



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estudo de viabilidade de geração de frio para a produção de vinhos a partir do aproveitamento de resíduos vitivinícolas

Leandro Joel Mateus Ramos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Alexandre Borges de Miranda

Covilhã, janeiro de 2020

Agradecimentos

Esta dissertação representa a etapa final do meu percurso acadêmico, tendo-se revelado o seu maior obstáculo. A sua ultrapassagem só foi possível com o auxílio de todas as pessoas que irei mencionar de seguida.

Ao meu orientador, Professor Doutor Alexandre Borges Miranda, pela partilha dos seus conhecimentos e da sua experiência e pelo acompanhamento e auxílio prestados ao longo de todo o percurso, através da sua disponibilidade constante, sem a qual este trabalho não teria sido possível.

À minha família, nomeadamente aos meus pais, Anabela e Pedro, aos meus irmãos, Duarte, Camila e Tomás e ao meu avô Manuel, pelo apoio permanentemente prestado ao longo deste trabalho. À minha avó Delfina, por enquanto em vida, ter garantido que eu conseguia alcançar as minhas ambições académicas.

À Melissa, por todo o apoio, carinho, compreensão, companheirismo e auxílio, incondicionais e constantes, e pela força e confiança transmitidos, sem os quais não teria sido capaz de completar este percurso.

Ao Arlindo, por todas as informações disponibilizadas que serviram de base para este trabalho.

Aos meus antigos companheiros de casa, aos colegas de curso e aos amigos de infância que me acompanharam durante este percurso e que de alguma forma contribuíram para a sua finalização.

Resumo

A elaboração deste trabalho baseia-se na crescente preocupação com o aumento desmedido dos consumos de energia. Apresenta um estudo focado na implementação teórica de um sistema de trigeriação numa indústria vitivinícola que utiliza como fonte de energia resíduos provenientes de podas de videiras. A unidade de trigeriação deverá produzir frio suficiente para a manutenção de temperatura num espaço de refrigeração, em funcionamento constante, durante aproximadamente três meses, bem como de cubas com camisas de refrigeração. A avaliação da utilização de frio na indústria vitivinícola é efetuada através da análise de cargas térmicas associadas à refrigeração e conservação de uvas, mosto e vinho. Os valores das cargas térmicas atingidos permitem calcular as cargas térmicas de arrefecimento associadas ao espaço de refrigeração e às cubas cintadas. O estudo culmina na seleção de uma unidade de trigeriação capaz de colmatar as necessidades energéticas da exploração, composta por dois chillers de absorção de efeito simples e num sistema de cogeração que combina um gaseificador e um motor de combustão interna.

A análise efetuada neste trabalho permite concluir que os resíduos das podas de videiras provenientes desta exploração representam o triplo do necessário para colmatar as cargas de arrefecimento deste sistema, durante o período de tempo estipulado, incluindo uma margem destinada a potenciais necessidades energéticas da exploração. Análises mais aprofundadas incluíram a adição de um período de funcionamento extra de dois meses, a 64% da potência originalmente estipulada. Mesmo contabilizando esse período de tempo, os resíduos disponíveis no terreno representam o dobro do necessário.

Palavras-chave

Vitivinícola; Uvas; Mosto; Vinho; Podas; Carga térmica; Arrefecimento; *Chiller*; Gaseificador; Cogeração; Trigeriação; Biomassa.

Abstract

This work is based on the growing concerns about the overwhelming energy consumption, showing a study focused on the theoretic implementation of a trigeneration system in a winemaking industry that uses the residues from pruning grapevines as the source of energy. The trigeneration unit must produce enough cold in order to maintain de temperature in the refrigeration space, which should be in constant function during approximately three months, as well as the tanks with cooling jackets. The evaluation of the winemaking industry's usage of refrigeration is done through an analysis of the thermal loads concerning the conservation and refrigeration of grapes, grape must and wine. The values of the heat loads attained allow the calculation of the thermal cooling loads associated to the refrigeration unit, as well as the jacketed tanks. This study culminates in the selection of the trigeneration unit capable of tackling all the energy needs of the wine exploration, which is composed of two absorption chillers of single effect and a cogeneration system that combines a gasifier and an internal combustion engine.

This work's analysis concludes that the residues from pruning grapevines from the exploration represent three times the necessary quantity to address all the cooling loads of this system during the stipulated period, which includes a leeway to tackle the potential energetic necessities of the exploration. Further evaluations include an extra period of two months on 64% of the original stipulated power, and even considering this extra period the available residues in the field represent the double of what is required.

Keywords

Winemaking; Grapes; Grape must; Wine; Pruning; Thermal Load; Cooling; *Chiller*; Gasifier; Cogeneration; Trigeneration; Biomass.

Índice

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura	xv
Lista de Acrónimos	xix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento	2
1.2. Objetivos e metodologia	8
1.3. Estado da arte	9
1.3.1. Conceitos de termodinâmica e transmissão de calor	9
1.3.2. Biomassa	11
1.3.3. Indústria vitivinícola	15
1.3.4. Cogeração e Trigeração	29
1.3.5. Refrigeração por absorção	31
Capítulo 2	37
Levantamento das necessidades de frio na produção vitivinícola	37
2.1. Considerações iniciais	38
2.2. Definição de um espaço para a refrigeração	40
2.3. Balanço térmico	40
2.3.1. Fórmulas utilizadas	41
2.3.2. Cargas térmicas do espaço de refrigeração	49
2.3.3. Conservação das uvas	52
2.3.4. Clarificação do mosto branco	53
2.3.5. Maceração pré-fermentativa do mosto tinto	55
2.3.6. Conservação de vinho	56
2.3.7. Carga de arrefecimento do espaço de refrigeração	57
2.3.8. Estabilização Tartárica	60
2.4. Implementação do sistema de trigeração	63
2.4.1. Seleção do <i>chiller</i>	63
2.4.2. Seleção da unidade de cogeração	64
2.4.3. Avaliação dos resíduos disponíveis no terreno	65
2.4.4. Avaliação das necessidades energéticas do sistema	66
2.4.5. Levantamento da disponibilidade de resíduos no terreno	66
Capítulo 3	69
Análise de resultados	69
3.1. Análise das cargas térmicas	69

3.2. Análise das cargas de arrefecimento	73
3.3. Análise da implementação do sistema de trigeriação	74
3.4. Análise económica	77
Conclusão	81
Desenvolvimentos futuros	83
Referências	85
Anexos	93
Anexo A: Lista de fórmulas utilizadas	93
Anexo B: Carta psicométrica	95
Anexo C: Especificações dos <i>chillers</i> de efeito simples da Yazaki	97
Anexo D: Especificações da unidade de cogeração	99
Anexo E: Especificações do <i>chiller</i> inverter de condensação a ar	101
Anexo F: Tabela de cálculos	103

Lista de Figuras

Fig. 1.1 - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2017.	6
Fig. 1.2 - Produção anual de eletricidade em Cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016.	6
Fig. 1.3 - Consumo anual de energia térmica proveniente de centrais de cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016.	7
Fig. 1.4 - Importações de energia primária e emissões de CO ₂ evitadas por parte da cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016.	7
Fig. 1.5 - Esquema da composição do cacho de uvas.	16
Fig. 1.6 - Esquema dos processos de produção de vinho. As etapas a vermelho são maioritariamente consideradas facultativas.	17
Fig. 1.7 - Imagem ilustrativa da utilização de um equipamento de corte para remover um cacho de uvas da videira.	18
Fig. 1.8 - Passadeira de escolha manual de uvas.	19
Fig. 1.9 - Desengace (à esquerda) e esmagamento (à direita).	20
Fig. 1.10 - Ilustração do processo de fermentação alcoólica.	22
Fig. 1.11 - Ilustração da desencuba.	23
Fig. 1.12 - Representação dos cristais de bitartarato de potássio.	25
Fig. 1.13 - Ilustração de parte do processo de engarrafamento de vinho.	25
Fig. 1.14 - Ilustração de uma cave para conservação de vinho.	27
Fig. 1.15 - Esquema simplificado do funcionamento de um sistema de trigeriação.	30
Fig. 1.16 - <i>Chillers</i> da marca Yazaki, modelo WFC-SC5, de efeito simples, à esquerda e de efeito duplo da série CH-K, à direita.	33
Fig. 1.17 - Esquema de funcionamento de um <i>chiller</i> de absorção e seus componentes.	34
Fig. 2.1 - Esquema da circulação do ar fornecido.	49
Fig. 2.2 - Gráfico da simulação da variação da humidade relativa em Vila Real, durante o mês de setembro.	58
Fig. 2.3 - Gráfico dos valores diários de temperatura medidos durante o mês de setembro de 2018.	58
Fig. 2.4 - Esquema ilustrativo do sistema de mistura de ares.	60
Fig. 2.5 - Exemplo de uma cuba com camisa de refrigeração.	61
Fig. 3.1 - Ilustração dos resultados calculadas para cada carga térmica.	73
Fig. B.1 - Carta psicométrica.	95
Fig. C.1 - Especificações dos <i>chillers</i> de efeito simples da Yazaki.	97
Fig. D.1 - Esquema e especificações do gaseificador V4.50 da Burkhardt GmbH.	99
Fig. D.2 - Ilustração e especificações do CHP Smartblock 50T da Burkhardt GmbH.	100

Lista de Tabelas

Tab. 1.1 - Dados da indústria vinícola em Portugal, em 2018.	3
Tab. 2.1 - Dados utilizados para o cálculo da carga térmica emitida pelo mosto enquanto é arrefecido para a clarificação.	54
Tab. 2.2 - Dados utilizados para o cálculo da carga térmica emitida pelo mosto enquanto é arrefecido para a maceração pré-fermentativa.	55
Tab. 2.3 - Resultados obtidos para as cargas térmicas diárias no espaço de refrigeração.	57
Tab. 3.1 - Tabela de comparação de custos de investimento.	78
Tab. E.1 - Parcela da tabela de especificações dos <i>chillers</i> inverter de condensação a ar da Daikin.	101
Tab. E.2 - Tabela de preços dos <i>chillers</i> inverter de condensação a ar da Daikin.	101
Tab. F.2 - Tabela em Excel dos cálculos efetuados para obtenção da carga térmica de arrefecimento total.	103

Nomenclatura

A_1	Área da superfície considerada
a_f	Ar fornecido
a_s	Ar seco
A_s	Área da superfície
A_{teto}	Área do teto
C	Coeficiente minorante da porta
CH_4	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO_2	Dióxido de Carbono
C_p	Calor específico do produto
C_{p_a}	Calor específico do ar
C_{p_v}	Calor específico do vapor saturado
d_{ton}	Duração média da abertura de portas
$e_{(\text{parede}+\text{teto})}$	Espessura das paredes e teto
f_d	Fluxo diário de produto
g	Força gravítica
H	Altura
H_2	Hidrogénio
h_i	Entalpia do ar interior
h_e	Entalpia do ar exterior
h_{fg}	Entalpia de mudança de fase
h_{l4}	Entalpia do líquido saturado no ponto 4
H_2O	Água
H_p	Altura da porta
h_{vaf}	Entalpia do vapor saturado do ar fornecido
h_{v3}	Entalpia do vapor saturado no ponto 3
\bar{h}	Coeficiente convectivo médio
\bar{h}_e	Coeficiente convectivo médio da superfície externa
$\bar{h}_{e(\text{parede})}$	Coeficiente convectivo médio da superfície externa da parede
$\bar{h}_{e(\text{teto})}$	Coeficiente convectivo médio da superfície externa do teto
\bar{h}_i	Coeficiente convectivo médio da superfície interna
$\bar{h}_{i(\text{parede})}$	Coeficiente convectivo médio da superfície interna da parede
$\bar{h}_{i(\text{teto})}$	Coeficiente convectivo médio da superfície interna do teto
$k_{(\text{ar})}$	Condutividade térmica do ar
k_e	Condutividade térmica externa
k_i	Condutividade térmica interna
$k_{(\text{isolante})}$	Condutividade térmica do isolante

L	Comprimento
L_c	Comprimento característico
m	Massa de produto introduzido
m_{af}	Caudal mássico de ar fornecido
m_f	Massa final
m_i	Massa inicial
$n_{(ar)}$	Número de renovações de ar por hora
n_p	Número de pessoas a trabalhar em simultâneo no espaço
N_2	Azoto
$\bar{N}u_L$	Número de Nusselt médio
$\bar{N}u_{Le(parede)}$	Número de Nusselt médio da superfície externa da parede
$\bar{N}u_{Le(teto)}$	Número de Nusselt médio da superfície externa do teto
$\bar{N}u_{Li(parede)}$	Número de Nusselt médio da superfície interna da parede
$\bar{N}u_{Li(teto)}$	Número de Nusselt médio da superfície interna do teto
$\bar{N}u_{L(ih)}$	Número de Nusselt médio para a superfície inferior de uma placa fria horizontal
$\bar{N}u_{L(sh)}$	Número de Nusselt médio para a superfície superior de uma placa fria horizontal
$\bar{N}u_{Lv}$	Número de Nusselt médio para placa plana vertical
P_a	Pressão do ar
P_g	Pressão de saturação da água
Pr	Número de Prandtl
Pr_e	Número de Prandtl externo
Pr_i	Número de Prandtl interno
P_s	Perímetro da superfície
Q_{arref}	Carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração
q_{ilum}	Carga térmica de iluminação por unidade de área
Q_l	Carga térmica latente
Q_{l1}	Carga térmica latente devido ao pessoal de estiva
Q_{l2}	Carga térmica devido ao calor de respiração da fruta
q_{resp}	Carga térmica latente de respiração do fruto
Q_s	Carga térmica sensível
Q_{s1}	Carga térmica ganha através das paredes e teto
Q_{s2}	Carga térmica devido à iluminação
Q_{s3}	Carga térmica sensível devido ao pessoal de estiva
Q_{s4}	Carga térmica devido à temperatura de entrada da fruta
Q_{s5}	Carga térmico devido à abertura de portas
Q_{s6}	Carga térmica devido à temperatura de entrada das caixas

Q_{s7}	Carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto branco para clarificação
Q_{s8}	Carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto tinto para maceração pré-fermentativa
Q_{s9}	Carga térmica devido à temperatura de entrada das garrafas de vinho
q_{sens}	Carga térmica de calor sensível libertado por pessoa
Q_{tar}	Carga de arrefecimento do vinho para a estabilização tartárica
Q_{total}	Carga térmica de arrefecimento total
R	Constante universal dos gases perfeitos para o ar
Ra	Número de Rayleigh
$Ra_{e(parede)}$	Número de Rayleigh externo para a parede
$Ra_{e(teto)}$	Número de Rayleigh externo para o teto
$Ra_{i(parede)}$	Número de Rayleigh interno para a parede
$Ra_{i(teto)}$	Número de Rayleigh interno para a parede
Rt	Resistência térmica
SO_2	Dióxido de Enxofre
T_{ar}	Temperatura do ar
t	Tempo de funcionamento total
t_{ab}	Tempo de abertura de portas
T_{af}	Temperatura do ar fornecido
t_f	Tempo de funcionamento com iluminação
T_f	Temperatura de filme
T_{fe}	Temperatura de filme externa
T_{fi}	Temperatura de filme interna
T_r	Temperatura do espaço
T_3	Temperatura de entrada no ponto 3
T^∞	Temperatura do escoamento não perturbado do ar
T^∞_m	Temperatura média do escoamento não perturbado do ar
T^∞_e	Temperatura do escoamento não perturbado do ar exterior
T^∞_i	Temperatura do escoamento não perturbado do ar interior
T_f	Temperatura de filme
T_s	Temperatura da superfície da permuta
T_{se}	Temperatura da superfície externa
T_{si}	Temperatura da superfície interna
t_3	Tempo de permanência das pessoas
U	Coefficiente global de transmissão de calor
U_{parede}	Coefficiente global de transmissão de calor da parede
U_{teto}	Coefficiente global de transmissão de calor do teto
V	Volume do espaço
V_{af}	Caudal volúmica de ar fornecido

v_i	Volume específico do ar interior
v_e	Volume específico do ar exterior
W	Largura
W_{af}	Humidade absoluta de ar fornecido
w_f	Humidade final
w_i	Humidade inicial
W_p	Largura da porta
W_{ra}	Humidade absoluta do ar do espaço
W_3	Humidade absoluta no ponto 3
W_4	Humidade absoluta no ponto 4
α	Difusividade térmica
α_e	Difusividade térmica externa
α_i	Difusividade térmica interna
β	Coefficiente volumétrico de expansão térmica
β_e	Coefficiente volumétrico de expansão térmica externo
β_i	Coefficiente volumétrico de expansão térmica interno
ν	Viscosidade cinemática
ν_e	Viscosidade cinemática externa
ν_i	Viscosidade cinemática interna
ΔT_1	Diferença de temperatura entre as duas faces da superfície
ΔT_4	Diferença de temperatura entre o produto e o meio envolvente
ΔT_5	Diferença de temperatura entre o espaço e o exterior
Φ_{af}	Humidade relativa do ar fornecido

Lista de Acrónimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
	<i>American Society of Heating Refrigeration and A-C Engineers</i> (Sociedade
ASHRAE	Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
CCHP	<i>Combined Cool Heating and Power</i> (Trigeração)
CEEETA	Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente
CHP	<i>Combined Heat and Power</i> (Cogeração)
COP	<i>Coefficient of Performance</i> (Coeficiente de desempenho)
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto Lei
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura)
FER	Fontes de Energia Renovável
HHV	<i>High Heating Value</i> (Poder Calorífico Superior)
HV	<i>Heating Value</i> (Poder Calorífico)
LHV	<i>Low Heating Value</i> (Poder Calorífico Inferior)
OIV	Organização Internacional da Vinha e do Vinho
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
UPP	Unidade de Pequena Produção

Capítulo 1

Introdução

Desde cedo que me senti interessado nas temáticas relacionadas com a termodinâmica, a transmissão de calor e as energias renováveis. Este interesse aumentou durante o meu percurso académico, ao frequentar as unidades curriculares relacionadas com estes temas, presentes na licenciatura e especialmente no mestrado. Portanto, decidi elaborar uma dissertação que englobasse pelo menos uma destas áreas.

