzido é bobinado de forma a facilitar o seu acondicionamento e transporte. Daqui, a bobine pode seguir para outro processo subsequente dentro da fábrica, ou para expedição no caso de ser o produto final.

3.5.2 Funcionamento e abastecimento da extrusora

A extrusora é o equipamento central na linha de extrusão, sendo fundamental compreender os princípios do seu funcionamento para a correta interpretação dos conceitos abordados ao longo deste relatório. Este equipamento é constituído por quatro partes essenciais: as tremonhas, a torre, o canal de extrusão e a cabeça de extrusão.

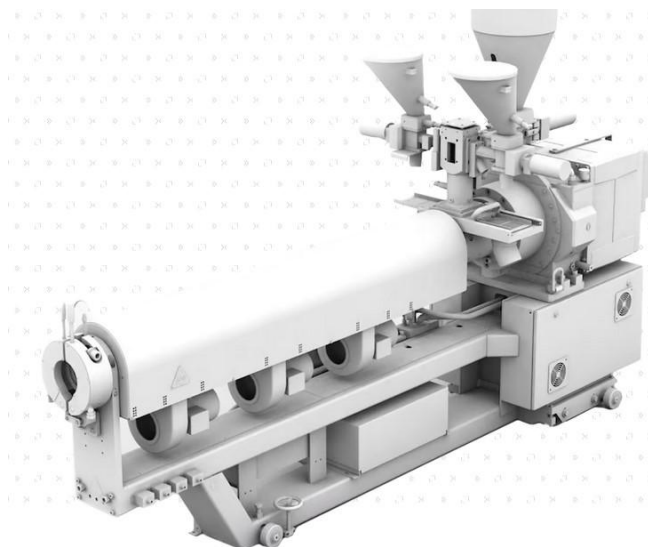


Figura 20 - Extrusora (Documento Interno)

Na linha 1 de extrusão, existem duas extrusoras com funções distintas. A extrusora principal, sendo a mais potente, possui um maior débito de material. Já a extrusora secundária, de menor dimensão, entra em ação para produzir fio que tem especificação 2 cores distintas “cor base e filete”.

As tremonhas têm a função de armazenar e alimentar o material polimérico de base que vai revestir o fio, necessário para a extrusão. A linha 1 de extrusão dispõe de seis tremonhas, distribuídas equitativamente entre as duas extrusoras. Em cada conjunto de três, uma tremonha é dedicada ao material neutro, enquanto as outras duas são reservadas para granulado colorido. A utilização de duas tremonhas para os colorantes permite otimizar a troca de cor entre produções, pois a nova tonalidade fica previamente preparada. Dessa forma, a alteração pode ser realizada apenas através da interface HMI (*Human Machine Interface*), sem necessidade de interrupções prolongadas no processo.

Na linha 1 o material neutro a abastecer nas tremonhas pode ser PVC ou PE, sendo que os *masterbatches* coloridos devem ser apropriados ao material neutro que está a ser usado.

O PVC é adquirido em *big-bags*, que são dispostos numa área definida para tal, perto da extrusora principal, ou em silos de ± 24 Ton, e abastecem a tremonha a partir de uma mangueira que está ligada a um sistema de aspiração central.

O PE também é adquirido em *big-bags*, no entanto este tipo de material tem de passar nos secadores por ser hidrofílico, entre 4-8h, antes de ser abastecido nas tremonhas. Todo este processo é feito de forma automática perto da linha de extrusão.

Os granulados de cor estão reservados em recipientes ao lado da linha e, cada vez que são necessários, o operador deve deslocar-se aos recipientes, encher um balde com a cor necessária e depois abastecer a tremonha com esse material.

A torre, posicionada logo abaixo das tremonhas, é onde ocorre a mistura entre o material neutro e os colorantes. A dosagem é definida pela receita de produção, garantindo que os grânulos sejam combinados corretamente antes de avançarem para a extrusão.

A matéria-prima passa a seguir para o canal de extrusão, onde o material é submetido a aquecimento até atingir a temperatura ideal para obter a fluidez necessária. No interior desse canal, um fuso em rotação impulsiona o material ao longo do percurso, garantindo

um fluxo contínuo até alcançar a cabeça de extrusão, onde material já se encontra com a viscosidade adequada para ser processado.

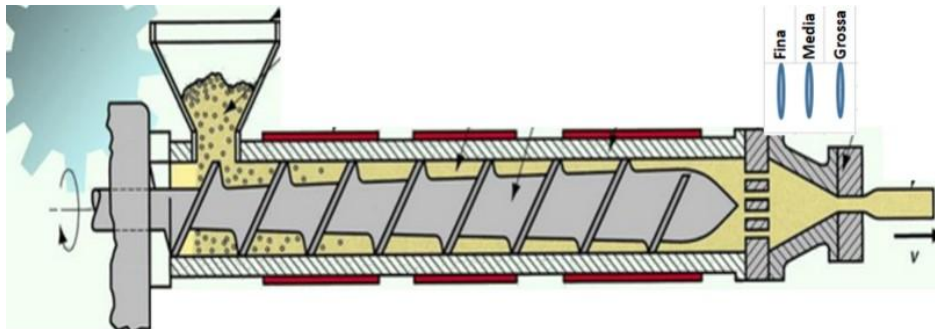


Figura 21 - Interior da Extrusora (Documento Interno)

É na cabeça de extrusão que ocorre a união com o cobre, enquanto o material é forçado através de uma fiação que define a espessura final do revestimento.

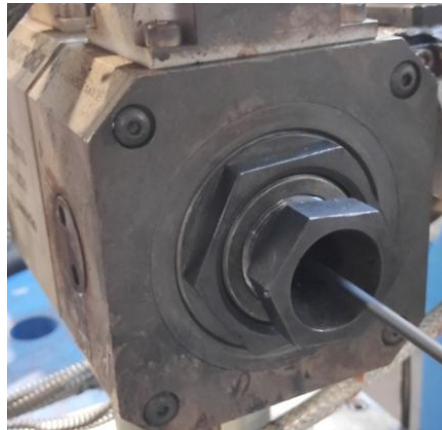


Figura 22 - Cabeça de Extrusão (Autoria Própria)

Para assegurar um controle preciso, a rotação do fuso é regulada pela câmara de diâmetro a quente, que caso meça o diâmetro do fio acima do valor médio estipulado, a velocidade do fuso é reduzida. Se pelo contrário medir abaixo, a rotação aumenta, garantindo que a quantidade de material aplicada por metro de cobre seja sempre a correta.

3.5.3 Indicadores de performance na extrusão (KPIs)

A performance deste setor de produção é avaliada através da análise de indicadores de performance, ou *KPIs*, que refletem a eficiência, produtividade e qualidade do processo de extrusão. Os indicadores de performance escolhidos são então o *Speed Efficiency (SE)*, o *Running Time (RT)* e o *First Time Quality (FTQ)*.

O *Speed Efficiency* avalia o processo quanto à sua eficiência e dita a percentagem de fio que se produziu relativamente à quantidade planeada. O *target* deste indicador é 100% e é o indicador que mais facilmente atinge o *target*.

Quanto à produtividade, a avaliação é feita pelo *Running Time*, que dita a percentagem do turno que a linha esteve a produzir fio conforme. O *target* deste indicador é o mais difícil de atingir e/ou manter constante e é de 85%.

Para avaliar a qualidade do fio produzido o *KPI* é o *First Time Quality* e tem um *target* de 100%, que corresponde a 100% de fio produzido sem defeitos.