O planeta Terra oferece uma grande panóplia de recursos energéticos ao ser humano, no entanto, a humanidade continua a consumir energias fósseis de forma desmedida, negligenciando as evidentes consequências nefastas para o planeta. Contudo, nos últimos anos, começaram a ser implementadas metas e objetivos que visam o aumento da utilização de energias renováveis e a consequente diminuição do consumo de combustíveis fósseis.

A agricultura em geral, e mais especificamente, a indústria vitivinícola, representam uma fonte de biomassa poucas vezes explorada, especialmente em relação aos resíduos das podas. Estes consistem numa fonte de energia raramente aproveitada como tal, sendo que o seu potencial energético é desperdiçado em queimadas a céu aberto.

Inicialmente, este trabalho foi idealizado como parte de um estudo efetuado por um aluno de doutoramento, tendo como base dados sobre uma exploração vitivinícola. No entanto, devido a motivos variados, acabou por se distanciar do objetivo inicial, adquirindo um novo propósito. Este surgiu da decisão de se unificar as temáticas das energias renováveis, da termodinâmica e da indústria vitivinícola, culminando num estudo que visa analisar a aplicação de frio em determinadas etapas da produção de vinho, através de um sistema de trigerção, utilizando como fonte de energia resíduos das podas de videiras. Da ideia inicial, mantiveram-se apenas os dados relativos ao número de hectares da exploração previamente mencionada.

A análise das etapas da vinificação permite concluir que algumas podem beneficiar da aplicação de refrigeração, como é o caso da clarificação e maceração pré-fermentativa do mosto, assim como da estabilização tartárica e conservação do vinho. Para englobar o arrefecimento nestas etapas, pode implementar-se um espaço de refrigeração, com utilidades variadas para a indústria vitivinícola, para além das previamente mencionadas, como é o caso da conservação de uvas, por curtos períodos de tempo. A implementação de um espaço deste género resulta numa necessidade de efetuar cálculos para avaliar as cargas térmicas associadas ao espaço e

ao seu conteúdo. Algumas etapas beneficiam da utilização de temperaturas muito baixas, não sendo prático interligá-las com etapas que não necessitam desse tipo de arrefecimento. Portanto, a utilização de cubas cintadas, tecnologia existente no mercado, apresenta-se como uma alternativa viável, nesse tipo de situação.

Relativamente à exposição de informação, no enquadramento teórico, serão abordados os temas relativos à indústria vitivinícola, a nível nacional e mundial, no ano de 2018, nomeadamente, a área preenchida por vinhas, a quantidade de vinho produzida e o seu consumo, bem como estatísticas referentes à exportação e importação de vinho. Seguir-se-á uma apresentação de dados do consumo energético geral em Portugal, no ano de 2016, e na indústria vinícola, em Portugal e no mundo. Posteriormente, serão abordadas as energias renováveis, no nosso país, em 2017, nomeadamente as metas e objetivos estabelecidos para o seu consumo e a produção de energia elétrica, utilizando as mesmas como fonte. A evolução da cogeração, a nível nacional, será o último tema abordado no enquadramento teórico, apresentando dados relativos à produção de energia elétrica e térmica, por parte da cogeração, assim como a relação entre esta e as emissões de dióxido de carbono. A restante metodologia utilizada durante o trabalho será apresentada no capítulo designado para tal, nomeadamente o capítulo 1.2, objetivos e metodologia.

A leitura deste trabalho permitirá adquirir conhecimentos gerais sobre alguns conceitos básicos de termodinâmica e transmissão de calor, biomassa, indústria vitivinícola, cogeração e trigerção e refrigeração por absorção. Relativamente ao dimensionamento térmico de um espaço de refrigeração e às suas cargas térmicas associadas, será feita uma exposição detalhada, focada nas etapas de vinificação com potencial requisição de frio. Por último, poderá obter-se informação respeitante à seleção de equipamentos constituintes de uma unidade de trigerção e à avaliação da disponibilidade e potencial energético de resíduos provenientes de podas de videiras.

1.1. Enquadramento

Relativamente à indústria vitivinícola, dados recolhidos pela OIV (Organização Internacional da Vinha e do Vinho) demonstram que em 2018 a área mundial preenchida por vinhas dedicadas à produção de uvas de mesa, uvas desidratadas e uvas para vinho é de 7.4 milhões de hectares. Metade dessa área é composta por zonas cultivadas por 5 países, Espanha (13%), China (12%), França (11%), Itália (9%) e Turquia (6%). Portugal é o nono país, a nível mundial, com maior área de vinhas, com 192 milhares de hectares cultivados, este espaço sofreu uma redução de 14% entre 2014 e 2018. (OIV, 2019)

No que diz respeito à produção de vinho em 2018, foram produzidos 292 milhões de hectolitros, com Itália (54.8 mhl), França (48.6 mhl) e Espanha (44.4 mhl) a serem os três maiores produtores, com uma produção combinada equivalente a 50% da produção global. Portugal é o

décimo primeiro maior produtor a nível mundial, com dois terços do vinho produzido a ser tinto ou rosé, mas maioritariamente tinto (Gaspar *et al.*, 2019). Em 2018 foram produzidos 6.1 milhões de hectolitros de vinho, sendo que este valor se encontra em regressão, com uma diminuição de 10% entre 2014 e 2018. (OIV, 2019)

Relativamente ao consumo de vinho, foram consumidos 246 milhões de hectolitros em 2018, sendo os países líderes respetivamente ao consumo os EUA (33.0 mhl), França (26.8 mhl) e Itália (22.4 mhl). Portugal encontra-se em décimo primeiro, no mesmo lugar que ocupa como produtor, apresentando um consumo nacional de 5.5 milhões de hectolitros, valor que sofreu um incremento de 29% entre 2014 e 2018. (OIV, 2019)

Portugal é ainda o nono país com maior exportação de vinho e o décimo terceiro maior importador, tendo exportado 3.0 milhões de hectolitros e importado 1.9 milhões de hectolitros, com variações nos últimos quatro anos de 5% e -17%, respetivamente. A receita de exportações foi de 0.8 mil milhões de euros, tendo aumentado 11% entre 2014 e 2018. Como o país não se encontra entre os catorze maiores importadores, no que diz respeito aos custos de importação, os seus dados não são apresentados nas estatísticas da OIV. (OIV, 2019)

Tab. 1.1 - Dados da indústria vinícola em Portugal, em 2018.

	Quantidade	Posição ocupada a nível global	Varição entre 2014 e 2018
Área ocupada por vinhas [ha]	192000	9º	-14%
Produção de vinho [hl]	6100000	10º	-10%
Consumo de vinho [hl]	5500000	11º	+29%
Exportação de vinho [hl]	3000000	9º	+5%
Receitas de exportação [€]	800000000	9º	+11%
Importação de vinho [hl]	1900000	13º	-17%

A Tab. 1.1 facilita a análise dos dados previamente mencionados e permite ter uma perceção da relevância da indústria vitivinícola em Portugal, tornando-o um dos maiores em todas as áreas relacionadas com esta indústria. Outro dado indicador da relevância do vinho na cultura portuguesa é o facto de em 2012, o seu consumo per-capita ser de 38.1 kg por ano, valor bastante elevado, se comparado com a média Europeia de 20.3 kg e a mundial de 3.5 kg. (Gaspar *et al.*, 2019)

Em Portugal, o consumo de energia elétrica por parte da indústria vinícola é de 43 TWh, sendo reduzido em comparação com países como França (500 TWh) e Itália (300 TWh). (Gaspar *et al.*, 2019) Dos tipos de energia consumidos pelas principais regiões produtoras de vinho, 65 a 75% da energia consumida é eletricidade, com a restante percentagem a ser constituída por

combustíveis líquidos e gasosos. (Smyth e Nesbitt, 2014) No nosso país, a principal fonte de energia utilizada é a eletricidade, com mais de 90%, chegando a ser detentora da totalidade do consumo em alguns casos. (Gaspar *et al.*, 2019)

O consumo energético por parte da indústria vinícola é maioritariamente requisitado por parte da refrigeração, chegando a consistir em mais de 40% do consumo energético das adegas. (Smyth e Nesbitt, 2014) As principais aplicações da eletricidade numa adega são a alimentação de motores elétricos de prensas e bombas, de equipamentos de refrigeração, de dispositivos de ar condicionado e a iluminação. (Fuentes-Pila e Garcia, 2014)

A utilização de refrigeração na conservação de produtos alimentares de forma correta e sem quebrar a cadeia de frio permite preservar a maioria das características dos mesmos, porém o frio só impede o crescimento de microrganismos, como bactérias, não havendo a sua eliminação. (Gaspar *et al.*, 2019) No caso da produção de vinho, esta também se encontra suscetível ao surgimento de várias bactérias, sendo a principal a *Azedia*. Esta bactéria surge em vinhos com volume entre os 14 e os 15% e desenvolve-se a temperaturas entre os 25 e os 30°C, como tal, a conservação a frio é a melhor forma de prevenção contra esta bactéria. Quando esta bactéria afeta o vinho, este desenvolve um aroma azedo, havendo uma diminuição de cor e a formação de uma película esbranquiçada ou acinzentada na superfície, o etanol degrada-se e transforma-se em dióxido de carbono, água e ácido acético, aumentando consequentemente a acidez volátil. Quando um vinho com esta bactéria é detetado já em estados avançados este tem que ser enviado para a destilaria ou ser utilizado para a produção de vinagre. (Gomes, 1960)

Relativamente ao consumo energético em Portugal, dados da PORDATA indicam que no ano de 2016, foi consumido um total de energia primária de 21684 milhares de toneladas equivalentes de petróleo, valor ligeiramente inferior ao do ano precedente. Desta totalidade a maior percentagem corresponde ao petróleo, com uma totalidade de 9157 milhares de tep consumidas, seguido das energias renováveis com 5568 milhares de tep, o que espelha o facto de Portugal ainda ser um país fortemente dependente do petróleo. Porém, esta tendência tem vindo a alterar-se com um aumento cada vez mais significativo do uso das energias renováveis e uma diminuição do petróleo como fonte de energia primária. Em comparação com os dados de 2000, num total de 25254 milhares de tep de energia primária, observa-se que o petróleo apresentava um consumo de 15569 milhares de tep, contrastante com os 3641 milhares de tep das energias renováveis, cujo segundo lugar era ocupado pelo carvão, com 3813 milhares de tep. Analisando ainda informação de 2010, verifica-se que num total de 23102 milhares de tep, o consumo de petróleo já se encontrava nos 11241 milhares de tep e o das energias renováveis nas 5321 milhares de tep que se afirmou como a segunda maior fonte primária, de forma constante, desde 2006. (DGEG/MEc; e PORDATA, 2019)

As energias renováveis possuem cada vez mais um papel de extrema importância no panorama energético global, e como tal a União Europeia estabeleceu objetivos, como a Diretiva FER, para incentivar a utilização de energias renováveis. Esta diretiva estipulou a meta vinculativa de pelo menos 27% do consumo total de energia de cada um dos estados membros ser baseado em energias renováveis, até 2030. Devido à possibilidade de os países estipularem metas mais ambiciosas, Portugal, através do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2020), optou por definir a meta de 31% no consumo final bruto de energia e a incorporação de 59,6% de energia renovável na eletricidade, até 2020. O Compromisso para o Crescimento Verde coincide com os 31% estabelecidos para 2020, definindo ainda como meta para 2030, 40%. (REA, 2019) O PNAER 2020 possui metas intermédias, sendo elas, no caso de 2017 e 2018, de 27,3%, de acordo com o Diário da República n.º 54/2018, Série I de 16/03/2018. Porém, esta meta foi já alcançada em 2016, com 28,5% da eletricidade a ser proveniente de energias renováveis, segundo dados da Direção-Geral de Energia e Geologia. (REA, 2019)

No que diz respeito à produção bruta de energia elétrica por parte das energias renováveis em Portugal, no ano de 2017 estas contribuíram com um total de 59432 Gigawatt-hora, dos quais 38344 GWh provinham de energia térmica, 12248 GWh da energia eólica, 7632 GWh da hídrica, 992 GWh da fotovoltaica e 217 GWh da geotérmica. As energias térmica, fotovoltaica e geotérmica sofreram um aumento relativamente ao ano anterior, devido à diminuição drástica do fornecimento por parte da energia hídrica. (DGEG/MEC, 2018)

Pela observação da Fig. 1.1, conclui-se que em 2017, 55,5% da produção de energia elétrica em Portugal foi baseada em energias renováveis. A biomassa juntamente com os resíduos sólidos urbanos e o biogás, foram responsáveis por 6% da totalidade da energia elétrica nesse ano, sendo esta a terceira maior percentagem dentro das energias renováveis. Note-se que esta percentagem é inferior à de outros países da União Europeia, devendo-se à forte presença das energias hídrica e eólica no país.

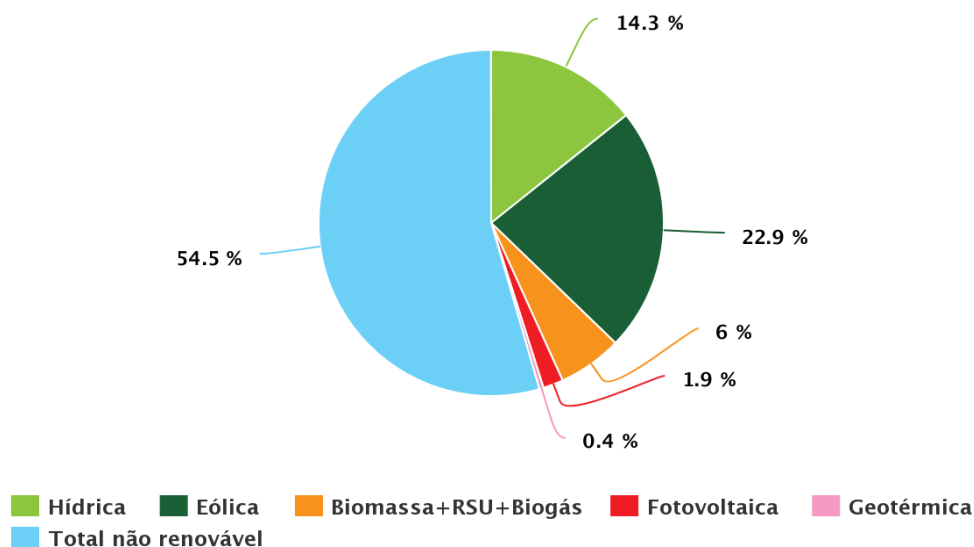


Fig. 1.1 - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2017.¹

A análise da evolução da cogeração em Portugal pode ser feita com recurso à análise do gráfico da Fig. 1.2, a produção anual de eletricidade com base na cogeração, cresceu de forma ligeira até 2013, tendo sofrido apenas um pequeno decréscimo entre 2007 e 2008. Depois de 2013, devido à regulamentação associada aos decretos lei DL 23/2010 e DL 25/2012, a produção de eletricidade a partir da cogeração tem sofrido uma diminuição, ligeiramente mais acentuada entre 2013 e 2014 e mais subtil nos anos seguintes. (COGEN, 2016)

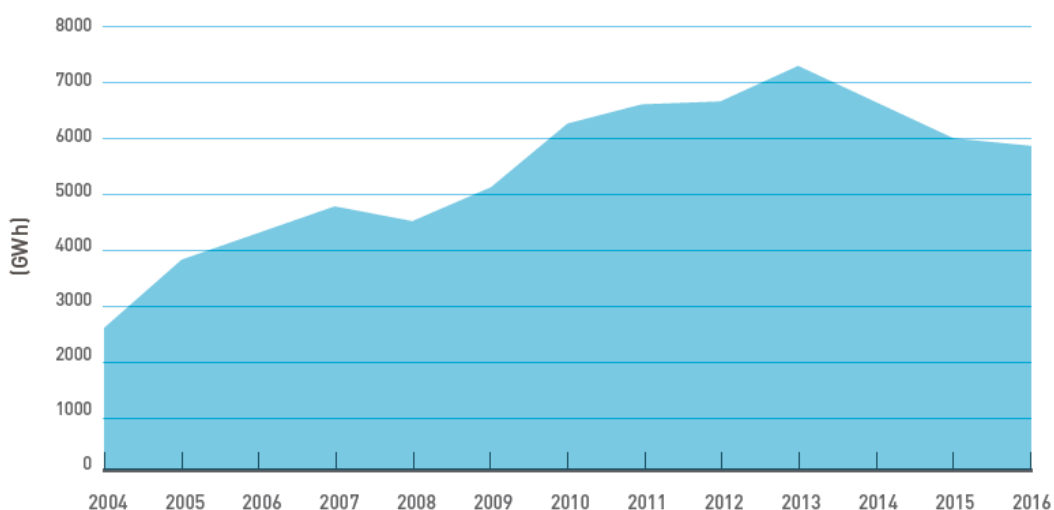


Fig. 1.2 - Produção anual de eletricidade em Cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016.