3.5.4 Desperdício na extrusão (*Scrap*)

Para além da produção de produto não conforme, que é desperdício, o principal desperdício de material neste setor apresenta-se sob a forma de purga. A purga é material debitado pela extrusora sempre que a linha de extrusão pára. Em cada extrusora existem duas tremonhas com *masterbatch* colorido para servir a produção atual e preparar a próxima, sempre que se chega ao fim de uma cor é preciso trocar a fonte de colorizante e purgar o material que se encontra no fusão, que ainda contém a cor da produção anterior, até se obter visualmente isolante com a cor de referência da nova produção. Esta troca é uma fonte de desperdício do material isolante dos fios.

Assim, como nos indicadores de performance, existem também *targets* de desperdício máximo para cada linha de extrusão.



Figura 23 - Scrap (Autória Própria)

4. Ferramenta *SMED*

Após as primeiras semanas de acompanhamento da produção, reforçado pelo *feedback* de alguns operadores, foram identificados vários problemas que afetam a produtividade da extrusão e que ajudam a justificar a dificuldade em atingir os objetivos definidos para o *running time*. Estes fatores, internos e externos, contribuem significativamente para a variabilidade do processo e, conseqüentemente, para a queda nos indicadores de performance.

Um dos principais problemas detetados prende-se com o método de trabalho não padronizado. A ausência de um procedimento padrão para a realização dos *setups* leva a que a forma como as tarefas são executadas varie consoante a equipa de operadores. A formação de operadores novos é realizada informalmente pelos operadores mais experientes, o que acentua esta variabilidade e torna o processo menos previsível e eficiente.

Adicionalmente, a qualidade da matéria-prima tem-se revelado um fator crítico. Por razões externas à empresa, tem-se verificado uma maior incidência de matérias-primas com problemas de qualidade, tanto ao nível de isolantes como de cobre. Isto resulta em paragens não planeadas, como quebras de cobre ou defeitos no processo de extrusão, e na necessidade de reajustar parâmetros de produção, como a tensão aplicada, temperaturas ou velocidade de linha, impactando negativamente todos os indicadores de performance.

Outro fator a considerar é a crise no mercado automóvel, que continua a afetar fortemente a COFICAB. A redução no volume e valor das encomendas leva a uma menor produção total de quilómetros de fio e a um aumento na frequência de *setups*, o que influencia diretamente o *running time*.

Por fim, durante a troca de turno, verificou-se que a linha de extrusão permanece parada por cerca de 20 minutos, o que representa, por si só, uma redução de aproximadamente 4,167% no *running time*. Esta paragem condiciona fortemente a margem de tempo disponível para a realização de *setups*, que passa a ser de apenas 10,833%, sem considerar outras paragens não planeadas ao longo do turno. Esta limitação reforça a necessidade de tornar os *setups* mais rápidos, previsíveis e eficientes.

Depois desta fase inicial de reconhecimento e análise do processo de extrusão da COFPT, e com o intuito de fazer subir o *running time* desta etapa de produção, a aplicação da ferramenta *Single Minute Exchange of Dies (SMED)*, ou em português Troca Rápida de

Ferramenta, em conjunto com o princípio do *standardized work*, na linha 1, surge como uma proposta para estudar o seu potencial de replicação em todas as linhas de extrusão.

A padronização das atividades e a consequente redução da variabilidade operacional são fundamentais para diminuir os tempos de *setup*. Com procedimentos mais consistentes e previsíveis, é possível minimizar perdas, reduzir o tempo ocioso entre ordens de fabrico e aumentar a disponibilidade efetiva da máquina. Esta melhoria traduz-se numa maior flexibilidade produtiva e numa capacidade acrescida de resposta às flutuações da procura. Neste sentido, a aplicação do *SMED* revela-se uma abordagem estratégica com elevado potencial para melhorar a produtividade e a eficiência da linha.

Nesta secção serão então apresentados os métodos e atividades de implementação do *SMED* para melhoria da performance da linha 1. Começar-se-á pela identificação e categorização das atividades de *setup*, seguida da análise crítica dos tempos e atividades registadas, culminando na proposta de melhorias e avaliação do seu impacto potencial. Todo este processo será orientado pelos princípios fundamentais do *SMED*, com enfoque na separação de atividades internas e externas, eliminação de desperdícios e padronização das operações.

4.1 Situação Atual

Primeiramente é importante definir os vários tipos de *setup* que existem nesta linha de extrusão e quais as atividades que contêm. Neste caso, nesta linha existem 5 *setups* diferentes, que podem acontecer de forma isolada ou combinados entre si:

1. Mudança de cor (MC) – Diz respeito a sempre que entre ordens de produção há uma mudança de cor numa das extrusoras. Esta é a mudança mais curta e automatizada, pelo que pode ser associada a qualquer outro *setup* sem ter influência no seu tempo de realização.
2. Mudança de bobine de alimentação (MB) – Este *setup* diz respeito a uma paragem na qual é necessário substituir a bobine de cobre na *payoff* quando esta chega ao fim por uma bobine com as mesmas características de cobre. Esta paragem pode ser combinada com uma mudança de cor.
3. Mudança de secção (MS) – Uma mudança de secção diz respeito a uma alteração de tipo de fio na ordem de produção. Nessa paragem será necessário sempre mudar a bobine de alimentação, mesmo que a bobine anterior não tenha chegado ao fim e as ferramentas

usadas na cabeça de extrusão também são mudadas. Este *setup* pode ser combinado com uma mudança de cor.

4. Mudança de material (MM) – Nesta paragem, a atividade principal é a mudança de material isolante da mesma família. O tempo deste *setup* pode variar conforme a semelhança de características entre os dois materiais. Por exemplo, uma mudança de material de PVC classe 2 para PVC classe 2 mais flexível é muito mais rápida que uma mudança de PVC classe 2 para PVC classe 3.

5. Limpeza de Fuso (LF) – Este é o *setup* mais demorado de todos, pois é necessário mudar o tipo de material por completo. No caso da linha 1, ocorre sempre que há uma mudança de PVC para PE, ou vice-versa. Esta mudança difere da mudança de material, pois é necessário remover o fuso da extrusora para ser limpo.

Após a identificação dos diferentes *setups* realizados na linha 1, bem como das combinações mais frequentes entre eles, procedeu-se ao levantamento das atividades constituintes e respectivos tempos de execução. Esta recolha foi efetuada ao longo de três semanas, com o objetivo de abranger os três turnos de trabalho dentro do horário de observação (08h30 – 17h00).

Dado que atualmente não existe uma padronização clara do trabalho, foi possível verificar variações na ordem e na forma de execução das atividades entre turnos e operadores. Ainda assim, foi definida uma sequência representativa, com base na combinação de *setups* mais recorrente, permitindo obter uma aproximação ao comportamento médio observado.

A medição dos tempos foi realizada de forma direta durante a observação das atividades dos *setups*, recorrendo a cronometragem manual no momento em que as atividades estavam a ser executadas. Esta abordagem permitiu captar os tempos reais de operação, tendo em conta eventuais influências externas e desvios naturais da rotina.

Além disso, considerou-se o impacto das combinações de *setups* no tempo total de paragem. Assim, em situações onde duas mudanças ocorriam em simultâneo, foi contabilizado o tempo correspondente à operação que requer maior duração, por se tratar do fator limitante para o reinício da produção.

As seguintes tabelas mostram os dados recolhidos durante o período de observação, nas tabelas onde são listadas as atividades, a letra “E” representa “Atividade Externa” e a letra “I” representa “Atividade Interna”.

Tabela 1 - Lista de Atividades MC

Mudança de Cor (MC)			
	Atividade	E	I
1º	Encher 2º Tremonha com colorizante seguinte	X	
2º	Trocar tremonha de origem do colorizante	X	
3º	Parar a linha	X	
4º	Fechar Bypass		X
5º	Aumentar Velocidade Extrusora		X
6º	Deixar purgar até nova cor OK		X
7º	Ajustar velocidade extrusora		X
8º	Arranque da linha		X
9º	Abrir Bypass	X	
10º	Limpar espaço de trabalho	X	

Tabela 2 - Lista de Atividades MB

Mudança de Bobine de Alimentação (MB)			
	Atividade	E	I
1º	Parar a linha	X	
2º	Fechar Bypasses		X
3º	Cortar fio atrás da cabeça de extrusão		X
4º	Recolher cabo guia do fim da bobine		X
5º	Trocar bobine na payoff		X
6º	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		X
7º	Preparar ponta do fio		X
8º	Passar fio pela cabeça de extrusão		X
9º	Dar nó ao fio que estava a ser produzido		X
10º	Arrancar Linha		X
11º	Abrir Bypasses	X	

Tabela 3 - Lista de Atividades MS

Mudança de Secção (MS)			
	Atividade	E	I
1º	Parar a linha		X
2º	Fechar bypass		X
3º	Buscar nova bobine de alimentação		X
4º	Buscar novo guia e fieira à ferramentaria		X
5º	Corte fio de cobre que estava a ser produzido		X
6º	Trocar Bobine de alimentação		X
7º	Remover porca, guia e fieira		X
8º	Limpar guia, fieira e cabeça de extrusão		X
9º	Montar novo guia e fieira		X
10º	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		X
11º	Preparar ponta do fio		X
12º	Passar fio pela cabeça de extrusão		X

Tabela 5 - Lista de Atividades LF

Limpeza de Fuso (LF)			
	Atividade	E	I
1º	Cortar Abastecimento de material neutro	X	
2º	Parar linha		X
3º	Abrir Bypasses		X
4º	Cortar o fio atrás da cabeça de extrusão		X
5º	Esvaziar e limpar tremonhas		X
6º	Recolher fio de cobre atrás da cabeça de extrusão		X
7º	Trocar bobine de alimentação		X
8º	Desapertar ligação da extrusora 2 à cabeça de extrusão		X
9º	Afastar extrusora secundária		X
10º	Baixar temperaturas das extrusoras		X
11º	Ligar abastecimento de tremonhas de neutro		X
12º	Abastecer tremonhas de colorizantes		X
13º	Fechar bypass extrusora 1 e purgar pela cabeça		X
14º	Aguardar que purgue todo o material nas duas extrusoras		X
15º	Remover e limpar guia, fieira e distribuidores		X
16º	Remover e limpar bypass extrusoras		X
17º	Limpar cabeça de extrusão		X
18º	Abrir frente da extrusora 2		X
19º	Remover rede e filtro		X
20º	Limpar filtro		X
21º	Abrir parte de trás da extrusora 2		X
22º	Remover e Limpar Fuso		X
23º	Soprar Extrusora		X
24º	Abrir frente da extrusora 1		X
25º	Remover rede e filtro		X
26º	Limpar filtro		X
27º	Remover e Limpar Fuso		X
28º	Soprar Extrusora		X
29º	Inserir Fusos		X
30º	Inserir novas redes nos filtros		X
31º	Inserir filtros nas extrusoras		X
32º	Fechar extrusoras		X
33º	Inserir Bypasses		X
34º	Inserir ferramentas na cabeça de extrusão		X
35º	Colocar extrusora 2 junto da cabeça de extrusão		X
36º	Passar fio de cobre pela cabeça de extrusão		X
37º	Dar nó ao fio que estava a ser produzido		X
38º	Ajustar temperaturas das extrusoras		X
39º	Configurar marcação		X
40º	Aguardar que temperaturas estejam OK		X
41º	Abrir tremonhas		X
42º	Aguardar que purga esteja OK		X
43º	Arrancar linha	X	
44º	Fechar bypasses	X	
45º	Limpar espaço trabalho	X	
46º	Devolver ferramentas à ferramentaria	X	

Tabela 6 - Tabela de Tempos Registrados

	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Média
MC	00:05:53	00:04:00	00:04:50				00:04:54
MB	00:08:54	00:08:51	00:08:01	00:08:57	00:08:46	00:07:49	00:08:33
MS	00:15:33	00:17:32	00:14:39	00:15:56	00:13:19	00:19:07	00:15:41
MM	00:35:14	00:27:53	00:36:34	00:19:17	00:33:02	00:23:02	00:29:10
LF	01:55:27	01:49:11					01:52:19

Através da observação direta e do registo detalhado das atividades de *setup*, foram identificados vários desperdícios decorrentes da falta de padronização. Destacam-se os tempos de espera causados pela má organização de materiais e a subutilização da mão-de-obra disponível. A variabilidade entre operadores e turnos resulta numa execução inconsistente, dificultando o aproveitamento do tempo e a colaboração eficaz entre os trabalhadores.

Estes aspetos serão analisados em maior detalhe na secção seguinte, onde se identificam oportunidades concretas de melhoria com base nos princípios do SMED.

4.2 Análise Crítica da Situação Atual

Com base nos dados recolhidos, relativamente aos tempos de execução das atividades, e na observação direta dos *setups* realizados na linha 1, foi possível identificar diversos fatores que contribuem para a ineficiência do processo e que, por consequência, reduzem o *running time* da máquina.

1. Organização de Recursos e Materiais

Um dos problemas mais recorrentes observados foi a ausência de preparação prévia de ferramentas e materiais necessários à execução de cada *setup*. A espera por ferramentas provenientes da ferramentaria, assim como pela chegada e preparação de bobines de alimentação de cobre, provocou atrasos consideráveis, aumentando o tempo total de paragem. Estes elementos deveriam ser preparados antes da paragem da máquina, sendo claramente atividades externas, e a sua integração no tempo de paragem reflete desperdício evitável.

Este cenário revela a inexistência de um sistema eficaz de preparação paralela, um dos princípios fundamentais do SMED, que visa antecipar tudo o que pode ser feito sem a máquina parada.

2. Utilização Ineficiente da Mão-de-Obra

Apesar de estarem sempre dois operadores alocados aos *setups*, a sua atuação conjunta não está devidamente coordenada. Observou-se que, frequentemente, apenas um operador realiza a maior parte das atividades, enquanto o segundo atua de forma pontual e pouco sincronizada. A ausência de tarefas atribuídas por função ou sequência operacional impede que a força de trabalho seja utilizada de forma eficiente, perdendo-se a oportunidade de realizar operações em paralelo ou em sequência lógica.

Este aspeto aponta para a necessidade de definir e implementar trabalho padronizado, promovendo uma colaboração mais eficaz entre operadores durante os *setups*.

3. Falta de Padronização das Atividades

A ausência de um procedimento padronizado leva a variações significativas na sequência e na forma como as atividades são executadas entre diferentes turnos e operadores. Essa variabilidade não só dificulta a repetibilidade dos resultados como também impede a identificação clara de pontos de melhoria. A padronização é essencial para garantir que o processo seja replicável e que o desempenho possa ser consistentemente otimizado.

Além disso, a falta de padronização compromete a medição precisa dos tempos de cada atividade, uma vez que diferentes operadores podem realizar as mesmas tarefas com métodos e ritmos distintos.

4. Falta de referência de tempos-alvo

Outro ponto identificado durante a fase de observação prende-se com a falta de referência clara sobre os tempos-alvo para a realização dos *setups*. Verificou-se que os operadores não partilham uma noção comum daquilo que é considerado um tempo ideal para determinadas atividades. Por exemplo, enquanto alguns consideravam que 8 minutos seria excessivo para a troca de uma bobine, outros apontavam esse valor como sendo adequado. Esta ausência de alinhamento pode levar a uma execução menos eficiente das tarefas, uma vez que os operadores podem estar a trabalhar com expectativas desalinhadas em relação ao objetivo de desempenho. A inexistência de tempos-padrão comunicados contribui assim para variações significativas entre turnos e entre operadores, dificultando a consistência do processo e a melhoria contínua dos indicadores de desempenho.