¹ Imagem retirada de <https://rea.apambiente.pt/content/energias-renov%C3%A1veis>, no dia 12/8/2019.

Tal como seria expectável, o consumo de energia térmica acompanhou a produção de energia elétrica com base na cogeração, tendo sofrido as mesmas oscilações, pelos motivos já referidos anteriormente. Uma recolha do consumo anual de energia térmica, em Gigawatt-hora pode ser observada no gráfico da Fig. 1.3.

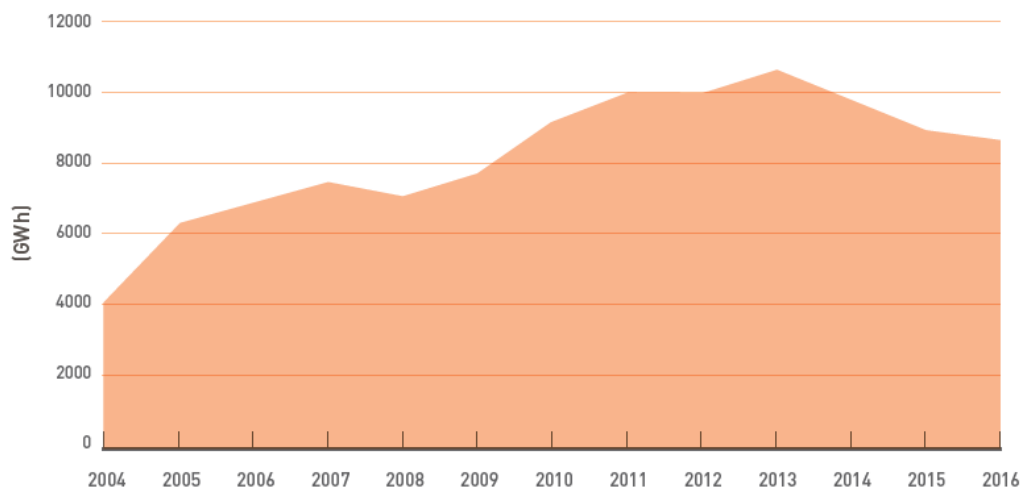


Fig. 1.3 - Consumo anual de energia térmica proveniente de centrais de cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016.

Na Fig. 1.4 é possível observar em simultâneo, dois dos maiores benefícios associados à produção de eletricidade a partir da cogeração, sendo estes a diminuição das emissões de CO₂ (na linha a laranja) e das importações de energia primária (a azul). Estes dois benefícios, diretamente associados à produção, sofreram as mesmas oscilações que esta, porém permitem observar a elevada eficiência global dos sistemas de cogeração.

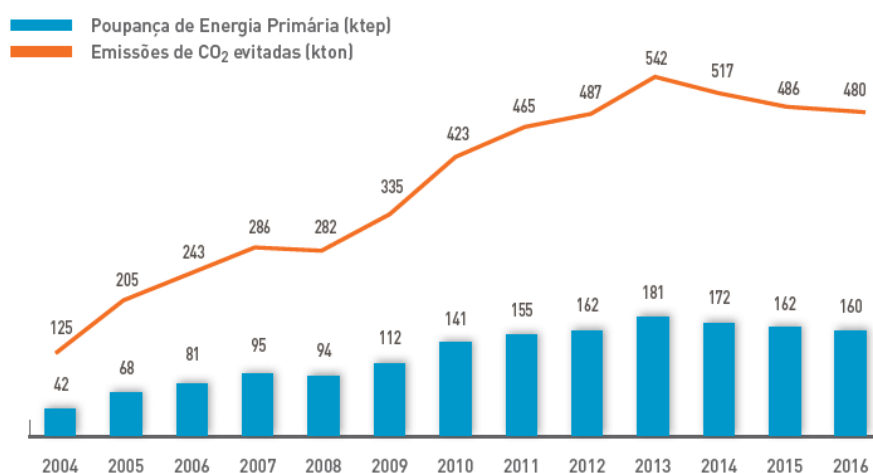


Fig. 1.4 - Importações de energia primária e emissões de CO₂ evitadas por parte da cogeração, em Portugal, de 2004 a 2016. ²

² As figuras 1.2, 1.3 e 1.4 foram retiradas de (COGEN,2016), no dia 27/8/2019.

1.2. Objetivos e metodologia

O presente trabalho pretende determinar a quantidade de frio necessário para a aplicação de refrigeração em algumas etapas da produção de vinho tinto e branco de uma determinada exploração vitivinícola. Pretende-se ainda analisar a quantidade de frio a ser produzida, utilizando como fonte de energia primária os resíduos das podas das culturas dessa mesma exploração, avaliando-se, posteriormente, se existe capacidade de corresponder às necessidades previamente avaliadas. Por último, será efetuado o estudo sobre a implementação do processo de trigerção, englobando todos os tópicos anteriormente mencionados.

Primeiramente, pretende-se fazer um levantamento do estado da arte existente no que diz respeito às temáticas a ser abordadas ao longo do trabalho, nomeadamente através de uma breve introdução aos conceitos de termodinâmica e transmissão de calor, seguidos de um desenvolvimento mais aprofundado na área da biomassa, da indústria vitivinícola, da cogeração e trigerção e, por fim, da refrigeração por absorção.

No segundo capítulo será apresentado um levantamento das necessidades de frio na produção vitivinícola. Iniciando-se com uma apresentação dos intervalos de tempo e temperatura comumente utilizados em cada etapa, seguidos das considerações iniciais relativas à quantidade de uvas, mosto e vinho esperados, conforme a exploração em questão. Seguir-se-á o balanço térmico, onde serão primeiramente apresentadas as fórmulas necessárias ao cálculo das cargas térmicas, com a sua explicação. Os cálculos das cargas térmicas serão efetuados de acordo com a sua natureza (sensível ou latente) e origem. A sua apresentação será feita primeiramente para as cargas provenientes do espaço de refrigeração, ou seja, as cargas associadas ao próprio espaço e ainda as da conservação de uvas, da clarificação do mosto branco, da maceração pré-fermentativa do mosto tinto e, por último, da conservação de vinho. Posteriormente, apresentar-se-á a carga de arrefecimento do espaço de refrigeração que engloba todas as cargas previamente mencionadas. Restará a carga associada à estabilização tartárica, cujo arrefecimento se considerará efetuado em cubas cintadas, após o qual será efetuada a exposição da totalidade das cargas de arrefecimento.

Ainda no segundo capítulo, levar-se-á a efeito uma implementação da trigerção no sistema, através do cálculo da quantidade de energia a ser necessária produzir para o funcionamento do mesmo, bem como a apresentação de uma proposta de equipamento capaz de colmatar as necessidades energéticas estimadas. Seguidamente, realizar-se-á o levantamento da disponibilidade de resíduos no terreno a serem utilizados como biomassa, assim como uma estimativa do poder calorífico associado à mesma. Após a obtenção desses valores, torna-se possível calcular o poder calorífico total disponível, o que será um fator determinante na avaliação da viabilidade do sistema dimensionado.

Por último, no terceiro capítulo, far-se-á uma apresentação e análise teórica dos resultados obtidos, com posteriores conclusões. A análise será feita de forma estratificada, analisando as cargas térmicas e de arrefecimento, assim como a implementação do sistema de trigeriação, de forma individual. A título ilustrativo, será ainda efetuada uma análise económica simples, comparando o sistema considerado com uma alternativa.

1.3. Estado da arte

Neste subcapítulo, como já foi mencionado anteriormente, será feita uma apresentação teórica dos temas a ser abordados durante a dissertação, através da exposição do estado da arte relativo aos conceitos de termodinâmica e transmissão de calor, cuja compreensão permitirá captar com mais facilidade os cálculos e dimensionamentos efetuados ao longo do projeto. As outras temáticas com enfoque neste ponto serão a biomassa, a indústria vitivinícola, as tecnologias de cogeração e trigeriação e, por último, a refrigeração por absorção. À semelhança do que ocorre com os conceitos de termodinâmica e transmissão de calor, a compreensão dos restantes temas será fulcral para o acompanhamento dos desenvolvimentos feitos ao longo do trabalho.

1.3.1. Conceitos de termodinâmica e transmissão de calor

- **Entalpia**

Entalpia é uma propriedade de estado obtida através da soma da energia interna com o produto entre a pressão e o volume de um sistema termodinâmico, expressa em joule. Este conceito pode resumir-se ao calor transferido para um sistema, num processo a pressão constante. (*Encyclopedia Britannica*, sem data; Oliveira, 2012)

- **Condução, convecção e radiação**

Existem três modos distintos de transferência de calor, nomeadamente a condução, a convecção e a radiação. O termo condução é usado para expressar o calor transferido num meio estacionário sólido ou fluido, na presença de um gradiente de temperatura. A convecção é a transferência de calor que ocorre entre um fluido em movimento e uma superfície, a temperaturas diferentes. A radiação consiste na transferência de calor entre duas superfícies a temperaturas finitas e diferentes, através de ondas eletromagnéticas, na ausência de um meio interveniente. (Incropera *et al.*, 2006)

- **Calor específico**

Calor específico é um termo utilizado para descrever a capacidade calorífica de uma substância por unidade de volume ou de massa. (Blundell e Blundell, 2010) Esta grandeza física é usualmente expressa em joule por quilograma e por kelvin. (Incropera *et al.*, 2006)

- **Humidade relativa e absoluta**

A humidade relativa, geralmente apresentada na forma percentual, consiste na proporção de vapor de água existente no ar húmido, relativamente ao vapor saturado à mesma temperatura, em condições específicas de pressão e temperatura. (Oliveira, 2012) A humidade absoluta é uma grandeza adimensional, definida como a massa de vapor de água existente numa unidade de massa de ar seco. Esta grandeza deve ser interpretada como uma razão entre quilogramas de vapor de água por quilogramas de ar seco. (Oliveira, 2012)

- **Calor sensível e latente**

A energia transmitida por convecção divide-se em calor sensível e latente, a porção de calor sensível está associada principalmente a mudanças de temperatura, dependendo também da pressão. O termo calor latente é tipicamente usado para demonstrar a energia absorvida ou libertada por uma substância aquando da sua mudança de estado físico (fase), sem variação de temperatura. São normalmente expressos em joule ou calorias por mole, quilowatt ou em unidades de massa da substância que está a mudar de estado, no caso do calor latente. (*Encyclopedia Britannica*, sem data; Incropera *et al.*, 2006)

- **Volume específico (densidade)**

A densidade, ou volume específico, é uma forma de expressar a massa de um corpo a partir do seu volume e vice-versa. (*Encyclopedia Britannica*, sem data) É usualmente expressa em unidades de massa por unidades de volume, ou seja, quilogramas por metro cúbico no sistema internacional. (Incropera *et al.*, 2006)

- **Condutividade térmica**

A condutividade térmica é uma propriedade indicadora de como se processa a transmissão de calor por condução, indicando o quão rápido o calor irá fluir num determinado material. (Holman, 2010) As unidades usualmente utilizadas para a definir são watt por metro quadrado e por kelvin. (Blundell e Blundell, 2010)

- **Resistência térmica**

A resistência térmica é o inverso da condutividade térmica e baseia-se na resistência oferecida pelos materiais à condução de calor. (Blundell e Blundell, 2010; Holman, 2010) É comumente expressa pelo produto entre metro quadrado e kelvin, por watt. (Blundell e Blundell, 2010)

- **Poder calorífico**

O poder calorífico é definido como o conteúdo energético libertado durante a conversão energética de um combustível e apresenta-se em termos do conteúdo de energia por unidade

de massa. Este conteúdo energético é determinado pela composição química da biomassa e é normalmente expresso como poder calorífico superior ou poder calorífico inferior. O poder calorífico superior é dado pela soma da energia libertada na forma de calor com a energia gasta na evaporação da água que se forma numa reação de oxidação, medindo a alteração da entalpia de combustão com a água condensada. O poder calorífico inferior é o valor usado para o cálculo da energia disponível sob a forma de calor. (Quaak, Knoef e Stassen, 1999; McKendry, 2002; Friedl *et al.*, 2005; Sheng e Azevedo, 2005)

1.3.2. Biomassa

- **Importância da valorização de biomassa no contexto energético atual**

A respeito do tema da importância da valorização energética da biomassa no contexto energético atual, este revelou-se relativamente complexo, já que apesar das claras vantagens da utilização da biomassa, os combustíveis fósseis possuem grande influência no panorama energético, mesmo considerando os seus claros efeitos prejudiciais para o meio ambiente. Como tal, torna-se mais difícil a afirmação de métodos alternativos, como é o caso da biomassa. No entanto, este panorama aparenta estar a sofrer mudanças, existindo protocolos que apoiam o uso de energias renováveis. É nesse contexto que a biomassa se afirma, como uma das energias renováveis mais versáteis, se não mesmo a mais versátil, podendo encontrar-se em todos os estados físicos e tendo inúmeras aplicações.

Outro fator importante a favor da utilização de biomassa é o volume cada vez maior de “lixo” produzido no mundo, uma vez que este pode ser aproveitado para produção de energia, diminuindo, desta forma, a poluição. Exemplos práticos de utilização de biomassa, que demonstram a sua versatilidade, são a queima das sobras de casca de arroz, do bagaço da cana-de-açúcar, do sebo de bovinos dos matadouros e dos óleos residuais (de cozinha) que podem ser usados para produção de energia para a indústria, geração de vapor para produção de energia elétrica, ou aproveitados para a produção de biodiesel, respetivamente. (Santos, 2010)

- **Definição de biomassa**

A biomassa é a mais antiga fonte de energia que a humanidade conhece. Desde os tempos antigos que a sua energia é a mais abundante e versátil entre as energias renováveis no mundo. (Ferreira, Moreira e Monteiro, 2009; Dipti e Priyanka, 2013)

Em Portugal, segundo o Decreto Lei nº 127 de 2013, a biomassa é definida por produtos que consistem, na totalidade ou em parte, numa matéria vegetal, proveniente da agricultura ou da silvicultura, que pode ser utilizada como combustível para efeitos de recuperação do seu teor energético, bem como os seguintes resíduos quando utilizados como combustível:

- Resíduos vegetais da indústria de transformação de produtos alimentares, se o calor gerado for recuperado;
 - Resíduos vegetais fibrosos da indústria de pasta virgem e de produção de papel, se forem co-incinerados no local de produção e se o calor gerado for recuperado;
 - Matérias-primas de cortiça;
 - Resíduos de madeira, com exceção dos que possam conter compostos orgânicos halogenados ou metais pesados resultantes de tratamento com conservantes ou revestimento, incluindo, em especial, resíduos de madeira deste tipo provenientes de obras de construção e demolição;
- **Tipos de biomassa**

No que diz respeito à divisão dos tipos de biomassa, não existe um consenso dentro do estado da arte da biomassa, pelo que decidi seguir a classificação de Pires (2008) defendendo que, de acordo com o estado físico, podemos dividir a biomassa em 3 grandes grupos: biomassa sólida, biomassa líquida e biomassa gasosa.

A biomassa sólida resulta de um conjunto de resíduos florestais, agrícolas (nos quais se incluem substâncias vegetais e animais) e da fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. O aproveitamento da biomassa sólida é feito através da queima em centrais térmicas ou centrais de cogeração para a produção de energia elétrica e de água quente. Pode ainda ser feito através da sua queima direta (combustão) emlareiras com vista à produção de calor, ou ainda para a produção de biocombustíveis sólidos (densificação) e gasosos, através dos processos de pirólise e gaseificação. (Pires, 2008)

A biomassa líquida pode ser encontrada numa série de biocombustíveis líquidos com potencial de utilização quer em substituição parcial, quer como aditivos em combustíveis fósseis. Os biocombustíveis líquidos com potencial de utilização, dos quais são exemplos o biodiesel, o etanol e o metanol, têm origem em “culturas energéticas”. O biodiesel é obtido a partir de óleos vegetais e animais, podendo ser utilizado como substituto do gasóleo. Já o etanol, produzido através da fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose), pode ser utilizado como aditivo para a gasolina ou como E85 (biocombustível que contém 85% de etanol e 15% de gasolina). (Pires, 2008)

O aproveitamento da biomassa gasosa depende da sua fonte, podendo ter origem em suiniculturas, resíduos sólidos urbanos e lamas, sendo aplicadas diversas tecnologias de acordo com a sua fonte. O biocombustível gasoso, mais conhecido por biogás, provém dos efluentes agropecuários e urbanos (lamas de ETAR's) e ainda dos aterros de resíduos sólidos urbanos, resultantes da degradação biológica da matéria orgânica contida nestes resíduos. (Oliveira, 2013)

Uma outra alternativa para a subdivisão da biomassa é classifica-la quanto às suas fontes, na qual esta pode ser dividida em quatro categorias: (Breu, Guggenbichler e Wollmann, 2008)

- Culturas para fins energéticos, ou seja, culturas cuja função é a captação da radiação solar para armazenamento em forma de biomassa. Exemplos de colheitas para fins energéticos são a colza, o girassol, o milho, entre outras;
- Resíduos florestais e agrícolas, no qual é feito o aproveitamento dos resíduos gerados pelas atividades de cultivo ou florestais, tal como a palha ou fragmentos de madeira;
- Subprodutos orgânicos, que derivam do processamento da biomassa para criação de produto, o que origina um grupo adicional de subprodutos, nomeadamente, resíduos orgânicos, efluentes de agropecuária e resíduos do processamento industrial da madeira e de fibras vegetais;
- Resíduos orgânicos, onde se incluem os resíduos domésticos e lamas de efluentes domésticos e industriais, sendo que neste caso, os últimos encontram-se, geralmente, sujeitos a legislação específica. Consequentemente, a utilização deste tipo de produtos exige o cumprimento de uma gama de requisitos legais que passa pela sua origem, até ao controlo epidémico.