4.3 Impacto Atual no *Running Time*

Para compreender o impacto dos tempos de *setup* no indicador de *performance* que mede o tempo em que a máquina esteve efetivamente a produzir — o *running time* —, é fundamental conhecer a frequência com que esses *setups* ocorrem, bem como os tempos médios

envolvidos na sua realização. As amostras de tempo recolhidas e analisadas noutra secção foram também utilizadas para este fim, permitindo estimar com maior precisão o peso que os *setups* representam no tempo total disponível para produção.

A frequência dos *setups* foi determinada com base nos registos extraídos do *software* de produção, nomeadamente da tabela correspondente à atividade da extrusora 1 durante as três semanas em que decorreram as observações, ver anexo 1. Para o tratamento destes dados, foi desenvolvido um *script* em *Python*, recorrendo à biblioteca *pandas*, especificamente concebido para estruturar a informação e contabilizar as ocorrências de cada tipo de *setup*: Mudanças de Bobine de Alimentação, Mudanças de Secção, Mudanças de Material e Limpezas de Fuso.

A imagem seguinte mostra as linhas de código responsáveis por estruturar e organizar os dados da tabela retirada. Primeiramente são eliminadas colunas desnecessárias, de seguida é criada uma nova coluna com os IDs das bobines de cobre usadas, esses IDs são atribuídos às linhas onde aparece a descrição do material usado nessa mesma produção. Desta forma numa só linha temos todas as informações necessárias de cada bobine de produto final, de modo a que assim seja possível criar a segunda parte do código responsável por identificar os valores que mudam e assim identificar o tipo de *setup* ocorrido.

```
import pandas as pd

# Carrega o CSV
df = pd.read_csv('SpoolsDetails.csv', encoding='cp1252', sep=',')

# Elimina colunas com dados não relevantes
df = df.drop(columns=['Date', 'Shift', 'Team', 'Machine', 'Length', 'Report Length', 'Amendments', 'Winding Break',
                    'Wire Break', 'Pair Spool', 'Obs1', 'Obs2', 'Obs2Number', 'Fps Cause', 'Fps Action', 'Line Speed', 'Aux Value'])

# Garante que a coluna 'Description' seja string (evita erros de float)
df['Description'] = df['Description'].astype(str)

# Atribui o ID do cobre a uma nova coluna chamada 'Cobre' e à linha onde tem a descrição do Material
rows_to_drop = []
for i in range(0, len(df)):
    if df.iloc[i]['Description'].startswith('BUN'):
        df.at[i + 1, 'Cobre'] = df.iloc[i]['Value']
        rows_to_drop.append(i)

# Elimina as linhas de onde retirei o Tipo de Material
df = df.drop(index=rows_to_drop).reset_index(drop=True)

# Elimina todas as linhas que dizem respeito à mesma bobine de produto final e que não tem dados relevantes
df = df[df['Description'].str.startswith(('PVC', 'COF'))].reset_index(drop=True)

df['Cobre'] = df['Cobre'].fillna(0)
```

Figura 24 - Código para Organização de Dados (Autoria Própria)

A imagem seguinte mostra o *script* para fazer essa contagem, o algoritmo foi concebido para seguir a mesma lógica adotada nos registos de tempo: através das condições “*if*” e “*elif*” dentro do ciclo “*for*”, nos casos em que dois ou mais *setups* ocorrem de forma combinada, apenas é contabilizado o *setup* com maior duração, evitando a duplicação do impacto no cálculo do *running time*. Por essa razão, não foi possível contabilizar com precisão as

Mudanças de Cor que ocorreram como *setup* isolado, uma vez que essa informação não consta na mesma tabela de registo de produção. Apesar de ser possível obter o número total de Mudanças de Cor, não é possível distinguir os casos em que aconteceram isoladamente daqueles em que surgiram combinadas com outros *setups*.

```

MB = 0
MS = 0
MM = 0
LF = 0

for i in range(1, len(df)):
    if df.iloc[i]['Description'] != df.iloc[i - 1]['Description']:
        atual = df.iloc[i]['Description']
        anterior = df.iloc[i - 1]['Description']

        # Casos em que se mudou de PVC
        if atual.startswith('PVC') and anterior.startswith('PVC'):
            MM += 1

        # Casos em que se muda de PVC para COFPEXT4-L ou vice-versa
        elif (atual.startswith('COF') and anterior.startswith('PVC')) or (anterior.startswith('COF') and atual.startswith('PVC')):
            LF += 1

        # A mudança de secção acontece sempre que há alteração no valor da secção do fio de cobre ou mudança de tipo de cobre
        elif df.iloc[i]['Section'] != df.iloc[i-1]['Section'] or df.iloc[i]['Family'] != df.iloc[i-1]['Family']:
            MS += 1

        # Os valores da coluna 'PO' correspondem ao ID da bobine de cobre, portanto sempre que este valor muda é porque houve uma mudança de bobine na payoff
        elif df.iloc[i]['Cobre'] != df.iloc[i - 1]['Cobre']:
            MB += 1

print(f"Mudanças de Bobine: {MB}")
print(f"Mudanças de Secção: {MS}")
print(f"Mudanças de Material: {MM}")
print(f"Limpezas de Fuso: {LF}")

```

Figura 25 - Código para Contagem de Setups (Autoria Própria)

Nas 3 semanas de observação o RT médio foi de 72% indicando que em 380 horas disponíveis, 100 horas e 48min a máquina esteve sem produzir, logo o cálculo do tempo gasto em *setups* nunca poderá ser superior a este valor.

Tabela 7 - Total de Setups

	MC	MB	MS	MM	LF
N setups	3	59	102	33	4
T total setup	0:14:43	8:24:25	26:39:52	16:02:38	7:29:15

Tabela 8 – Peso dos Setups no RT

T disponível	Tempo setups	RT	% Tempo Setups
360:00:00	58:50:54	72,0%	16,3%

Como se pode observar, o tempo despendido em *setups* é superior aos 15% de tempo de paragem considerados aceitáveis para que o objetivo do indicador não seja comprometido. Para além disso, como referido anteriormente, nesses 15% previstos para paragem também se contemplam paragens inesperadas e as trocas de turno. Assim sendo, torna-se fundamental aumentar a eficiência dos *setups*, de forma a viabilizar o cumprimento do *target* estabelecido.

4.4 Proposta de Melhoria

Com base na análise crítica realizada, tornou-se evidente a necessidade de intervir nos principais fatores que contribuem para os elevados tempos de *setup*, nomeadamente a falta de padronização, a má organização dos recursos e a utilização ineficiente da mão-de-obra. Neste sentido, foram desenvolvidas propostas de melhoria sustentadas nos princípios da metodologia *SMED* e no conceito de *standardized work*, com o objetivo de reduzir o tempo de paragem da linha e melhorar a consistência do processo.

As ações propostas abrangem a reorganização das atividades de *setup*, distinguindo claramente entre tarefas internas e externas, bem como a criação de instruções de trabalho padronizadas que orientem os operadores e promovam uma colaboração mais eficiente.

Adicionalmente, são sugeridas pequenas intervenções técnicas e organizacionais com impacto direto na eficiência do processo, como a melhoria da interface Homem-Máquina *HMI* (*Human-Machine Interface*), a otimização de ferramentas utilizadas durante os *setups* e o reforço da aplicação dos princípios do 5S, com especial enfoque na organização e disponibilidade dos materiais necessários. Estas melhorias visam, não só reduzir o tempo total de *setup*, mas também garantir maior estabilidade e previsibilidade ao processo.

4.4.1 Reorganização e Padronização das Atividades de *Setup*

Um dos primeiros passos na proposta de melhoria consistiu na reorganização das atividades envolvidas no processo de *setup*, com o objetivo de distinguir claramente entre tarefas internas (realizadas com a máquina parada) e externas (executáveis enquanto a máquina ainda opera). Esta separação é um dos pilares fundamentais da metodologia *SMED* e permite reduzir significativamente os tempos de paragem, ao antecipar ações preparatórias.