- **Constituição da biomassa**

A biomassa inclui na sua composição componentes como a celulose, a hemicelulose, a lenhina, os lípidos, as proteínas, os açúcares simples, o amido, a água e as cinzas, resultantes do processo de fotossíntese. A concentração de cada um dos componentes varia de acordo com a espécie, o estágio e as condições de crescimento. (Speight, 2008; Khan *et al.*, 2009)

A celulose é um polissacarídeo linear, constituído por monómeros de glicose, apresentando, portanto, devido às suas ligações, uma estrutura que muito dificilmente é quebrada através da hidrólise. A hemicelulose é também um polissacarídeo com composição variável que está associado à celulose. A lenhina é um polímero irregular constituído por unidades de compostos aromáticos. A função principal destes constituintes é conferir rigidez, resistência e impermeabilidade à biomassa. (Jenkins *et al.*, 1998; Speight, 2008; Khan *et al.*, 2009)

- **Caracterização da biomassa**

As propriedades da biomassa são conhecidas através da sua caracterização, pelo que é possível classificá-las através da análise imediata, da análise elementar e da análise das cinzas (analisando os elementos contidos nas mesmas, tais como metais).

Através da análise imediata determinam-se os teores de humidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo. Na análise elementar, como a designação indica, determina-se a composição elementar da biomassa, sendo esta: C (carbono), O (oxigénio), H (hidrogénio), S (enxofre) e N (azoto). Já na análise de cinzas determinam-se elementos como Si (silício), Al (alumínio), Fe

(ferro), Ca (cálcio), S (enxofre), Mg (magnésio), K (potássio), Ti (titânio), Na (sódio), P (fósforo), Mn (manganês), Cl (cloro) e ainda elementos vestigiais. Existem também as análises de matéria orgânica e inorgânica, a análise mineralógica dos minerais e das fases inorgânicas, procedimentos de separação das diferentes frações, e outras análises de baixas ou altas temperaturas das cinzas do combustível. (Vassilev *et al.*, 2010)

Respetivamente à composição elementar, em termos numéricos, o principal constituinte da madeira é o carbono, tal como nos combustíveis fósseis, seguido do oxigénio e em terceiro lugar o hidrogénio, que em média representa 6% da matéria seca. A biomassa tem muito mais oxigénio que os combustíveis fósseis convencionais, incluindo o carvão, devido à sua constituição ser essencialmente hidratos de carbono que representam cerca de 45 % da matéria seca. Já o azoto e o enxofre representam menos de 1% da matéria seca. (Vassilev *et al.*, 2010)

A composição elementar permite determinar o poder calorífico e as necessidades de comburente, durante os processos termoquímicos. O poder calorífico, varia com a percentagem de humidade da biomassa, estas duas variáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior o teor em humidade, menor será o poder calorífico. (Saião, 2009) O poder calorífico inferior é também influenciado pelo conteúdo de carbono, hidrogénio e oxigénio, ou seja, aumenta com o aumento do conteúdo de carbono e hidrogénio e diminui com o aumento do conteúdo de oxigénio, por outras palavras, a biomassa tem um poder calorífico menor devido ao seu elevado grau de oxidação. Os elevados teores de humidade na biomassa também poderão aumentar a degradação biológica, influenciando a qualidade dos materiais das instalações de combustão, tornando-se corrosiva se combinada com outros componentes da madeira. (Jenkins *et al.*, 1998; Badger, 2002)

- **Processos de conversão termoquímica de biomassa - Gaseificação**

Os três principais processos de conversão termoquímica de biomassa disponíveis são a pirólise, a combustão e a gaseificação. Estes são utilizados para converter a biomassa em energia. (Bridgwater, 2012) Estes processos de conversão permitem obter várias fontes primárias de energia, tais como carvão, gás combustível e calor que poderão ser processados em fontes secundários como eletricidade, metanol, gasolina, entre outros. (Molino, Chianese e Musmarra, 2016) O processo de conversão termoquímica aplicado neste trabalho será a gaseificação, pelo que será abordada de forma mais detalhada.

A gaseificação apresenta-se como o processo de conversão de uma mistura orgânica, sólida ou líquida, num composto dividido numa fase gasosa (gás ou vapor) e numa fase sólida. A conversão ocorre num equipamento designado gaseificador, através da oxidação parcial (combustão incompleta) do carbono presente na mistura orgânica, devido à existência de ar, oxigénio, vapor ou dióxido de carbono que se comportam como agentes oxidantes. (Molino, Chianese e Musmarra, 2016) A porção sólida inclui a fração orgânica não convertida e o material inerte

presente na biomassa, já a parte gasosa, denominada por gás de síntese, contém principalmente N₂, CO, H₂, CO₂ e CH₄, sendo usada como fonte de energia ou na produção de biocombustível, devido ao seu elevado poder calorífico.

Considera-se que o processo de gaseificação se divide em quatro etapas, aquecimento e secagem, pirólise, oxidação e gaseificação, ocorrendo num intervalo de temperaturas entre os 700 e os 1100°C. (Ruiz *et al.*, 2013; Rollinson e Karmakar, 2015) Este processo de conversão termoquímica de biomassa permite aumentar o leque de aplicações da mesma, especialmente como fonte de energia, sendo atualmente utilizada principalmente na produção de combustíveis primários, posteriormente utilizados na produção combinada de eletricidade e calor. (Hindsgaul *et al.*, 2000; Molino, Chianese e Musmarra, 2016)

1.3.3. Indústria vitivinícola

- **Introdução**

O vinho é uma bebida alcoólica, existente desde a antiguidade, elaborada a partir de uvas recentemente prensadas ou mosto de uvas frescas que serão posteriormente fermentadas. Existem vários tipos de vinho, com propósitos distintos, dentro dos quais se incluem categorias como vinhos tintos, brancos, rosés, gaseificados, licores, entre outros. Esta bebida possui uma grande influência cultural em muitas regiões do globo, a nível económico, social e ambiental. Portugal encontra-se entre os países fortemente influenciados por esta bebida, sendo o produto agrícola com maior impacto positivo na balança de trocas/mercado. (Gaspar *et al.*, 2019)

De seguida, será feita uma breve apresentação da composição das uvas, seguida da análise das etapas da produção de vinho, técnicas de arrefecimento usadas na produção do mesmo, assim como a sua conservação e, por último, os subprodutos da vinificação.

- **Composição das uvas**

A uva é o fruto que serve de base para o vinho, existindo inúmeras castas de uva que posteriormente se subdividem em castas brancas e tintas. Alguns exemplos de castas brancas são *Chardonnay* e *Cercial* e de tintas *Cabernet Sauvignon* e *Syrah*. (Cardoso, 2008)

Acerca da composição das uvas, os seus cachos dividem-se entre engaço (parte lenhosa) e bagos, em proporções variáveis, consoante o tipo de casta, estas variam geralmente entre 91 a 97% de bagos e 3 a 9% de engaço. Pode ainda ser feita a divisão dos bagos em polpa, película e grainha, com proporções na ordem dos 80 a 85%, 10 a 15% e 3 a 5%, respetivamente. (Cardoso, 2008) O esquema abaixo permite visualizar a informação previamente mencionada.

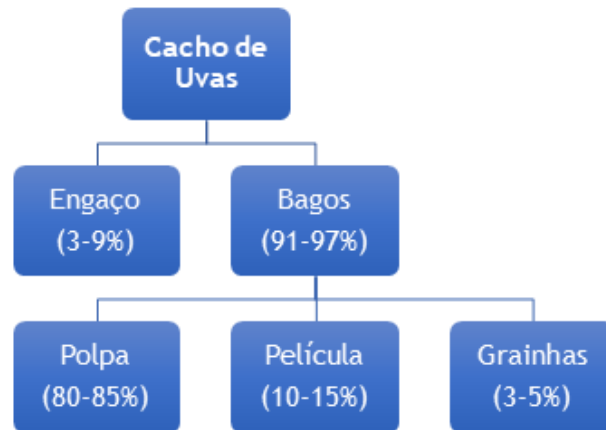


Fig. 1.5 - Esquema da composição do cacho de uvas.

- **Etapas da produção de vinho**

Existem etapas do processo de produção de vinho que são de execução facultativa ou exclusivas de um determinado tipo de vinho, sendo que a informação disponível difere relativamente à importância e ordem de algumas delas. Em seguida será feita uma descrição mais generalizada de todas as etapas deste processo para os vinhos tinto e branco.

A produção de vinho começa com a colheita da uva, seguido da recepção da mesma na adega. O passo seguinte passa pela classificação e pesagem da uva, sucedido pelo desengace (obrigatório no vinho tinto, mas facultativo no caso do branco) e pelo esmagamento (tinto) ou prensagem (branco), onde se obtém o mosto, definido no Regulamento (CE) 1493/99 como “o produto líquido obtido naturalmente ou por processos físicos a partir de uvas frescas”. Os passos subsequentes são a extração e a clarificação do mosto, exclusivas do vinho branco e a sulfitação do mosto, prática comum aos dois tipos de vinho. Seguem-se a encuba; a correção do açúcar do mosto; a maceração pré-fermentativa e arrefecimento do mosto; a fermentação alcoólica; a remontagem e maceração (exclusivas do tinto); a desencuba e a prensagem (tinto); a fermentação malolática; a sulfitação do vinho; a trasfega; a maturação; a clarificação e a estabilização tartárica. A etapa final da produção de vinho consiste no engarrafamento, podendo ser posteriormente efetuado o envelhecimento em garrafa, caso os produtores assim o desejem. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007, 2009; Vieira, 2017)

Abaixo será apresentado um esquema de todas as etapas da produção do vinho e posteriormente uma descrição, em detalhe, de cada uma destas etapas.

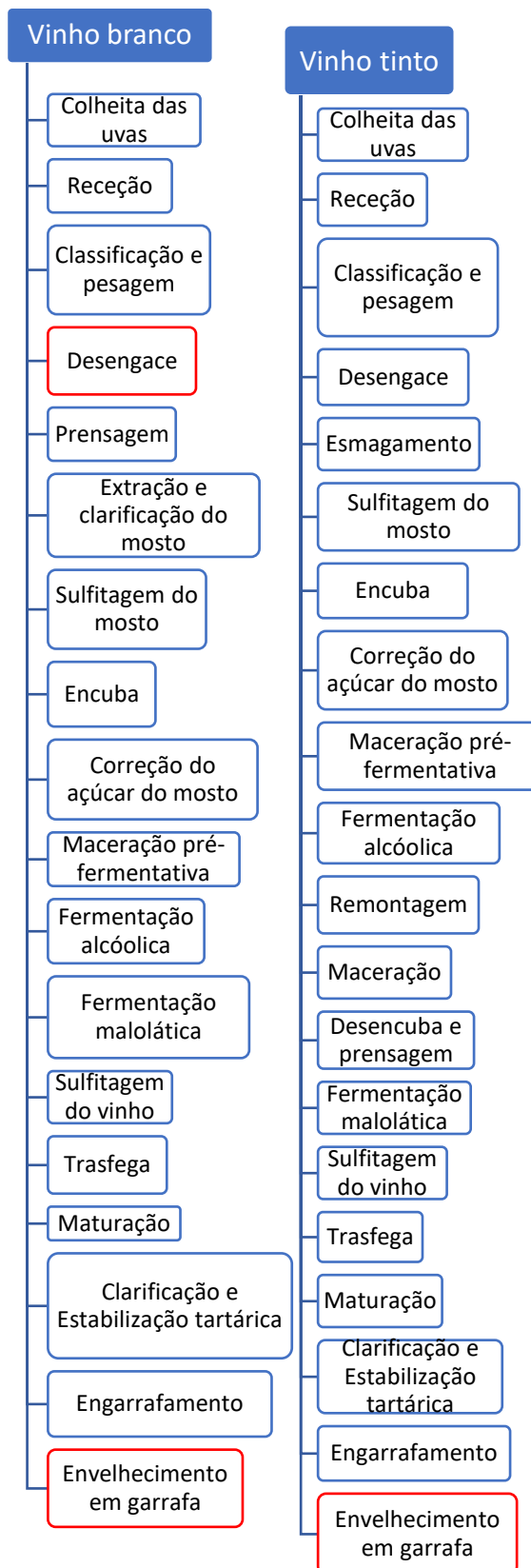


Fig. 1.6 - Esquema dos processos de produção de vinho. As etapas a vermelho são maioritariamente consideradas facultativas.

A **colheita** da uva, comumente conhecida por vindima, consiste na utilização de equipamentos de corte para remover as uvas da videira, como se pode observar na Fig. 1.7. Idealmente, este processo deve ser feito de forma eficiente, evitando a inclusão de cachos deteriorados, ramos, folhas e outros detritos. Após a colheita, as uvas são colocadas em caixas para posterior transporte, sendo que a disposição das mesmas deve ser feita de forma a evitar o seu esmagamento. (Vieira, 2017)



Fig. 1.7 - Imagem ilustrativa da utilização de um equipamento de corte para remover um cacho de uvas da videira. ³

A **receção da uva** é geralmente feita num espaço adequado, como tegões ou tapetes de escolha manual, como ilustrado na Fig. 1.8. (Cipriano, 2017) É requerido que estes possuam condições para que seja feita a avaliação adequada das uvas a nível do estado sanitário, peso, temperatura, valor de maturação e tipo de casta. Para além disso o espaço deve estar preparado para que sejam efetuadas algumas das tarefas posteriores, como o desengace, o esmagamento e a determinação do teor de açúcar do mosto. No caso da impossibilidade do processamento imediato das uvas, estas devem ser colocadas num local fresco e livre de incidência da luz solar. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007, 2009; Vieira, 2017)

³ Imagem retirada de <https://www.wine.com.br/winepedia/curiosidades/e-tempo-de-colheita/> no dia 6/8/2019.



Fig. 1.8 - Passadeira de escolha manual de uvas.⁴

O **desengace** consiste na separação da parte lenhosa dos bagos, com o propósito do esmagamento exclusivo dos bagos. Se a quantidade de uvas for muito grande este processo é feito com o auxílio de um desengaçador, como o ilustrado na Fig. 1.9, à esquerda. (Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017) Esta etapa não é obrigatória para o vinho branco, apesar de ser mandatária no caso do vinho tinto, uma vez que se não for efetuada, o engaço irá influenciar o sabor do vinho. (Spanish Wines, 2011)

Imediatamente depois do desengace ou simultaneamente, em alguns casos, ocorre o **esmagamento**. É neste processo que ocorre a libertação do mosto através do rebentamento da película dos bagos. (Cipriano, 2017) Esta película possui uma substância química, conhecida como tanino que entre outros fatores, é responsável pela coloração do vinho. Devido à existência desta substância, as uvas pretas são esmagadas e as películas dos bagos são deixadas juntamente com o mosto, como se pode observar na Fig. 1.9, à direita, já no caso das uvas brancas estas são comprimidas (prensadas) e as películas são retiradas. (Rizzon e Dall'Agnol, 2009; Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017)

A celeridade destes processos é importante, uma vez que o mosto fica exposto à oxidação e à ação de leveduras que podem causar o início precoce da fermentação alcoólica. (Rizzon e Dall'Agnol, 2009)

⁴ Imagem retirada de <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/rececao-de-uva-desengace-esmagamento-e-esgotamento/#jp-carousel-13130>, no dia 6/8/2019.



Fig. 1.9 - Desengace (à esquerda) e esmagamento (à direita). ⁵

A **extração** e a **clarificação do mosto** são práticas exclusivas do vinho branco, sendo a extração o processo que consiste na remoção das películas dos bagos que se encontram juntamente com o mosto. A clarificação é o passo que se sucede, no qual é feita a separação do mosto límpido dos fragmentos restantes (borras), após a extração. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009) A clarificação do mosto não pode ser excessiva, é necessário que permaneçam algumas partículas em suspensão para auxiliar à ocorrência da fermentação, de outra forma esta demorará muito tempo a iniciar ou não ocorrerá durante o tempo necessário. (Houtman, Marais e Plessis, 1980)

A obtenção do mosto clarificado pode ser efetuada por processo estático, com ou sem auxílio de produtos enológicos (para acelerar o procedimento), por filtração ou centrifugação. O primeiro método é o mais simples, consistindo na sedimentação natural das borras com posterior decantação. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009)

A **sulfitagem do mosto** é a adição de dióxido de enxofre (SO₂), em quantidades variáveis, de acordo com a quantidade de uvas e com o seu estado sanitário e de maturação. O dióxido de enxofre irá atuar como antioxidante e evitar o crescimento de microrganismos. (Vieira, 2017)

A **encuba** resume-se à passagem do produto do esmagamento ou da prensagem para um depósito adequado, conhecido vulgarmente como cuba. No caso do vinho branco é apenas passado o mosto, no tinto são passados o mosto e as películas, sem o engaço. Durante esta etapa são adicionados leveduras e nutrientes ao mosto. (Vieira, 2017) A adição de leveduras do tipo *Saccharomyces cerevisiae* é uma prática aplicada de forma generalizada, contribuindo para a melhoria das características aromáticas da uva. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009) Os nutrientes são adicionados para complementar os já existentes no mosto, garantindo o funcionamento do metabolismo das leveduras durante o processo de fermentação. (Vieira, 2017)

⁵ Imagem à esquerda, retirada de <http://tricotandoempalavras.blogspot.com/2016/06/2-parte-sobre-vinhos-vinificacao.html> e à direita, de <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/rececao-de-uva-desengace-esmagamento-e-esgotamento/>, no dia 7/8/2019.

A **correção do açúcar do mosto** é uma prática associada à manipulação do grau de açúcar do mosto até valores desejados. Existem procedimentos durante o período de crescimento da uva e aquando da sua colheita que permitem diminuir, ou evitar a necessidade de execução deste método. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007, 2009)

A **maceração pré-fermentativa** ocorre durante o contacto entre os fragmentos sólidos da uva e o mosto, antes da fermentação. (González-Neves *et al.*, 2015) Existem técnicas que se baseiam em efetuar esta prática a baixas temperaturas, conhecidas como maceração pré-fermentativa a frio. Esta prática favorece a libertação de pigmentos de cor, aroma e sabor das partes sólidas para o mosto, no entanto, os resultados são ambíguos no que se refere à eficácia desta técnica. (González-Neves *et al.*, 2015) O **arrefecimento do mosto** previne o desenvolvimento das leveduras, evitando a formação de etanol, o que permitirá a extração de componentes solúveis em água, tais como antocianinas e taninos com pouco peso molecular. (Álvarez *et al.*, 2006; Casassa e Sari, 2015; Aleixandre-tudo e Toit, 2018) Diminui ainda a extração de taninos mais fortes e amargos, provenientes das sementes, durante o processo fermentativo. (Álvarez *et al.*, 2006)

A **fermentação alcoólica**, é a etapa de transformação bioquímica do mosto em vinho. Este processo é o mais importante de toda a produção de vinho, sem o qual seria apenas sumo de uva. A fermentação ocorre através do desdobramento das moléculas de açúcar presentes no mosto em CO₂ e álcool etílico, por ação das leveduras adicionadas no momento da encuba, a Fig. 1.10 permite observar o mosto durante o processo de fermentação. (Antonello, 2007; Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017) Esta transformação bioquímica demora aproximadamente 30 dias e é exotérmica, ocorrendo libertação de calor. Como tal, deve ser efetuada num ambiente com a temperatura controlada. A densidade do mosto também é uma propriedade que deve ser supervisionada, sendo um fator indicativo do progresso da fermentação. Valores de densidade superiores a um indicam que ainda existe açúcar, logo, a fermentação ainda não terminou. (Antonello, 2007) A oxigenação adequada é ainda outro fator de grande relevância e influência na qualidade do vinho, dado que tem que ser suficiente para a multiplicação das leveduras, sem ser excessiva. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007, 2009) Para além dos fatores já mencionados, a fermentação é também influenciada pelos níveis de açúcar, pela acidez e pela presença de micronutrientes. (Spanish Wines, 2011)



Fig. 1.10 - Ilustração do processo de fermentação alcoólica. ⁶

A **remontagem** é uma prática exclusiva do vinho tinto, efetuada com o propósito de homogeneizar o mosto em fermentação, arejando-o e favorecendo a absorção dos compostos responsáveis pela cor, odor e sabor. Nesta etapa são utilizadas bombas e tubagens para retirar o mosto em fermentação pela parte inferior da cuba, introduzindo-o posteriormente pela parte superior. (Vieira, 2017)

A **maceração** é um processo que à semelhança do anterior, é efetuado unicamente no vinho tinto, sendo o procedimento que lhe atribui identidade. Pode ser definido como o período durante o qual as partes sólidas dos bagos (peles e sementes) se encontram em contacto com o mosto. (Casassa e Harbertson, 2014; Aleixandre-tudo e Toit, 2018) Nesta etapa os compostos presentes na película dos bagos e nas grainhas são extraídos de forma seletiva, passando para o mosto, atribuindo-lhe cor e estrutura. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007; Aleixandre-tudo e Toit, 2018) Os fatores externos de maior influência nesta fase são o tempo, a temperatura e o número de remontagens efetuadas. Nos métodos de vinificação tradicionais a maceração ocorre em simultâneo com a fermentação alcoólica, tirando partido da formação de etanol e da elevação da temperatura para dissolver as partes sólidas da uva. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007)

A **desencuba**, ilustrada na Fig. 1.11, e a **prensagem** são efetuadas neste ponto da produção unicamente no vinho tinto, tendo a prensagem já sido realizada anteriormente no vinho branco, imediatamente após o desengace. O momento exato em que são feitas depende do tipo de vinho tinto que se quer obter. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007) Estas etapas são feitas através da passagem do vinho para um cilindro rotativo envolvido por uma camisa que vai sendo enchida com ar, comprimindo as massas (películas e grainhas) contra as paredes, extraíndo-lhes líquido. A parte sólida da uva, designada por bagaço, é posteriormente retirada da cuba. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007; Vieira, 2017)

⁶ Imagem retirada de <https://www.clubedosvinhos.com.br/fermentar-para-nascer-o-vinho/> no dia 7/8/2019.

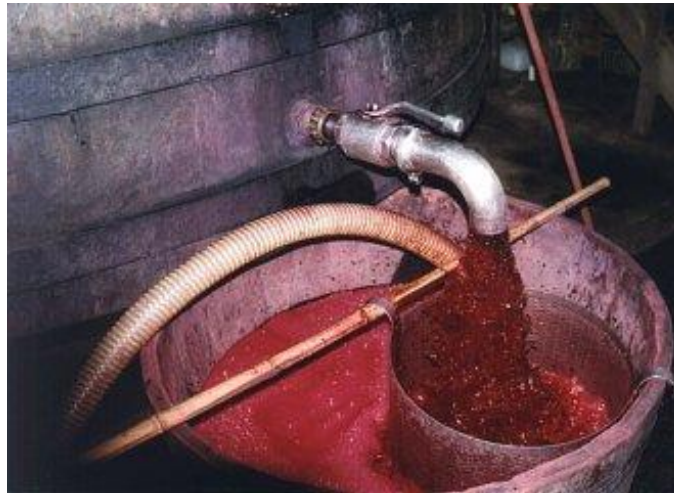


Fig. 1.11 - Ilustração da desencuba. ⁷

A **fermentação malolática** é definida como o processo de transformação do ácido málico em láctico. Geralmente ocorre de forma natural e em simultâneo com a fermentação alcoólica. Durante este processo decorre a redução da acidez do vinho e ainda reações secundárias como o desprendimento de dióxido de carbono, o aumento da acidez volátil e do pH. (Rizzon e Dall’Agnol, 2007, 2009; Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017) Este processo é evitado nos vinhos brancos pouco ácidos, uma vez que influencia os seus aromas característicos. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009)

A **sulfitagem do vinho** é uma etapa onde ocorre uma nova adição de SO_2 , com o intuito de estabilizar o vinho e evitar que este perca qualidade. A necessidade de uma nova adição deve-se ao facto de ter ocorrido libertação do SO_2 anteriormente adicionado, durante o processo de fermentação. (Vieira, 2017)

A **trasfega** consiste na operação de passagem do vinho sem os resíduos de películas de uva, grainhas, leveduras, etc. para uma cuba nova. Esta etapa tem que ser efetuada devido à ocorrência de sedimentação de partículas no final da fermentação. (Vieira, 2017)

A **maturação** é o processo de estágio do vinho, posterior à trasfega. Ocorrendo geralmente em cubas de aço inoxidável ou em barris de madeira, habitualmente de carvalho. (Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017) A madeira tem um papel importante neste processo, adicionando um sabor distinto aos vinhos, pelo que por vezes a maturação é feita juntamente com lascas de carvalho, colocadas no interior dos barris. (Spanish Wines, 2011)

⁷ Imagem retirada de <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/como-se-produz-vinho-desencuba-e-transfega/> no dia 7/8/2019.

Como em etapas anteriores, a qualidade pretendida para o vinho irá ditar o tempo de maturação, tal como o local em que será efetuada. Quanto melhor a qualidade desejada para o vinho, maior o tempo que deverá passar em barris de madeira, podendo ser até totalmente efetuada nos mesmos. (Spanish Wines, 2011)

O oxigénio tem um papel muito importante na maturação de vinhos dentro de barris, afetando especialmente a cor. Existem técnicas que permitem controlar a oxigenação dos mesmos. (Spanish Wines, 2011)

A clarificação e a estabilização tartárica são processos fundamentais após a fermentação, uma vez que sem elas o vinho não apresenta as condições adequadas para garantir o seu estado de conservação. (Rizzon e Dall'Agnol, 2009)

A **clarificação** é um processo que permite atribuir ao vinho uma cor cristalina, sendo a primeira parte da estabilização. (Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017) Com esta prática pretende-se remover as partículas suspensas restantes dos processos precedentes. Pode ser feita através de vários métodos, tais como filtrações sucessivas com recurso a um filtro tangencial com dois cilindros de celulose ou por flutuação com recurso à injeção de bolhas de ar. (Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017)

A **estabilização tartárica** tem como objetivo colmatar a instabilidade do vinho, sendo que esta é uma característica prejudicial à conservação do mesmo. É frequentemente feita com recurso a temperaturas muito baixas que causam a cristalização dos tartaratos (bitartarato de potássio), como os que se podem observar na Fig. 1.12, e posterior precipitação e remoção dos mesmos. (Rizzon e Dall'Agnol, 2009) Este processo é feito antes do engarrafamento para evitar que ocorram alterações no vinho depois de este ser vendido. Outra substância que deve ser removida durante a estabilização é o açúcar residual. Se este permanecer após o engarrafamento, poderá ocorrer fermentação na garrafa. Esta ocorrência pode ser evitada com recurso à injeção de dióxido de enxofre e ácido sórbico. (Spanish Wines, 2011)



Fig. 1.12 - Representação dos cristais de bitartarato de potássio. ⁸

O **engarrafamento** é a etapa final do processo de vinificação, ilustrada na Fig. 1.13. Esta etapa é efetuada quando o vinho se encontra estabilizado, apresentando todas as condições necessárias para poder ser comercializado. O recipiente utilizado com mais frequência é a garrafa de vidro, selada com rolha de cortiça. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009; Spanish Wines, 2011; Vieira, 2017)



Fig. 1.13 - Ilustração de parte do processo de engarrafamento de vinho. ⁹

⁸ Imagem retirada de <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/como-se-produz-vinho-estabilizacao/> no dia 7/8/2019.

⁹ Imagem retirada de <http://sequetin.blogspot.com/2010/06/7-o-processo-de-fabricacao-do-vinho.html> no dia 7/8/2019.

Já o **envelhecimento em garrafa**, é uma etapa opcional, efetuada apenas em alguns tipos de vinho que são armazenados na garrafa durante 1 a 2 anos, antes de serem comercializados. (Vieira, 2017) Este processo permite-lhes adquirir características específicas que lhes adicionam qualidade e, conseqüentemente, valor comercial.

- **Técnicas de arrefecimento usadas na produção de vinho**

As técnicas de arrefecimento usadas na produção de vinho são principalmente aplicadas em certos pontos da sua produção, nomeadamente no mosto antes e durante a sua fermentação e posteriormente no vinho, para controlo da sua estabilização tartárica.

As **técnicas de arrefecimento do mosto** comumente utilizadas **antes da fermentação** dividem-se em técnicas diretas e indiretas. Os sistemas de refrigeração direta envolvem o contacto entre dois fluidos, nomeadamente o mosto e o fluido refrigerante. Geralmente o fluido refrigerante utilizado, responsável pelas trocas de energia, é o azoto (N₂) ou o dióxido de carbono (CO₂) devido à sua capacidade de evaporar a temperaturas baixas, o que lhes permite retirar calor ao mosto. (Sáez *et al.*, 2017) Os sistemas de refrigeração indiretos baseiam-se na utilização de vários tipos de permutadores, nomeadamente permutadores de placas, tubulares ou em espiral. Os permutadores de placas, por onde o mosto circula em sentido inverso ao fluido refrigerante, são constituídos por placas retangulares com superfície irregular para criar turbulência. Os permutadores tubulares possuem uma conduta central de pequeno diâmetro colocada no interior de outra de maior diâmetro. As trocas de calor são feitas circulando o mosto na conduta mais pequena e fluido refrigerante na conduta externa. Os permutadores em espiral também executam as trocas de calor através de circulação em fluxo contrário entre o fluido refrigerante e o mosto, com a exceção de a circulação ser feita num percurso em espiral. (Sáez *et al.*, 2017)

A aplicação de **técnicas de controlo de temperatura durante a fermentação** deve-se a esta ser um processo exotérmico. Este controlo pode ser feito com técnicas como os sistemas de borrifar água, o cintamento de cubas, as placas de arrefecimento ou as bobinas submersas. Os sistemas de borrifar água, ou chuveiros, borrifam os tanques onde ocorre a fermentação, criando uma camada homogénea de água que percorre as paredes do tanque. Estes sistemas estão equipados com funcionalidades que permitem controlar a temperatura da água, de acordo com a variação de temperatura, e ainda com canais de recolha da mesma na base dos tanques. (Sáez *et al.*, 2017) O cintamento de cubas, também conhecido por camisas de refrigeração, é o método de controlo de temperatura durante a fermentação mais utilizado. As camisas de refrigeração são geralmente colocadas na parte superior dos tanques, ocupando 15 a 30% da superfície dos mesmos. O controlo de temperatura é feito com o auxílio de água com glicol ou fluidos refrigerantes, circulados pelas camisas de refrigeração, podendo ocorrer, ou não, mudança de estado por parte do refrigerante. (Sáez *et al.*, 2017) As placas de arrefecimento e as bobinas submersas possuem o mesmo princípio de funcionamento,

baseando-se em fenômenos de convecção e condução para efetuar o arrefecimento, utilizando a circulação de um fluido refrigerante (água com glicol ou outros semelhantes) nas placas ou bobinas submersas no mosto. Estas últimas técnicas são utilizadas em cubas com dimensões pequenas ou médias, podendo ser colocadas exatamente nas zonas com maior geração de energia térmica, o que leva ao aumento da sua eficiência. (Sáez *et al.*, 2017)

Relativamente às **técnicas de controlo do arrefecimento para a estabilização tartárica de vinhos**, o arrefecimento necessário nesta etapa pode ser obtido com recurso a um sistema de permutação constituído por dois cilindros e uma série de paletes. No cilindro interior é circulado o vinho e no exterior o fluido refrigerante, em sentido inverso. As paletes efetuam movimentos de rotação, removendo o gelo formado durante o processo que se deposita nas paredes do permutador. (Sáez *et al.*, 2017)

- **Conservação de vinho**

O local de armazenamento das garrafas deve estar convenientemente higienizado e o ambiente deve ser controlado, com pouca incidência de luz, humidade moderada (70%), temperatura baixa e constante bem como a ausência de trepidações. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009) Um exemplo deste tipo de local pode ser observado na Fig. 1.14.

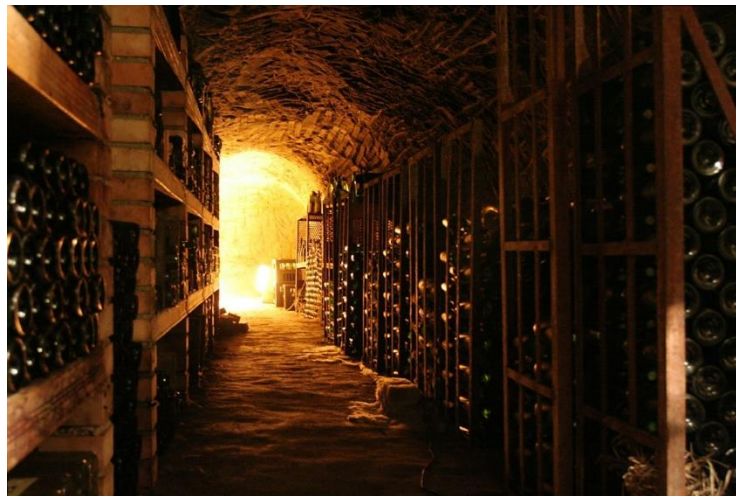


Fig. 1.14 - Ilustração de uma cave para conservação de vinho. ¹⁰

A temperatura de conservação é um fator de imensa influência no que corresponde às características organoléticas do vinho, como tal merece especial atenção aos seus valores. A conservação de vinho num local frio previne a sua evolução, já num local quente acelera-a, causando uma maturação mais rápida. (Gaspar *et al.*, 2019) O intervalo de temperatura de conservação adequado varia consoante o tipo de vinho e as suas características. O vinho tinto deve ser conservado entre 14 e 18°C, uma vez que temperaturas mais baixas iriam causar a

¹⁰ Imagem retirada de <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/como-guardar-uma-garrafa-de-vinho-rolha-e-conservacao-do-vinho-3/> no dia 7/8/2019.

perda de sabor. Para o vinho branco as temperaturas variam entre 8 e 12°C, evitando que estes adquiram um sabor excessivo a álcool. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009; Gaspar *et al.*, 2019)

- **Subprodutos da Vinificação e poda das vinhas**

Os subprodutos da vinificação possuem um grande potencial de aplicação e reutilização, amplamente aumentados com os desenvolvimentos tecnológicos atuais. De entre estes subprodutos encontram-se engaços, bagaço, grainhas, borras e sarros. (Silva, 2003)

Os engaços são a parte lenhosa retirada dos cachos de uva e na sua composição estão presentes celulose, lenhina e matéria tartárica, assim como um teor de humidade de 50%, aproximadamente. (Silva, 2003)

O bagaço é o subproduto da vinificação resultante da prensagem das massas vínicas (parte sólida das uvas e o mosto que as embebe) e apresenta-se como o subproduto com maior volume (12 a 15% do peso da matéria prima inicial). Na sua composição encontram-se resíduos de açúcar, proteínas e lípidos (com origem nas grainhas). Os lípidos enriquecem o bagaço, tornando-o uma fonte de energia bastante rentável, uma vez que possui um calor de combustão mais elevado que o da madeira. (Silva, 2003)

As grainhas são um dos subprodutos provenientes da prensagem dos bagos de uva, sendo englobadas no bagaço, apesar de ser possível serem separadas do mesmo. Na sua composição encontram-se principalmente celulose e matérias gordas, apresentando um teor de humidade relativamente reduzido. (Silva, 2003)

As borras de vinho estão definidas no Regulamento (CE) 1493/99 como “o resíduo que fica depositado nos recipientes que contenham vinho após fermentação ou aquando da armazenagem ou após tratamento autorizado, bem como o resíduo obtido pela filtração ou pela centrifugação deste produto” e ainda os resíduos depositados nos recipientes que contenham mosto de uvas, depois de devidamente tratados. As borras são compostas maioritariamente por vinho (70 a 90%), contendo ainda vestígios de substâncias tartáricas, detritos vegetais, leveduras de fermentação, entre outros. (Pato, 1988)

Os sarros são o subproduto da vinificação com menor expressão a nível volumétrico, consistem no resíduo sólido que fica agarrado às paredes dos recipientes onde o vinho é contido. Estes formam um revestimento duro devido à sua composição ser maioritariamente bitartarato de potássio (70%), substância que lhes atribui valor, com a restante a dividir-se entre tartarato de cálcio e substâncias diversas.