Com base nas observações e registos efetuados, foi elaborada uma lista reorganizada de atividades, agrupando-as por tipo e sequência lógica. As tarefas externas foram atribuídas a momentos prévios ao início do *setup*, como a recolha e verificação de ferramentas, a preparação de bobines de alimentação ou a consulta de ordens de produção. Já as tarefas internas foram reordenadas com o intuito de reduzir trajetos desnecessários, evitar tempos de espera e explorar oportunidades de execução em paralelo, com o apoio dos dois operadores disponíveis.

A reorganização teve como base não só os tempos médios observados, mas também a frequência e relevância de cada atividade dentro das combinações de *setups* mais comuns. O

objetivo foi criar uma estrutura mais eficiente, replicável entre diferentes turnos, e que sirva de base para a futura padronização do trabalho.

Como base para esta padronização, foram inicialmente reformuladas as atividades correspondentes aos cinco tipos de *setup* registados durante o levantamento de dados. Importa, no entanto, referir que o *setup* de mudança de cor não sofreu qualquer alteração, uma vez que se trata de um processo totalmente automatizado, não tendo sido identificadas oportunidades de melhoria relevantes. Assim, são apresentadas apenas as atividades reformuladas dos restantes quatro tipos de *setup*.

Tabela 9 - Lista de Atividades Sugeridas MB

Mudança de Bobine de Alimentação (MB)				
Atividade				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Buscar nova bobine de alimentação	X	
2º	Parar a linha		X	
3º	Fechar Bypasses			X
4º	Cortar fio atrás da cabeça de extrusão			X
5º		Recolher cabo guia do fim da bobine		X
6º	Trocar bobine na payoff			X
7º		Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		X
8º		Preparar ponta do fio de cobre		X
9º	Passar fio pela cabeça de extrusão			X
10º	Dar nó ao fio que estava a ser produzido			X
11º	Arrancar linha			X
12º	Abrir Bypasses		X	

Tabela 10 - Lista de Atividades Sugeridas MS

Mudança de Secção (MS)				
Atividades				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Buscar novo guia e fieira à ferramentaria	X	
2º		Buscar nova bobine de alimentação	X	
3º	Parar a linha			X
4º	Fechar bypass			X

5º	Cortar fio de cobre que estava a ser produzido			
6º	Remover guia e fieira	Trocar Bobine de alimentação		
7º	Limpar Cabeça de extrusão	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		
8º	Inserir novo guia e fieira	Preparar ponta do fio		
9º	Passar fio pela cabeça de extrusão			
10º	Dar o nó do fio novo ao fio que estava a ser produzido	Configurar marcação		
11º	Arrancar a Linha			
12º	Abrir os bypasses			
13º	Limpar espaço de trabalho			
14º	Limpar guia e fieira			
15º		Devolver ferramentas à ferramentaria		

Tabela 11 - Lista de Atividades Sugeridas MM

Mudança de Material (MM)				
Atividades				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Remover mangueira de abastecimento das tremonhas de material neutro do <i>big-bag</i>		
2º		Preparar nova bobine de alimentação		
3º	Parar a linha			
4º	Fechar Bypasses	Esvaziar e limpar tremonha de neutro da extrusora principal		
5º	Carregar nova receita	Esvaziar e limpar tremonha de neutro da extrusora secundária		
6º	Cortar fio atrás da cabeça de extrusão	Colocar mangueira de abastecimento das tremonhas no novo <i>big-bag</i> de material neutro		
7º	Remover e limpar guia e fieira	Trocar bobine de alimentação		
8º	Limpar cabeça de extrusão	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		
9º	Inserir guia e fieira da nova ordem de produção	Preparar ponta do fio		
10º	Passar fio pela cabeça de extrusão			
11º	Dar o nó do fio novo com fio que estava a ser produzido			
12º	Aguardar que as temperaturas da extrusora atinjam os valores da receita do novo material			
13º	Aguardar que a purga do novo isolante esteja com aspeto OK			
14º	Arrancar Atividade da Linha			
15º	Abrir Bypasses			
16º	Limpar área de trabalho	Devolver Ferramentas à Ferramentaria		

Tabela 12 - Lista de Atividades Sugeridas LF

Limpeza de Fuso (LF)			
Atividades			
	Operador 1	Operador 2	E I
1º		Preparar bobine de alimentação	X
2º		Buscar novo guia, fieira e distribuidores	X
3º	Cortar abastecimento de material neutro		X
4º	Parar linha	Esvaziar e limpar tremonhas	X
5º	Abrir bypasses		X
6º	Baixar temperaturas da extrusora		X
7º	Cortar fio atrás da cabeça de extrusão		X
8º	Recolher fio do fim da bobine de alimentação		X
9º	Trocar bobine de alimentação		X
10º	Ligar abastecimento de tremonhas de neutro	Desapertar ligação da extrusora secundária à cabeça de extrusão	X
11º	Afastar extrusora secundária		X
12º	Fechar bypass da extrusora 1 e purgar pela cabeça		X
13º	Aguardar que purgue todo o material nas duas extrusoras		X
14º	Remover e limpar ferramentas da cabeça de extrusão	Remover e limpar bypass da extrusora 2	X
15º	Limpar cabeça de extrusão	Remover e limpar bypass da extrusora 1	X
16º	Abrir frente da extrusora 1	Abrir frente da extrusora 2	X
17º	Remover filtro e rede	Remover filtro e rede	X
18º	Limpar filtro	Limpar filtro	X
19º	Abrir parte de trás da extrusora secundária		X
20º	Remover o fuso da extrusora secundária		X
21º	Limpar o fuso	Soprar extrusora	X
22º	Remover o fuso da extrusora principal		X
23º	Limpar o fuso	Soprar a extrusora	X
24º	Inserir Fusos nas extrusoras		X
25º	Inserir nova rede no filtro da extrusora 1	Inserir nova rede no filtro da extrusora 2	X
26º	Inserir filtro com a rede na extrusora 1	Inserir filtro com a rede na extrusora 2	X
27º	Fechar extrusora 1	Fechar extrusora 2	X
28º	Ajustar temperaturas das extrusoras	Inserir bypasses	X
29º	Inserir ferramentas na cabeça de extrusão		X
30º	Passar fio pela cabeça de extrusão		X
31º	Dar nó ao fio que estava a ser produzido	Configurar Marcação	X
32º	Colocar extrusora 2 junto da cabeça de extrusão		X
33º	Aguardar que temperaturas estejam OK		X
34º	Abrir tremonhas		X
35º	Aguardar que purga esteja OK		X
36º	Arrancar Linha		X
37º	Fechar Bypasses		X
38º	Limpar espaço de trabalho	Devolver ferramentas à ferramentaria	X

Neste seguimento, foram então desenvolvidas instruções de trabalho padronizadas para cada tipo de combinação frequente de *setups*, ver anexos 2, 3 e 4. A partir das atividades reformuladas, foram criadas instruções de fácil consulta e adaptadas às realidades mais

recorrentes da linha de extrusão. Esta abordagem permite reduzir a necessidade de improvisação, aumentar a previsibilidade do processo e reforçar a consistência entre operadores e turnos.

A Figura 26 apresenta um fluxograma de apoio à seleção das instruções adequadas, com base na identificação de alterações entre as ordens de produção. Este fluxograma integra os diferentes tipos de *setup* previamente analisados e orienta os operadores para a sequência de atividades mais apropriada, conforme o cenário identificado.