Para além dos subprodutos da vinificação já mencionados, existem ainda os resíduos das podas, obtidos durante o desbaste das videiras, removendo a parte inútil das árvores. Esta prática é geralmente efetuada anualmente e os ramos, troncos e galhos cortados são normalmente queimados a céu aberto, sem aproveitamento energético.

1.3.4. Cogeração e Trigeração

- **Conceitos e princípios da cogeração e da trigeração**

A cogeração, também designada por CHP (*Combined Heat and Power*), consiste na formação de um sistema integrado, com o propósito de efetuar geração simultânea de energia elétrica e térmica a partir de uma única fonte primária. (Castro, 2009; Silva e Costa, 2012) Geralmente, a energia elétrica possui uma aplicação principal, sendo a energia térmica usada em aplicações secundárias como forma de aproveitamento e poupança do combustível utilizado como fonte primária (derivados de petróleo, carvão ou biomassa). (Silva e Costa, 2012) A cogeração permite ter um aproveitamento de até 80% da energia contida na fonte primária, transformando-a em água quente, vapor, eletricidade, força motriz, calor ou frio. (Velho, 2005; Silva e Costa, 2012)

A trigeração, produção combinada de eletricidade, calor e frio com um único combustível como fonte primária é uma extensão da cogeração em que se adiciona a produção de calor ou frio, conforme a já existente. (Bicho, 2008; Silva e Costa, 2012) Este processo, consiste no aproveitamento da energia térmica libertada na geração de eletricidade para produzir calor e frio, aumentando significativamente a produtividade dos processos e a sua eficiência, o que conduz a benefícios económicos e ambientais. (Figueira, 2010; Martins, 2012) O modo de funcionamento mais comum nos sistemas de trigeração recorre a *chillers* para efetuar recuperação de calor e obter frio, através de ciclos de absorção. Esta tecnologia tem sido aplicada principalmente no sector terciário, numa gama de edifícios que engloba hotéis, hospitais, escolas, universidades, aeroportos e grandes centros comerciais. (Silva e Costa, 2012)

- **Tecnologias de trigeração**

Uma instalação de trigeração é constituída por uma central de cogeração, geralmente composta por um dispositivo que produz eletricidade e energia térmica (calor), acoplado a um aparelho que produz frio (*chiller* de absorção) a partir da energia térmica proveniente do processo de cogeração. (Silva e Costa, 2012) O esquema da Fig. 1.15 permite visualizar a base de funcionamento de um sistema de trigeração.

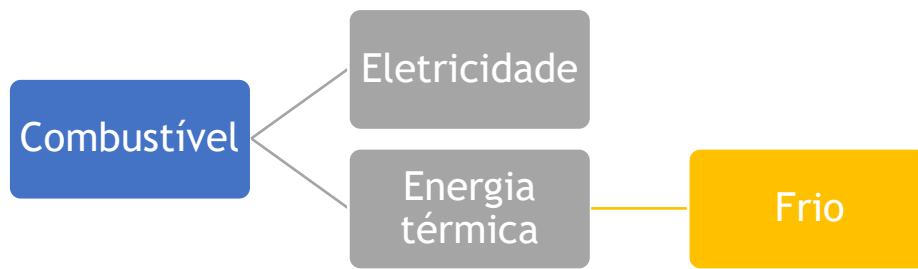


Fig. 1.15 - Esquema simplificado do funcionamento de um sistema de trigeração.

As tecnologias de cogeração mais importantes disponíveis no mercado são as turbinas a gás e a vapor, os ciclos combinados, o motor alternativo de combustão interna, as pilhas de combustível e as micro-turbinas. Das tecnologias mencionadas anteriormente, as primeiras quatro têm sido aplicadas em instalações, como complemento da cogeração durante as últimas décadas, já as últimas duas são relativamente recentes. Os motores de combustão interna são a tecnologia mais comum, as turbinas de gás são principalmente usadas em grandes complexos de edifícios, como hospitais e as pilhas de combustível são usadas majoritariamente no setor terciário, devido ao seu funcionamento silencioso. (Silva e Costa, 2012)

- **Trigeração utilizando um motor de combustão interna**

Um motor de combustão interna consiste num dispositivo capaz de converter energia térmica proveniente de uma reação química em energia mecânica, sendo geralmente divididos consoante o modo de ignição, em motores de ciclo Diesel ou de Otto. Quando utilizado em sistemas de cogeração ou trigeração, é capaz de produzir água quente a temperaturas de até 90°C ou vapor de baixa pressão a 130°C. (Alcântara, 2012) O acoplamento de um gerador elétrico ao motor torna possível a conversão da energia mecânica em energia elétrica e o calor libertado durante o funcionamento do motor pode ser aproveitado como energia térmica, formando assim um sistema de cogeração.

Os sistemas de trigeração podem ser dimensionados através da junção de um motor de combustão interna a um *chiller* de absorção de efeito duplo. O funcionamento de um sistema de trigeração que utiliza um motor de combustão interna, de forma simplificada, consiste no aproveitamento da energia presente nos gases de escape da combustão para gerar vapor de baixa pressão ou, simplesmente, água quente. Posteriormente, no primeiro caso, pode-se utilizar o vapor de baixa pressão para aquecer um circuito de água quente para ativar o(s) *chiller(s)* responsável(eis) pelo arrefecimento. O circuito de água quente é também alimentado pelo circuito de arrefecimento do motor de combustão, absorvendo o calor proveniente do mesmo e do óleo de lubrificação. (Alcântara, 2012) A capacidade de aproveitamento do calor proveniente de várias fontes torna os motores de combustão interna bastante adequados para englobar sistemas de cogeração e trigeração.

- **Vantagens da trigeriação**

As principais vantagens da trigeriação são as seguintes: (Silva e Costa, 2012)

- Economia de mais de 25% de energia primária, comparativamente à produção convencional de energia elétrica;
- Redução das emissões poluentes para a atmosfera, como CO₂, aquando da utilização de gás natural, em alternativa aos combustíveis derivados do petróleo ou carvão;
- Custos energéticos das instalações 20 a 30% mais reduzidos que os das instalações convencionais;
- Aumento da fiabilidade do abastecimento energético através da descentralização do fornecimento de energia elétrica, o que irá garantir que não ocorrem interrupções no funcionamento da central, causados pela falta de abastecimento por parte da rede;
- Aumento da estabilidade do sistema elétrico e do seu alívio durante os meses quentes de verão, uma vez que o arrefecimento deixa de estar a cargo da eletricidade.

1.3.5. Refrigeração por absorção

- **Chillers de absorção, compressão e adsorção**

Um *chiller* consiste num dispositivo com uma gama bastante alargada de aplicações cuja principal função é a de arrefecer um fluido, geralmente água ou fluido refrigerante, através de um ciclo termodinâmico. (Silva e Costa, 2012) Em seguida será feita uma introdução aos *chillers* de absorção, adsorção e compressão.

Os *chillers* de absorção são aplicados em sistemas CCHP (*Combined Cool Heating and Power*) e permitem produzir água fria a partir de uma fonte de calor, utilizando uma solução química, num processo termoquímico de absorção. (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001; Wu e Wang, 2006) Os *chillers* de absorção e compressão possuem o mesmo princípio de funcionamento, sendo a fonte de energia que alimenta a compressão o que os distingue. Os *chillers* de absorção funcionam como um compressor termoquímico, cuja fonte de energia é o calor, já no caso dos *chillers* de compressão a fonte de energia é o trabalho, obtido recorrendo a um dispositivo de rotação, como um motor elétrico, um motor de combustão, uma turbina de combustão ou uma turbina a vapor. Os *chillers* de absorção foram introduzidos no mercado como uma alternativa mais rentável aos *chillers* de compressão. (Wu e Wang, 2006)

À semelhança dos *chillers* de absorção, os de adsorção também convertem energia térmica (calor) em frio, com a distinção de nos *chillers* de absorção ocorrer mistura entre o fluido refrigerante e o adsorvente. Os *chillers* de adsorção utilizam geralmente água como fluido refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. A adsorção é um processo exotérmico de adesão reversível resultante na fixação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de

um corpo composto por um material poroso. (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001)

- **Tipos de *chillers* de absorção**

Os *chillers* de absorção são geralmente subdivididos de acordo com o tipo de absorvente ou a fonte de calor utilizados. Segundo a fonte de calor podem ser *chillers* de absorção de queima direta, cujo calor necessário para o funcionamento do sistema é obtido através da combustão direta de um combustível, como o gás natural; ou *chillers* de absorção de queima indireta que utilizam fontes indiretas de calor, como vapor a pressão baixa ou água quente. (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001)

A subdivisão conforme o absorvente utilizado é geralmente feita no caso dos *chillers* de absorção de queima indireta, nos quais os tipos de absorvente mais utilizados são os de amoníaco ou de brometo de lítio. Os primeiros sistemas representam custos de investimento elevados, sendo apenas utilizados em instalações de grande capacidade. Já os segundos, são mais utilizados em sistemas de micro cogeração, graças a uma melhor relação entre os custos e a eficiência energética. (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001)

Os *chillers* de absorção de brometo de lítio subdividem-se ainda em efeito simples e efeito duplo¹¹, como os apresentados na Fig. 1.16. Os de efeito simples são maioritariamente usados em arrefecimento de edifícios com necessidade de água fria entre 6 e 7°C, operando com água quente que se encontra entre 80 e 150°C. Os de efeito duplo possuem dois estágios de geração para separar o fluido refrigerante do absorvente, o que leva a que a água quente utilizada no sistema tenha que estar a temperaturas mais elevadas, entre 155 e 205°C. Este tipo de *chiller* é mais caro que o de efeito simples, porém, possui um melhor coeficiente de desempenho e uma maior eficiência. (Florides *et al.*, 2002)

¹¹ A minha tradução para português dos termos “*Single effect*” e “*double effect*”.



Fig. 1.16 - Chillers da marca Yazaki, modelo WFC-SC5, de efeito simples, à esquerda e de efeito duplo da série CH-K, à direita. ¹²

- **Princípio de funcionamento dos chillers de absorção e seus componentes**

Os *chillers* de absorção são compostos por várias secções, as principais são a do condensador, a do evaporador, a do absorvedor e a do gerador. De seguida será explicado o ciclo de funcionamento de um *chiller* a partir do gerador: (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001; Wu e Wang, 2006; Proença, 2011)

- O fluido refrigerante, geralmente água, tem um ponto de ebulição mais baixo do que o absorvente, como tal, quando é fornecido calor ao gerador por parte de uma fonte quente, a água evapora, separa-se do absorvente e obtém-se uma “solução fraca”, designação que se deve à baixa concentração de fluido refrigerante e vapor de água. A solução fraca desloca-se, em seguida, para o condensador.
- No condensador ocorre condensação do vapor de água proveniente do gerador, através da utilização de serpentinas de arrefecimento. O calor de condensação é removido com auxílio de água que circula entre o *chiller* e uma torre de arrefecimento. A água condensada circula até ao evaporador graças à existência de um diferencial de pressão entre o condensador e o evaporador.
- No evaporador, a água entra em contacto com uma serpentina de água gelada, evapora e retira calor do ambiente envolvente, o que gera potência de arrefecimento. A água transforma-se novamente em vapor de água e segue para o absorvedor.
- A solução fraca, previamente mencionada, passa do gerador para o absorvedor e junta-se ao vapor de água proveniente do evaporador, absorvendo-o facilmente devido às suas

¹² Imagens retiradas de <http://www.yazakienergy.com/index.htm> no dia 7/8/2019.

características hidrófilas, tornando-se então uma “solução forte”. Durante o processo de absorção os tubos de água do condensador atravessam o absorvedor, dissipando o calor libertado;

- Por último, uma bomba hidráulica transporta a solução forte do absorvedor para o gerador, reiniciando o ciclo.

Durante este processo, a solução forte recebe calor da solução fraca (que efetua o caminho inverso), através de um permutador de calor, o que aumenta a eficiência do processo. (Proença, 2011) A imagem abaixo permite visualizar os vários componentes de um *chiller* de absorção.

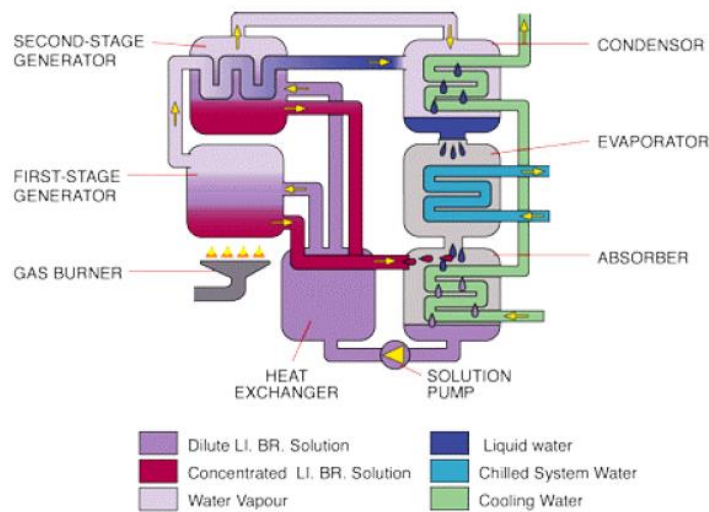


Fig. 1.17 - Esquema de funcionamento de um *chiller* de absorção e seus componentes. ¹³

- **Vantagens e desvantagens da utilização de *chillers* de absorção**

Os *chillers* de absorção são uma tecnologia complexa com vantagens bastante visíveis, especialmente a nível ambiental e na redução de consumos energéticos, algumas das principais vantagens serão apresentadas abaixo: (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001; Bicho, 2008)

- Não requerem partes móveis o que leva a uma necessidade reduzida de manutenção e a uma vida útil longa;
- Podem utilizar água como fluido refrigerante, em vez de outras substâncias que prejudicam a camada de ozono;
- Possuem um consumo de eletricidade 10% inferior ao dos *chillers* de compressão elétricos;
- Funcionam praticamente sem necessidade de eletricidade;
- Economizam energia ao recuperarem calor que de outra forma seria desperdiçado;
- Ocupam pouco espaço nas infraestruturas e possuem níveis reduzidos de ruído e vibrações;

¹³ Imagem retirada de (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001) no dia 17/06/2019.

- No caso dos *chillers* de absorção de queima indireta, estes funcionam com uma gama ampla de fontes quentes, tais como vapor de baixa pressão, água quente ou energia solar.

Apesar de todas as vantagens mencionadas anteriormente, este tipo de tecnologia também possui desvantagens, sendo algumas delas as seguintes: (CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente, 2001; Bicho, 2008)

- Coeficiente de desempenho (COP) mais reduzido que os *chillers* de compressão e investimento inicial superior;
- No caso dos *chillers* de absorção de queima direta, são necessários produtos de combustão, o que se traduz num aumento dos custos.

Capítulo 2

Levantamento das necessidades de frio na produção vitivinícola

O controlo de temperatura durante a produção de vinho é extremamente importante, tendo grande influência na qualidade do produto final. Como já foi previamente mencionado (cf. 1.3.3.), algumas etapas da produção de vinho são facultativas, ficando ao critério dos produtores. O mesmo ocorre com a utilização de frio na produção vitivinícola. Contudo, esta contribui em grande escala para uma melhoria na qualidade do vinho a ser produzido. Tal afirmação pode constatar-se pelo facto de mais de 40% do consumo energético das adegas ser dedicado à refrigeração. (Smyth e Nesbitt, 2014)

A refrigeração é por vezes aplicada exclusivamente aos vinhos de melhor qualidade, em determinadas etapas da vinificação ou através do envelhecimento dos mesmos em ambiente controlado. Desde a segunda metade do século passado tem ocorrido uma transição do controlo do ambiente em que ocorre o envelhecimento de vinhos, de edifícios subterrâneos para espaços com sistemas de condicionamento de ar. Esta alteração deve-se essencialmente à dimensão mais reduzida dos custos da eletricidade necessária para alimentar um sistema de condicionamento de ar, em comparação com os custos de construção e manutenção de um espaço dedicado ao envelhecimento de vinho. (Benni *et al.*, 2013; Tinti *et al.*, 2015)

Uma vez que o foco principal deste trabalho são as etapas da produção de vinho em que é possível aplicar refrigeração, de seguida, será feita uma apresentação das mesmas. Nesta apresentação também serão discriminados os períodos de tempo e as temperaturas a que se deve sujeitar o mosto ou o vinho, conforme a etapa em questão.