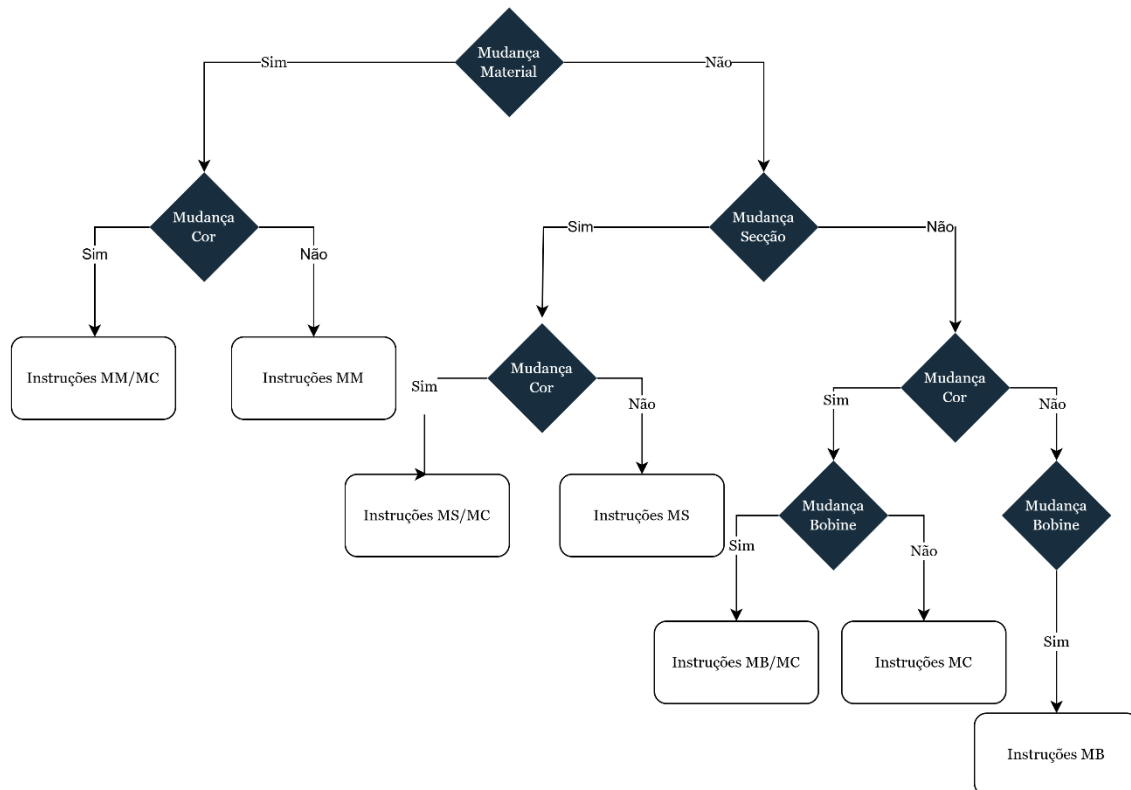


Figura 26 - Fluxograma de Decisão para Instruções de Atividades (Autoria Própria)

As instruções foram concebidas com um formato prático e visual, podendo ser utilizadas como ferramenta de apoio operacional, de formação e de auditoria, alinhando-se com os princípios de melhoria contínua e reforçando a importância da padronização no desempenho da linha de extrusão.

4.4.2 Melhorias Complementares

Para além da reorganização e padronização das atividades de *setup*, foram identificadas oportunidades de melhoria adicionais que, embora simples, podem ter um impacto significativo na eficiência do processo e na estabilidade das operações. Estas intervenções

complementares visam não só reduzir o esforço físico dos operadores, como também uniformizar práticas entre linhas e reforçar hábitos essenciais no ambiente de produção.

4.4.2.1 Melhoria do sistema HMI

A *Human-Machine Interface (HMI)* é uma tecnologia de interação entre utilizadores e dispositivos, composta por elementos de hardware — como ecrãs, teclados, luzes indicadoras — e respetivo software de suporte. O seu principal objetivo é simplificar a operação por parte do utilizador, aumentando a eficiência e a precisão das ações realizadas. Através de interfaces gráficas, operações intuitivas e mecanismos de *feedback*, a *HMI* permite que o utilizador compreenda facilmente o estado de funcionamento dos equipamentos e emita os comandos adequados (Ma & Yao, 2025)

No entanto, a linha 1 utiliza atualmente um sistema *HMI* que exige a intervenção manual do operador para a configuração de parâmetros críticos, como as temperaturas da extrusora. Este ajuste é realizado através de botões físicos, tornando o processo parcialmente automatizado, mais lento e sujeito a erros.

Com base no *feedback* dos operadores, considera-se vantajosa a implementação do mesmo sistema *HMI* utilizado noutras linhas de extrusão da empresa, o qual é mais intuitivo e automatizado. Neste sistema, a simples seleção da receita de produção ajusta automaticamente os parâmetros de temperatura, reduzindo o tempo de configuração e aumentando a fiabilidade. Esta uniformização traria ganhos em termos de eficiência, facilidade de operação e formação entre linhas.

4.4.2.2 Melhoria das ferramentas de apoio

Foi também observada uma situação crítica durante o *setup* que envolve o desaperto de uma porca com recurso a uma chave inglesa acoplada a um tubo metálico, utilizado para aumentar o torque. Esta prática improvisada exige um esforço físico elevado e representa um risco ergonómico e de segurança para os operadores.

Como alternativa, propõe-se a introdução de uma pistola pneumática adequada à operação, permitindo realizar o desaperto de forma segura, rápida e com menor esforço físico. Esta mudança contribuirá para a eficiência do processo, mas sobretudo para a melhoria das condições de trabalho.

4.4.2.3 Reforço da prática do 5S

Apesar de já existirem práticas estabelecidas de 5S na área de trabalho — como o uso de painéis de ferramentas e locais definidos de arrumação — foi observado que, em algumas situações, ferramentas não são devolvidas ao seu devido lugar ou não estão prontamente disponíveis no momento do *setup*.

Assim, recomenda-se o reforço do último *S* (*shitsuke*), que se refere à disciplina e sustentação dos padrões estabelecidos. A manutenção regular das práticas de organização, bem como a responsabilização partilhada dos operadores na sua aplicação contínua, são essenciais para garantir a disponibilidade dos recursos e a fluidez das operações.

4.5 Implementação da Proposta de Melhoria

A proposta de reorganização das atividades de *setup* e as instruções de trabalho padronizadas foram revistas e validadas pelo departamento de produção, tendo sido acordado um período de teste de três semanas para a sua implementação. Este período foi definido de forma a garantir a observação dos três turnos de trabalho durante o horário regular da empresa (08:30h – 17:00h), assegurando representatividade na recolha de dados e permitindo uma avaliação mais completa da viabilidade da proposta.

Durante esta fase, as atividades de *setup* foram supervisionadas diretamente, sendo registados novamente os tempos de execução com base na nova sequência de tarefas proposta. Os critérios e metodologia de cronometragem mantiveram-se consistentes com aqueles aplicados na fase de diagnóstico, assegurando a comparabilidade entre os dois conjuntos de dados.

A implementação contou com a participação ativa dos operadores, sendo este envolvimento essencial, tanto para a adoção das novas práticas como para a recolha de feedback. Antes do início do período de teste, os operadores foram formados relativamente às novas instruções de trabalho e orientados quanto aos objetivos da proposta. As instruções foram também impressas e disponibilizadas diretamente na linha de produção, de forma a permitir a sua consulta rápida e a verificação da correta execução durante os *setups*. Ao longo das semanas, foram recolhidas as suas opiniões e sugestões com o intuito de aferir a clareza, aplicabilidade e eficácia das instruções, permitindo ajustes sempre que necessário.

Um exemplo claro dessa adaptação surgiu logo nas primeiras observações, quando a atividade "preparar a ponta do fio de cobre novo" estava inicialmente classificada como externa.

No entanto, após duas tentativas de implementação com operadores diferentes, verificou-se que essa preparação, quando feita antecipadamente, impossibilitava a passagem do fio pelas pré-fieiras. Assim, foi necessário reclassificá-la como atividade interna, a ser realizada apenas após a passagem do fio pela pré-fieira.

Das melhorias complementares propostas, apenas foi possível integrar nesta fase o reforço da prática do 5S, com especial ênfase no último “S”, garantindo a manutenção da organização no posto de trabalho e a disponibilização atempada das ferramentas necessárias para a execução dos *setups*.

4.6 Seguimento Futuro

A aplicação de qualquer ferramenta *lean* deve ser acompanhada por um plano estruturado que assegure a sustentabilidade das melhorias alcançadas e fomente a melhoria contínua. Neste contexto, foi delineado um plano de acompanhamento específico para a aplicação da metodologia *SMED*, com o intuito de garantir que os resultados obtidos possam ser mantidos e/ou continuamente otimizados.

O acompanhamento será orientado segundo o ciclo *PDCA* (*Plan – Do – Check – Act*), de forma a assegurar a constante evolução dos resultados:

- *Plan*: Planeamento de novas ações de melhoria.
- *Do*: Implementação no terreno.
- *Check*: Avaliação dos impactos.
- *Act*: Estabilização das boas práticas e reinício do ciclo.

Tendo já sido criadas as fichas de padronização de trabalho e depois de definidos os tempos-alvo para a realização de cada *setup*, torna-se fundamental estabelecer a frequência de revisão do trabalho desenvolvido. Para tal, foi criada a Tabela 13, que define as responsabilidades e a periodicidade das ações de acompanhamento, com o objetivo de manter uma cultura de melhoria contínua.

Tabela 13 - Periodicidade das Ações de Acompanhamento

Frequência	Ação	Responsável e participantes
Semanal	Medição do tempo de <i>setup</i> em linha	Operadores
Mensal	Análise dos dados e identificação de desvios	Responsável da Linha de Extrusão
Trimestral	Reunião de revisão com a equipa de melhoria	Responsável da Linha e Operadores
Semestral	Auditoria aos procedimentos de <i>setup</i>	Responsável da Linha de Extrusão

Para que este plano de acompanhamento se revele eficaz ao longo do tempo, é igualmente imprescindível investir no desenvolvimento contínuo das competências das equipas envolvidas. A consolidação dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia *SMED* depende fortemente da manutenção de uma cultura de melhoria contínua e do envolvimento ativo de toda a equipa. Para tal, torna-se essencial assegurar uma formação contínua dos operadores e das equipas de produção, de forma a manter atualizados os conhecimentos sobre os procedimentos padronizados e a própria lógica da metodologia *SMED*. Esta capacitação deverá ser reforçada por sessões periódicas de formação, bem como pela integração destes conteúdos nos programas de acolhimento e formação de novos trabalhadores, garantindo a disseminação do conhecimento desde o início do percurso profissional na empresa. Simultaneamente, o fortalecimento da ligação entre os operadores e a equipa do departamento de produção, através de reuniões regulares e iniciativas como *Gemba Walks* e eventos *Kaizen*, permitirá não só a identificação de novas oportunidades de melhoria, mas também a deteção precoce de desvios e entraves que impactem negativamente o tempo de *setup*. Esta colaboração próxima entre os diferentes intervenientes do processo é fundamental para que as melhorias implementadas se reflitam de forma contínua nos indicadores de performance, assegurando ganhos sustentados em eficiência e produtividade ao longo do tempo.

5. Resultados

Após a implementação da proposta de reorganização e padronização das atividades de *setup*, foi realizada uma comparação entre os tempos médios registados antes e após a aplicação das instruções de trabalho. Esta comparação teve como objetivo avaliar a eficácia da metodologia *SMED* aplicada na linha de extrusão 1.

É importante destacar que, embora inicialmente tenham sido analisados cinco tipos de *setup*, as mudanças de cor não foram incluídas nesta fase de testes, uma vez que o processo é completamente automatizado e, por isso, nenhuma alteração foi proposta nesse tipo de operação. Da mesma forma, as mudanças de material e as limpezas de fuso ficaram fora desta fase experimental, por não terem ocorrido durante o período de teste.

Assim, os resultados discutidos referem-se exclusivamente às mudanças de bobine de alimentação e às mudanças de secção, que foram os dois tipos de *setup* testados com base nas novas instruções de trabalho.

Tabela 14 - Novos Tempos de Setup

	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo 4	Tempo 5	Tempo 6	Média
MB	00:05:20	00:05:13	00:05:17	00:06:30	00:05:30	00:06:06	00:05:39
MS	00:06:58	00:06:03	00:05:48	00:06:50	00:07:47	00:08:12	00:06:56

Tabela 15 - Resultados da Aplicação do SMED

Tipo de Setup	Tempo Médio Antes (mm:ss)	Tempo Médio Depois (mm:ss)	Redução Absoluta	Redução Percentual
MB	08:33	05:34	2 min 59 s	34,98%
MS	15:41	06:56	8 min 45 s	55,76%

Como se pode observar, a redução média dos tempos de *setup* foi significativa. No caso das mudanças de bobine, observou-se uma redução de cerca de 35%, enquanto nas mudanças de secção essa redução atingiu quase 56%. Estes resultados validam o impacto positivo da reorganização das atividades e da padronização das tarefas, conforme proposto na metodologia *SMED*.

5.1 Procedimentos Seguintes

Com base nos resultados obtidos durante a fase de testes, torna-se vantajoso alargar a aplicação das propostas de reorganização aos restantes tipos de *setup* – nomeadamente, à

mudança de material e à limpeza de fuso, que por limitações operacionais não foram alvo de teste.

A realização de testes semelhantes aos já efetuados permitirá recolher dados objetivos e atualizados sobre a execução das atividades, contribuindo para a futura definição de tempos de referência para cada tipo de *setup*. Estes tempos, uma vez validados, poderão ser incorporados nas instruções de trabalho como metas operacionais, promovendo maior clareza e orientação para os operadores. Importa reforçar que, até ao momento, ainda não foram definidos tempos-alvo formais para os *setups* testados, sendo esse um dos próximos passos fundamentais para a consolidação da padronização do processo.

Adicionalmente, propõe-se que se incentive a partilha de boas práticas entre operadores, nomeadamente através do envolvimento daqueles que demonstraram maior agilidade e eficácia na execução das tarefas. Sessões breves de demonstração entre turnos, conduzidas por operadores experientes, podem representar uma mais-valia significativa para a harmonização dos métodos de trabalho e para a redução de variabilidade na realização dos *setups*, contribuindo para a continuidade dos ganhos de eficiência verificados.

6. Conclusão

O presente trabalho teve como principal objetivo otimizar o processo de extrusão de fio elétrico numa empresa do setor automóvel, mediante a aplicação da metodologia *SMED* e de outras ferramentas associadas à filosofia *Lean Manufacturing*. A investigação centrou-se na redução dos tempos de *setup* e, conseqüentemente, no aumento do *running time* da linha de produção, contribuindo para a melhoria global dos indicadores de desempenho operacional.

Através do diagnóstico inicial foi possível identificar desperdícios relevantes associados à execução não padronizada dos *setups*. A observação direta e a cronometragem das atividades permitiram caracterizar o processo em detalhe e fundamentar a proposta de reorganização. A aplicação prática da metodologia *SMED* possibilitou separar tarefas internas e externas, eliminar etapas redundantes e introduzir instruções de trabalho padronizadas, resultando numa redução média de cerca de 35% no tempo de *setup* para mudanças de bobine e de aproximadamente 56% para mudanças de secção.

Os resultados alcançados evidenciam o impacto positivo da abordagem adotada, não apenas ao nível da eficiência operacional, mas também na consolidação de práticas padronizadas e na valorização do conhecimento dos operadores. O envolvimento direto das equipas de produção revelou-se um fator crítico para o sucesso da implementação, facilitando a adaptação às novas práticas e promovendo um ambiente colaborativo orientado para a melhoria contínua.

Embora os resultados tenham incidido sobre apenas dois tipos de *setup*, os ganhos obtidos demonstram o potencial de expansão da metodologia a outras operações da linha. A adoção de um plano de acompanhamento baseado no ciclo *PDCA* garante a sustentabilidade das melhorias e a sua integração progressiva na cultura organizacional.

Em síntese, a dissertação contribui para reforçar a importância da aplicação prática dos princípios *lean* em contextos industriais reais, demonstrando que intervenções direcionadas e bem fundamentadas podem gerar melhorias tangíveis e sustentadas no desempenho produtivo.

Bibliografia

- Claudio, D., Cosgriff, V., Nino, V., & Valladares, L. (2021). An agile standardized work procedure for cleaning the operating room. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(4), 701–717. <https://doi.org/10.3926/JIEM.3440>
- Deshmukh, M., Gangele, A., Gope, D. K., & Dewangan, S. (2022). Study and implementation of lean manufacturing strategies: A literature review. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1489–1495. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.155>
- Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. J. G., & Matias, J. C. O. (2018). A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends. *Procedia Manufacturing*, 17, 783–790. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.129>
- Gonçalves, L., Moura, A., & Alvelos, H. (2025). Continuous Improvement through Back-office Processes Automatization: A case study on Standardized Work Documentation. *Procedia Computer Science*, 253, 1185–1194. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.180>
- Hwang, G., Han, J. H., & Chang, T. W. (2020). An integrated key performance measurement for manufacturing operations management. *Sustainability (Switzerland)*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135260>
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Ma, Y., & Yao, H. (2025). Research on understandability & cognitive load equilibrium of human-machine interface under time pressure. *Displays*, 102891. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2024.102891>
- Queiroz, G. A., Filho, A. G. A., & Nogueira, E. (2025). Operations strategies and lean and green practices in the automotive industry. In *Reference Module in Social Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-28993-4.00090-1>
- Reza, J. R. D., García Alcaraz, J. L., Ramírez, C. S., López, J. A. G., Vargas, A. R., & Rodríguez Álvarez, J. L. (2025). Achieving strategic goals by continuous improvement and lean manufacturing implementation: A structural equation model -system dynamics approach. *Sustainable Futures*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100551>
- Santos, E., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2023). Optimization of the Production Management of an Upholstery Manufacturing Process Using Lean Tools: A Case Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/app13179974>
- Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., & Selvakumar, C. (2022). Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1913–1916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>

- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Silva, A. S., Medeiros, C. F., & Vieira, R. K. (2017). Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- Sunmola, F., Mbafotu, O. R., Salihu-Yusuf, M. L., & Sunmola, H. O. (2024). Lean green practices in Automotive Components Manufacturing. *Procedia Computer Science*, 232, 2001–2008. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.022>

Anexos

Anexo 1 – Tabela Extraída do software de produção de onde foram retiradas as ocorrências de setups.

Shift	Form	Machine	Family	Section	IP Product	PO	MI	Length	Height	Assembly	Working time	Net Stock	Per Stock	Qty	Qty2	OrderNumber	Pr Cost	Pr Activo	Description	Value	Am Value
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					1011101-20	2203200	2203200
																			Crav		
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					MC20	4490300	020642504
																			Montador MC	4490300	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					T1 ydha	4490300	24434
																			Montador MC	4490300	24440
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					T1 ydha	4490300	24440
																			Typ de sergan	4490300	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					W-6 ydha	4490300	
																			W-6 ydha	4490300	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1000mm)	022200	
																			Delq (1000mm)	022200	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Montador	024420	
																			Montador	024420	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947	2203300	200	0	0	0	0	0	240					Delq (1.500mm)	100000000	
																			Delq (1.500mm)	100000000	
1	A	E3701	L1P	300	11740003040	2273947															

Anexo 2 – Instruções Combinadas MS/MC

Mudança de Secção/Mudança de Cor				
Atividades				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Buscar novo guia e fieira à ferramentaria	X	
2º		Buscar nova bobine de alimentação	X	
3º	Trocar tremonha de origem de colorizante		X	
4º	Parar a linha			X
5º	Fechar bypass			X
6º	Aumentar velocidade extrusora e deixar purgar			X
7º	Cortar fio de cobre que estava a ser produzido			X
8º	Remover guia e fieira	Trocar Bobine de alimentação		X
9º	Limpar Cabeça de extrusão	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		X
10º	Montar novo guia e fieira	Preparar ponta do fio		X
11º	Passar fio pela cabeça de extrusão			X
12º	Dar o nó do fio novo ao fio que estava a ser produzido	Configurar marcação		X
13º	Assim que cor nova ok ajustar velocidade da extrusora			X
14º	Arrancar a Linha			X
15º	Abrir os bypasses		X	
16º	Limpar guia e fieira	Limpar tremonha do colorizante usado e mudar para cor da próxima produção	X	
17º	Limpar espaço de trabalho	Devolver ferramentas à ferramentaria	X	

Anexo 3 – Instruções combinadas Mudança de Bobine/Mudança de Cor

Mudança de Bobine/Mudança de Cor				
Atividades				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Buscar nova bobine de alimentação	X	
2º	Trocar tremonha de origem de colorizante		X	
3º	Parar a linha			X
4º	Fechar bypass			X
5º	Cortar fio de cobre que estava a ser produzido			X
6º	Aumentar velocidade extrusora e deixar purgar	Recolher cabo guia do fim da bobine		X
7º		Trocar bobine na payoff		X
8º		Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-fieira		X
9º		Preparar ponta do fio		X
10º	Passar fio pela cabeça de extrusão			X
11º	Dar o nó do fio novo ao fio que estava a ser produzido	Configurar marcação		X
12º	Assim que cor nova OK, ajustar velocidade da extrusora			X
13º	Arrancar Atividade na Linha			X
14º	Abrir os bypasses		X	
15º	Limpar espaço de trabalho	Limpar tremonha do colorizante usado e mudar para cor da próxima produção	X	

Anexo 4 – Instruções combinadas Mudança de Material/Mudança de Cor

Mudança de Material/Mudança de Cor				
Atividades				
	Operador 1	Operador 2	E	I
1º		Remover mangueira de abastecimento das tremonhas de material neutro do <i>big-bag</i>	X	
2º		Preparar nova bobine de alimentação	X	
3º	Trocar Tremonha de origem do colorizante		X	
4º	Parar a linha			X
5º	Fechar Bypasses	Esvaziar e limpar tremonha de neutro da extrusora principal		X
6º	Carregar nova receita	Esvaziar e limpar tremonha de neutro da extrusora secundária		X
7º	Cortar fio atrás da cabeça de extrusão	Colocar mangueira de abastecimento das tremonhas no novo <i>big-bag</i> de material neutro		X
8º	Remover e limpar guia e feira	Trocar bobine de alimentação		X
9º	Limpar cabeça de extrusão	Passar fio de cobre novo pelo compensador e pré-feira		X
10º	Inserir guia e feira da nova ordem de produção	Preparar ponta do fio		X
11º	Passar fio pela cabeça de extrusão			X
12º	Dar o nó do fio novo com fio que estava a ser produzido			X
13º	Aguardar que as temperaturas da extrusora atinjam os valores da receita do novo material			X
14º	Aguardar que a purga do novo isolante esteja com aspeto OK			X
15º	Arrancar Atividade da Linha		X	
16º	Abrir Bypasses		X	
17º	Limpar área de trabalho	Limpar tremonha do colorizante que estava a ser usado	X	
18º		Devolver Ferramentas à Ferramentaria	X	