A primeira etapa com potencial requisição de refrigeração na produção vitivinícola, é a clarificação do mosto por processo estático (sedimentação natural das borras), exclusiva do vinho branco. Esta deve ser feita com o mosto arrefecido a menos de 10°C durante 18 a 24 horas ou durante 8 a 12 horas, no caso da utilização de produtos enológicos. (Rizzon e Dall'Agnol, 2009)

Posteriormente, a maceração pré-fermentativa a frio pode ser feita recorrendo a temperaturas muito baixas, através da utilização de permutadores tubulares, gelo seco e inserindo o mosto em espaços com a temperatura controlada. Geralmente, o mosto é arrefecido a 4°C por períodos de tempo de até 12 dias. Métodos menos extremos utilizam a circulação de um fluido

refrigerante, assegurando a refrigeração graças a permutadores de calor/frio ou ao cintamento de cubas, arrefecendo o mosto a temperaturas entre os 10 e os 15°C durante 3 a 5 dias. (Mena, 2015; Aleixandre-tudo e Toit, 2018)

A fermentação alcoólica, etapa que atribui identidade ao vinho, requer controlo de temperatura, uma vez que só acontece a temperaturas entre os 5 e os 38°C. No entanto, no caso do vinho branco, esta deve ocorrer a temperaturas inferiores a 20°C, segundo Rizzon e Dall’Agnol (2009) ou 22°C, segundo Sáez *et al.* (2017). Contudo, o intervalo mais indicado situa-se entre 8 e 14°C; já o vinho tinto deve fermentar entre 25 e 30°C segundo informações obtidas em Spanish Wines (2011) ou 28 e 30°C, segundo Sáez *et al.* (2017). Para ocorrência de fermentação malolática, o mosto deve encontrar-se num intervalo de temperatura entre 15 e 18°C, preferencialmente, com borras no fundo do recipiente. (Rizzon e Dall’Agnol, 2009)

Finalmente, a estabilização tartárica do vinho requer que este seja arrefecido entre os -3 e 0°C, segundo Rizzon e Dall’Agnol (2009) ou os -2 e os 0°C, durante 7 a 10 dias, de acordo com Sáez *et al.* (2017). Estas são as temperaturas mais reduzidas de entre todas as etapas da vinificação, o que se deve à necessidade de ocorrência de cristalização do bitartarato de potássio.

Também o ambiente de conservação do vinho, após a sua produção, deve ser controlado, essencialmente a nível de temperatura. Os intervalos de temperatura mais comumente definidos descrevem intervalos entre os 8 e 10°C para vinhos brancos e entre 23 e 25°C para os tintos. (Vieira, 2017) Como tal, a conservação de vinho branco está mais interligada com a refrigeração que a do vinho tinto.

Durante este capítulo serão expostos os cálculos efetuados para dimensionar um sistema de arrefecimento capaz de englobar as várias etapas da vinificação que requerem refrigeração. Para se atingir este objetivo foram tomadas considerações baseadas no estado da arte, contudo, estas podem vir a ser distintas do que se verifica na prática.

2.1. Considerações iniciais

A exploração na qual este trabalho se baseia localiza-se no distrito de Vila Real, possui uma totalidade de 160 hectares de vinhas, dividindo o seu cultivo entre uvas brancas e uvas pretas, com dois terços da produção a ser de uvas pretas. As vinhas apresentam uma densidade média de plantação de 3000 pés de videira por hectare, perfazendo uma totalidade de 480000 pés de videira. Sabe-se ainda que em média cada hectare produz 3500 a 4000 kg de uvas, como tal, é de esperar uma colheita anual entre 560 a 640 toneladas de uvas. Neste trabalho será considerada uma colheita de aproximadamente 600 toneladas, dividida por 60 dias de colheita, perfazendo uma média de 10 toneladas de uvas colhidas por dia. Considerando que em média,

cada mês possui 20 dias úteis, pode assumir-se que o período de colheita se estenderá por 3 meses.

Para que seja possível proceder aos cálculos, é necessário ter em mente que no processo de vinificação, um quilograma de uvas não se converte num litro de vinho. Isto deve-se à presença de partes dos cachos que são removidas, como é o caso do engaço. Considera-se ainda que após a remoção dos mesmos, é obtida a massa vínica, composta pela polpa das uvas, película dos bagos e grainhas esmagadas. Desta massa vínica, apenas a polpa das uvas irá fermentar, sendo então designada por mosto. O processo de previsão da quantidade de mosto obtida a partir da colheita de uvas requer uma análise do estado da arte, no entanto, esta conversão varia consoante vários fatores, originando variações na informação disponível.

Segundo Costa e Belchior (1972), durante a produção de 100 litros de vinho branco obtêm-se 31.17 quilogramas de subprodutos e 25 quilogramas para o mesmo volume de vinho tinto; Garoglio (1973) refere que uma quantidade de 140 quilogramas de uvas irá dar origem a aproximadamente 5.5 quilogramas de borras; a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) indica que após a fermentação, 1 quilograma de uvas irá produzir aproximadamente 0.7 litros de vinho. (FAO, 2009) Esta forma de conversão encontra-se em concordância com a de Garoglio (1973) que afirma que 140 quilogramas de uvas produzem aproximadamente 100 hectolitros de vinho.

$$\text{Qt. média de polpa} = \text{Qt. de uvas} \times \% \text{ média de bagos/cacho} \times \% \text{ média de polpa/bago} \quad [2.1]$$

Considerando como ponto de partida as percentagens observadas por Cardoso (2008), já apresentadas no capítulo 1.3.3., e assumindo valores intermédios para a percentagem de bagos por cacho e para a quantidade de polpa por bago, conclui-se, através da fórmula [2.1], que de uma tonelada de uvas resultam em média aproximadamente 775.5 quilogramas de polpa. No entanto, é necessário atender ao facto que durante o processo de fermentação ocorre sedimentação e formação de borras e as mesmas não farão parte do mosto. A quantidade de borras pode calcular-se utilizando a informação de Garoglio (1973), que leva a concluir que da fermentação de mosto proveniente de uma tonelada de uvas, se retiram, aproximadamente 39.29 quilogramas de borras. Portanto, a junção da informação apresentada pelos dois autores permite concluir que uma tonelada de uvas dá origem a aproximadamente 736.21 quilogramas de mosto. Para se obter um novo resultado comparável com o previamente calculado, é necessário utilizar os dados apresentados pela FAO e a informação fornecida por Costa e Belchior (1972), considerando que os autores fazem distinção entre os resíduos provenientes da produção de vinho branco e tinto. Como tal, foi feita a divisão dos resíduos consoante as proporções da produção do caso de estudo, concluindo-se que um terço de uma tonelada de uvas brancas irá originar aproximadamente 74.21 quilogramas de resíduos e dois terços de uma tonelada de uvas pretas, 119.05 quilogramas. Somando estas duas quantidades, de acordo com

este processo de conversão, uma tonelada de uvas irá originar 193.26 quilogramas de resíduos, logo, 806.74 quilogramas de mosto.

Neste trabalho será utilizada a média entre os dois processos de conversão anteriormente mencionados, ou seja, uma tonelada de uvas resulta em aproximadamente 770 quilogramas de mosto e, posteriormente, em 700 litros de vinho.

2.2. Definição de um espaço para a refrigeração

O espaço de refrigeração foi dimensionado de acordo com as necessidades referentes à exploração previamente referida, porém, é um espaço fictício. Este foi idealizado para permitir albergar as várias etapas da vinificação que necessitam de refrigeração, nomeadamente o armazenamento e arrefecimento de uvas não processadas, desde o final da colheita de um dia até ao dia seguinte; a refrigeração do mosto de uvas brancas para clarificação por processo estático; o arrefecimento do mosto tinto para maceração pré-fermentativa e por último, para a conservação de vinho.

De forma a evitar ganhos de calor por exposição solar, o espaço de refrigeração será colocado no interior de um armazém, como uma câmara de refrigeração, com dimensões de 14x8.5x4m e não existirá nenhum elemento de ligação com o exterior. Estas dimensões foram estimadas para que seja possível armazenar uvas, caixas com garrafas de vinho e recipientes para mosto, permitindo ainda a movimentação dos funcionários. Considera-se que terá paredes e teto isolados com 50 mm de poliestireno expandido. O espaço será climatizado a 10°C, valor de temperatura escolhido para permitir a coexistência das várias etapas, sem se distanciar dos valores recomendados no estado da arte.

A estabilização tartárica será efetuada através do cintamento de cubas, circulando água nas camisas de refrigeração para manter o vinho a temperaturas muito baixas. A água será arrefecida com recurso ao mesmo sistema de arrefecimento responsável pela climatização do espaço de refrigeração. Considera-se ainda que as cubas se encontram no exterior do espaço de refrigeração.

2.3. Balanço térmico

O espaço dedicado à refrigeração estará sujeito a trocas de calor por condução e convecção entre os produtos a ser arrefecidos e o ambiente envolvente, bem como entre esse mesmo ambiente e as paredes e o teto. Existirão também ganhos de calor provenientes do exterior do espaço de refrigeração, assim como cargas associadas à iluminação, ao pessoal de estiva e à abertura de portas. O primeiro ponto deste subcapítulo permitirá ficar a conhecer as fórmulas

utilizadas durante o cálculo do balanço térmico. Os pontos seguintes apresentarão a metodologia utilizada para os cálculos das respectivas cargas térmicas, assim como os resultados intermédios calculados durante o processo. O último subcapítulo abordará os cálculos relacionados com a estabilização tartárica, esta é independente do espaço de refrigeração, apesar de fazer parte do cálculo da carga de arrefecimento total.

2.3.1. Fórmulas utilizadas

Neste subcapítulo, o fator principal de distinção entre as cargas térmicas foi a sua natureza, sensível ou latente, ocorrendo posterior subdivisão consoante a origem das cargas. Seguidamente, serão apresentadas as várias fórmulas, assim como uma breve explicação das mesmas.

- **Calor sensível**

Carga térmica ganha através das paredes e teto (Q_{s1})

$$Q_{s1} = U \times A_1 \times \Delta T_1 \quad [2.2]$$

$$U = \frac{1}{R_t} \quad [2.3]$$

$$R_t = \frac{1}{\bar{h}i} + \frac{e(\text{parede})}{k(\text{isolante})} + \frac{1}{\bar{h}e} \quad [2.4]$$

U - Coeficiente global de transmissão de calor [W/m²K]

A₁ - Área da superfície considerada [m²]

ΔT₁ - Diferença de temperatura entre as duas faces da superfície

R_t - Resistência térmica [m²K/W]

$\bar{h}i$ - Coeficiente convectivo médio da superfície interna [m²K/W]

$\bar{h}e$ - Coeficiente convectivo médio da superfície externa [m²K/W]

e_(parede) - Espessura da parede [m]

k_(isolante) - Condutividade térmica do isolante [W/mK]

A fórmula [2.2], retirada de Holman (2010), permite calcular a quantidade de calor que entra na câmara a partir das paredes e do teto, multiplicando o coeficiente global de transmissão de calor da parede com a área da superfície considerada e com a diferença de temperatura entre as duas faces da mesma. A equação [2.3] serve exclusivamente para a obtenção do coeficiente global de transmissão de calor da parede, através do cálculo do inverso da resistência térmica.

A fórmula [2.4], obtida em Incropera *et al.* (2006), permite calcular a resistência térmica da parede, somando o inverso dos coeficientes convectivos médios internos e externos ao resultado da divisão da espessura da parede pela condutividade térmica do isolante. Os coeficientes convectivos médios necessários para a aplicação desta fórmula são calculados com recurso à equação [2.9].

$$T_{\infty m} = \frac{T_{\infty i} + T_{\infty e}}{2} \quad [2.5]$$

$T_{\infty m}$ - Temperatura média do escoamento não perturbado do ar [°C]

$T_{\infty i}$ - Temperatura do escoamento não perturbado do ar interior [°C]

$T_{\infty e}$ - Temperatura do escoamento não perturbado do ar exterior [°C]

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2} \quad [2.6]$$

T_f - Temperatura de filme [°C]

T_s - Temperatura da superfície de permuta [°C]

T_{∞} - Temperatura do escoamento não perturbado do ar [°C]

$$Ra = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_{\infty}) \times L_c^3}{\alpha \times \nu} \quad [2.7]$$

Ra - Número de Rayleigh

g - Força gravítica [m/s²]

β - Coeficiente volumétrico de expansão térmica [K⁻¹]

L_c - Comprimento característico [m]

α - Difusividade térmica [m²/s]

ν - Viscosidade cinemática [m²/s]

$$\bar{Nu}_{L_v} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times Ra^{1/6}}{9} \right\}^2 \quad [2.8]$$

$$\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{16} \right]^{8/27}$$

\bar{Nu}_{L_v} - Número de Nusselt médio para placa plana vertical

Pr - Número de Prandtl

$$\bar{h} = \frac{\bar{Nu}_L \times k(ar)}{L_c} \quad [2.9]$$

$\bar{N}u_L$ - Número de Nusselt médio

\bar{h} - Coeficiente convectivo médio [W/m²K]

$k_{(ar)}$ - Condutividade térmica do ar [W/mK]

A fórmula [2.5] serve unicamente para obtenção da temperatura média do escoamento não perturbado do ar, fazendo para isso a média entre as temperaturas de escoamento não perturbado do ar interior e exterior.

Já a equação [2.6], retirada de Holman (2010), calcula a temperatura de filme, efetuando a média entre a temperatura da superfície de permuta e a temperatura média do ar. O seu resultado irá definir os valores utilizados no cálculo do número de Rayleigh.

A fórmula [2.7], obtida em Incropera *et al.* (2006), serve para calcular o número de Rayleigh. Nesta equação ocorre a multiplicação da força gravítica pelo coeficiente volumétrico de expansão térmica, pela diferença entre a temperatura de superfície da permuta e a temperatura média do ar e pelo cubo do comprimento característico, posteriormente divididos pelo produto entre a difusividade térmica e a viscosidade cinemática.

A fórmula apresentada no ponto [2.8], retirada de Incropera *et al.* (2006), varia de acordo com a geometria a ser analisada, pelo que neste caso será apresentada a que permite obter o número de Nusselt médio para placa vertical de forma mais complexa, mas também mais precisa. Nesta equação as variáveis relacionadas são o número de Rayleigh, obtido na fórmula [2.7] e o número de Prandtl, valor tabelado e dependente da temperatura de filme.

A equação [2.9], proveniente de Incropera *et al.* (2006), serve para calcular o coeficiente convectivo médio, através da multiplicação do número de Nusselt médio pela condutividade térmica, posteriormente divididos pelo comprimento característico.

$$L_C \equiv \frac{A_s}{P} \quad [2.10]$$

A_s - Área da superfície [m²]

P_s - Perímetro da superfície [m]

$$\bar{N}u_{L(sh)} = 0,27 \times Ra^{1/4} \quad [2.11]$$

$\bar{N}u_{L(sh)}$ - Número de Nusselt médio para a superfície superior de uma placa fria horizontal

$$\bar{N}u_{L(th)} = 0,15 \times Ra^{1/3} \quad [2.12]$$

$\bar{N}u_{L(ih)}$ - Número de Nusselt médio para a superfície inferior de uma placa fria horizontal

As fórmulas [2.10] a [2.12], provenientes de Incropera *et al.* (2006), são específicas do cálculo do coeficiente convectivo para placa plana horizontal, nomeadamente o teto. A equação [2.10] dá um valor equivalente ao comprimento característico através da divisão da área da superfície pelo perímetro da mesma. As fórmulas [2.11] e [2.12] permitem obter o número de Nusselt médio de uma placa fria horizontal para a superfície superior e inferior, respetivamente, através da multiplicação de uma constante pelo número de Rayleigh, elevado a um quarto na equação [2.11] e a um terço na equação [2.12].

Carga térmica devido à iluminação (Q_{s2})

$$Q_{s2} = A_{teto} \times q_{ilum} \times \frac{t_f}{t} \quad [2.13]$$

A_{teto} - Área do teto [m^2]

q_{ilum} - Carga térmica de iluminação por unidade de área [W/m^2]

t_f - Tempo de funcionamento com iluminação [h]

t - Tempo de funcionamento total [h]

O calor sensível emitido pela iluminação é obtido com recurso à equação [2.13], adaptada de Barbosa (2015) e é dependente da área do teto, da carga térmica da iluminação e do quociente entre o período de tempo em que o espaço se encontra em funcionamento com e sem iluminação.

Carga térmica devido ao pessoal de estiva (Q_{s3})

$$Q_{s3} = n_p \times q_{sens} \times \frac{t_3}{24} \quad [2.14]$$

n_p - Número de pessoas a trabalhar em simultâneo no espaço

q_{sens} - Carga térmica de calor sensível libertado por pessoa [W]

t_3 - Tempo de permanência das pessoas [h]

Qualquer ser vivo emite calor sob a forma de calor sensível e latente. A quantidade emitida varia consoante vários fatores, sendo o principal, neste caso, o tipo de atividade física a ser efetuado, existindo tabelas com valores estimados para os vários tipos de atividade. A carga térmica devido ao pessoal de estiva é calculada através da fórmula [2.14], proveniente de Beites (2013). Esta equação multiplica o número de pessoas a trabalhar em simultâneo no espaço pela carga térmica sensível que estas libertam durante o seu período de permanência

no espaço. Esta equação também pode ser utilizada para calcular a componente latente da carga térmica.

Carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos (Q_{s4})

$$Q_{s4} = \frac{m \times C_p \times \Delta T_4}{t_4} \quad [2.15]$$

m - Massa de produto introduzido [kg]

C_p - Calor específico do produto [J/kgK]

ΔT_4 - Diferença de temperatura entre o produto e o meio envolvente

t_4 - Tempo de permanência do produto no espaço [s]

Quando ocorre arrefecimento de um determinado produto, este encontra-se a uma temperatura mais elevada que a do meio envolvente, o que o leva a libertar calor sensível. Para estimar a quantidade de calor libertado, pode recorrer-se à equação [2.15], adaptada de Almeida (2005), na qual se multiplica a massa do produto introduzido pelo calor específico do mesmo e pela diferença de temperatura entre este e o meio envolvente, dividindo o resultado pelo tempo de permanência do produto no espaço.

Carga térmica devido à abertura de portas (Q_{s5})

$$Q_{s5} = 8 + (0.067 \times \Delta T_5) \times \frac{t_{ab}}{v_i} \times W_p \times H_p \times A \times C \quad [2.16]$$

$$A = (h_e - h_i) \times [H_p \times (1 - \frac{v_i}{v_e})^{1/2}] \quad [2.17]$$

$$t_{ab} = d_{ton} \times \frac{fd}{24} \quad [2.18]$$

ΔT_5 - Diferença de temperatura entre o espaço e o exterior

t_{ab} - Tempo de abertura de portas [min/h]

v_i - Volume específico do ar interior [m³/kg]

v_e - Volume específico do ar exterior [m³/kg]

W_p - Largura da porta [m]

H_p - Altura da porta [m]

C - Coeficiente minorante da porta

h_i - Entalpia do ar interior [kJ/kg]

h_e - Entalpia do ar exterior [kJ/kg]

d_{ton} - Duração média da abertura de portas [min/ton]

f_d - Fluxo diário de produto [ton]

A carga térmica devido à abertura de portas é causada por um diferencial de temperaturas entre o interior e o exterior do espaço. Quando a porta é aberta ocorre uma mistura de ares, causando aumento da temperatura no interior. Para mensurar a carga térmica devido à abertura de portas pode utilizar-se a fórmula [2.16], segundo Beites (2013). Nesta equação relacionam-se constantes (8 e 0.067); a diferença de temperatura entre o interior e o exterior; o tempo de abertura de portas; o volume específico do ar interior; as dimensões da porta (largura e altura); a incógnita designada por “A” e o coeficiente minorante da porta, valor que varia de acordo com o tipo de porta. A incógnita “A” serve para simplificar a já complexa equação [2.16] e calcula-se utilizando a equação [2.17] que depende da entalpia interna e externa, da altura da porta e do volume específico do ar interior e exterior. Por último, a fórmula [2.18] serve para estimar o tempo de abertura das portas necessário para transportar o produto do interior para o exterior da câmara, ou vice-versa. Este valor atinge-se através da multiplicação entre a duração média de abertura de portas e o fluxo diário de produto.

- **Calor latente**

Carga térmica devido ao calor de respiração dos frutos (Q_{12}):

$$Q_{12} = m \times q_{\text{resp}} \times \frac{1}{1000} \quad [2.19]$$

m - Massa de fruto introduzida [kg]

q_{resp} - Carga térmica latente de respiração do fruto [mW/kg]

A fruta possui uma carga latente associada à sua “respiração” que varia conforme o tipo de fruto e pode obter-se, através da fórmula [2.19]. Nesta equação, multiplica-se a massa do fruto pela sua carga térmica latente de respiração, valor que se encontra tabelado. Devido aos valores tabelados se encontrarem em mW/kg é necessário adicionar a parcela (1/1000), como forma de conversão para a unidade desejada (W).

- **Carga térmica total**

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + \dots + Q_{sn} \quad [2.20]$$

$$Q_l = Q_{l1} + Q_{l2} \quad [2.21]$$

Depois de calculados todos os passos anteriores é possível obter o somatório das cargas sensíveis e latentes através das equações [2.20] e [2.21] respetivamente. As cargas térmicas incluídas

na equação [2.20] estão dependentes dos fatores considerados para o espaço e dos processos que se desenvolvem no mesmo. A carga térmica total será obtida somando estes dois resultados.

- **Carga de arrefecimento**

$$V_{af} = \frac{V \times n(ar)}{3600} \quad [2.22]$$

V_{af} - Caudal volúmico de ar fornecido [m^3/s]

V - Volume do espaço [m^3]

$n_{(ar)}$ - Número de renovações de ar por hora

A equação [2.22] apresenta uma forma simplificada de calcular o caudal volúmico de ar fornecido num determinado espaço, através da multiplicação entre o volume do mesmo e o número de renovações de ar, por hora, pretendidas, posteriormente divididos por 3600 para efeitos de conversão de unidades.

$$T_{af} = \frac{T_r}{\frac{R \times Q_s}{P_a \times v_{af} \times (C_{pa} + W_{ra} \times C_{pv})} + 1} \quad [2.23]$$

T_{af} - Temperatura do ar fornecido [K]

T_r - Temperatura do espaço [K]

R - Constante universal dos gases perfeitos para o ar [kJ/kgK]

Q_s - Carga térmica sensível [kW]

P_a - Pressão parcial de ar [bar]

C_{pa} - Calor específico do ar [kJ/kgK]

W_{ra} - Humidade absoluta do ar do espaço [kg_{H_2O}/kg_{as}]

C_{pv} - Calor específico do vapor saturado [kJ/kgK]

A fórmula [2.23] serve para calcular a temperatura do ar que se encontra a ser fornecido num determinado espaço. Para tal, relaciona várias propriedades do ar (constante universal dos gases perfeitos, calor específico e pressão) com algumas condições do espaço, nomeadamente a sua temperatura e humidade absoluta, assim como com a carga térmica sensível proveniente do mesmo.

$$m_{af} = \frac{P_a \times v_{af}}{R \times T_{af}} \quad [2.24]$$

m_{af} - Caudal mássico de ar fornecido [kg/s]

Para calcular a caudal mássico de ar fornecido, recorre-se à equação [2.24] que representa o quociente entre o produto da pressão parcial do ar pelo volume do ar fornecido e a multiplicação entre a constante dos gases perfeitos para o ar e a temperatura do ar fornecido.

$$W_{af} = W_{ra} - \frac{Q_l}{m_{af} \times h_{fg}} \quad [2.25]$$

W_{af} - Humidade absoluta do ar fornecido [kJ/kgK]

Q_l - Carga térmica latente [kW]

h_{fg} - Entalpia de mudança de fase [kJ/kg]

Com a equação [2.25] torna-se possível a obtenção matemática da humidade absoluta do ar fornecido, através da subtração do quociente entre a carga térmica latente e o produto entre a massa de ar fornecido e a entalpia de mudança de fase, à humidade absoluta do ar que se encontra no espaço.

$$\Phi_{af} = \frac{W_{af} \times P_a}{0.622 \times P_g} \quad [2.26]$$

Φ_{af} - Humidade relativa do ar fornecido [%]

P_g - Pressão de saturação da água [bar]

A equação [2.26] apresenta a forma simplificada de conseguir a humidade relativa do ar fornecido, através da divisão entre o produto da humidade absoluta de ar fornecido e a pressão do ar, pela multiplicação da constante 0.622 pela pressão do gás, à temperatura do espaço.

$$Q_{arref} = m_{af} \times [C_{p_a} \times (T_3 - T_{af}) + (W_3 \times h_{v3} - W_{af} \times h_{vaf}) - (W_3 - W_4) \times h_{l4}] \quad [2.27]$$

Q_{arref} - Carga térmica de arrefecimento total [kW]

T_3 - Temperatura no ponto 3 [°C]

W_3 - Humidade absoluta no ponto 3 [kg_{H2O}/kg_{as}]

h_{v3} - Entalpia do vapor saturado no ponto 3 [kJ/kg]

h_{vaf} - Entalpia do vapor saturado do ar fornecido [kJ/kg]

W_4 - Humidade absoluta no ponto 4 [kg_{H2O}/kg_{as}]

h_{l4} - Entalpia do líquido saturado no ponto 4 [kJ/kg]

A fórmula [2.27] permite calcular a carga térmica de arrefecimento, a sua compreensão pode ser feita com auxílio da Fig. 2. que ilustra o percurso da mistura de ares, proveniente do ponto 3, por uma tubagem, até atingir as condições às quais será introduzido no espaço. A carga térmica de arrefecimento consiste no calor que é necessário retirar para que o ar fornecido atinja as condições pretendidas. O ar inicia o percurso às condições de temperatura, humidade

absoluta e entalpia de vapor saturado apresentadas no ponto 3 e termina no ponto “af”. A redução da humidade do ar durante o processo causará a formação de água, representada no ponto 4.

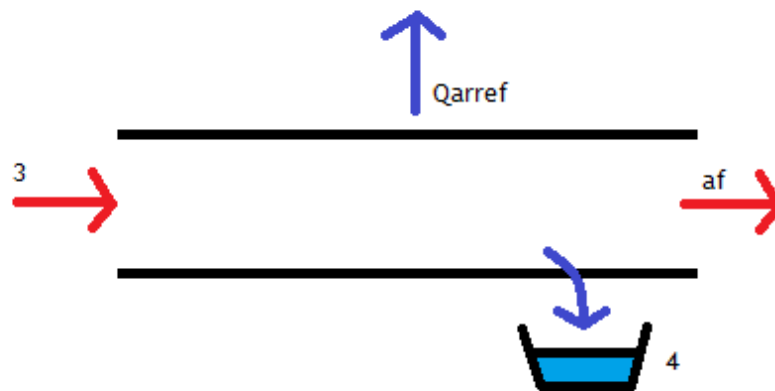


Fig. 2.1 - Esquema da circulação do ar fornecido.

2.3.2. Cargas térmicas do espaço de refrigeração

A diferença de temperatura entre o espaço de refrigeração e o ambiente exterior origina uma carga térmica fixa, derivada aos ganhos de calor pelas paredes e teto. Esta carga é independente do conteúdo do espaço de refrigeração e precisa de ser considerada, desde que o espaço se encontre a ser climatizado. À semelhança da carga devido às paredes e teto, as cargas térmicas de iluminação e do pessoal de estiva também não estão diretamente associadas a nenhuma etapa específica da vinificação, logo, serão integradas neste subcapítulo.

Carga sensível

Dados do espaço de refrigeração:

- Largura (L) - 8.5m;
- Comprimento (W) - 14m;
- Altura (H) - 4m;
- Espessura das paredes e teto ($e_{(parede+teto)}$) - 50mm;
- Material utilizado como isolante térmico - Poliestireno expandido;
- Condutividade térmica do isolante ($k_{(isolante)}$) - 0.04W/mK (Çengel e Boles, 2005);
- Altura da porta (H_p) - 2m;
- Largura da porta (W_p) - 2.5m;
- Temperatura do escoamento não perturbado do ar interior (T_{∞_i}) - 10°C;

- Volume específico do ar interior (v_i) - 0.796 m³/kg, inverso da densidade, interpolado de (Holman, 2010);
- Entalpia do ar interior (h_i) - 42.0 kJ/kg (Rogers e Mayhew, 1995);

Dados do espaço exterior:

- Temperatura do escoamento não perturbado do ar exterior (T_{∞_e}) - 25°C;
- Volume específico do ar exterior (v_e) - 0.843 m³/kg, inverso da densidade, interpolado dos valores provenientes de Holman (2010);
- Entalpia do ar exterior (h_e) - 104.8 kJ/kg (Rogers e Mayhew, 1995);

Com estes dados, é possível iniciar o cálculo da carga sensível ganha através das paredes e teto, desprezando os ganhos de calor através do pavimento. Inicia-se o procedimento com o cálculo da média entre as temperaturas interior e exterior, de forma a obter a temperatura de escoamento médio, através da fórmula [2.5]. Atingido este valor de temperatura, pode fazer-se uma estimativa das temperaturas de superfície interna e externa, assumindo uma variação de 3°C em relação às respetivas temperaturas de escoamento médio, obtendo-se $T_{s_i}=14.5^\circ\text{C}$ e $T_{s_e}=20.5^\circ\text{C}$. Seguidamente, recorre-se à equação [2.6] para calcular a temperatura de filme, cujo resultado irá ditar os valores utilizados como dados do escoamento, uma vez que estes são dependentes da temperatura. A sua obtenção é feita através do cálculo de interpolações dos valores encontrados nas tabelas de Holman (2010).

Dados do escoamento externo:

- Temperatura de filme (T_{f_e}) - 22.75 °C = 295.9 K;
- Viscosidade cinemática (ν_e) - 15.331×10⁻⁶ m²/s;
- Condutividade térmica (k_e) - 2.591×10⁻² W/mK;
- Difusividade térmica (α_e) - 2.163×10⁻⁵ m²/s;
- Número de Prandtl (Pr_e) - 0.709;
- Coeficiente volumétrico de expansão térmica (β_e) - 3.380×10⁻³ K⁻¹;

Dados do escoamento interno:

- Temperatura de filme (T_{f_i}) - 12.25 °C = 285.4 K;
- Viscosidade cinemática (ν_i) - 14.411×10⁻⁶ m²/s;
- Condutividade térmica (k_i) - 2.508×10⁻² W/mK;
- Difusividade térmica (α_i) - 2.027×10⁻⁵ m²/s;

- Número de Prandtl (Pr_i) - 0.712;
- Coeficiente volumétrico de expansão térmica (β_i) - $3.504 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;

Conhecendo os dados do escoamento, torna-se possível, com recurso à equação [2.7], calcular o número de Rayleigh para os dois escoamentos, interno e externo. O seu cálculo será distinto para as paredes e para o teto, devido às fórmulas do número de Nusselt médio fazerem distinção relativamente à disposição geométrica dos espaços físicos que se encontram sujeitos ao escoamento, assim como derivado à variação nas dimensões do comprimento característico. No caso das paredes do espaço, assumindo que estas se comportam como placas planas verticais, atingiram-se os valores $Ra_{e(\text{parede})} = 2.880 \times 10^{10}$ e $Ra_{i(\text{parede})} = 3.390 \times 10^{10}$. Segue-se a aplicação da fórmula [2.8] para efetuar o cálculo do número de Nusselt médio, cujos valores adquiridos foram de $\bar{Nu}_{Le(\text{parede})} = 352.85$ e $\bar{Nu}_{Li(\text{parede})} = 371.90$. Estes permitem calcular o coeficiente convectivo médio, com recurso à equação [2.9]. Para efetuar este cálculo assume-se o comprimento característico como sendo a altura da parede (4m), obtendo-se, por fim, $\bar{h}_{e(\text{parede})} = 2.286 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $\bar{h}_{i(\text{parede})} = 2.332 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Este procedimento repete-se para o teto, mantendo os mesmos dados com exceção do comprimento característico, obtido a partir da equação [2.10], $L_c = 2.644\text{m}$. Os números de Rayleigh conseguidos, para o teto, foram $Ra_{e(\text{teto})} = 8.321 \times 10^9$ e $Ra_{i(\text{teto})} = 9.794 \times 10^9$. Assumindo que o teto se comporta como uma placa horizontal, recorre-se às equações [2.11] para a superfície externa e à [2.12] para a interna, levando à obtenção de $\bar{Nu}_{Le(\text{teto})} = 81.546$ e $\bar{Nu}_{Li(\text{teto})} = 320.931$. Por último, através do método previamente utilizado, atingem-se os valores de coeficiente convectivo médio para as duas superfícies do teto, $\bar{h}_{e(\text{teto})} = 0.799 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $\bar{h}_{i(\text{teto})} = 3.044 \text{ W/m}^2\text{K}$. Segundo Incropera *et al.* (2006), os valores típicos de coeficiente convectivo para convecção natural em gases variam entre 2 e 25 $\text{W/m}^2\text{K}$, como tal, devido à proximidade do valor obtido com o valor típico mínimo, será utilizado $\bar{h}_{e(\text{teto})} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$, para aumentar a precisão dos resultados.

Após o cálculo de todos os coeficientes convectivos médios é possível utilizar a equação [2.4] para calcular a resistência térmica das paredes e do teto, separadamente, sendo estas de 2.116 e 2.079 $\text{m}^2\text{K/W}$, respetivamente. Devido à diferença na escala dos coeficientes convectivos e, conseqüentemente, da sua reduzida influência no cálculo da transmissão de calor, foi considerada apenas a condutividade térmica do isolante (0.04 W/mK). Posteriormente, recorreu-se à equação [2.3] para calcular o coeficiente global de transmissão de calor da parede, $U_{\text{parede}} = 0.473 \text{ W/m}^2\text{K}$ e do teto $U_{\text{teto}} = 0.481 \text{ W/m}^2\text{K}$. Com estes valores, torna-se possível utilizar a equação [2.2] para calcular as cargas sensíveis transmitidas a partir das paredes e do teto, respetivamente. Após a obtenção das mesmas, resta somá-las, atingindo-se o valor de carga térmica sensível ganha através das paredes e teto.

O cálculo da carga térmica de iluminação é efetuado com recurso à equação [2.13], a iluminação será requisitada por um período de tempo relativamente reduzido, aproximadamente 2 horas. Este valor foi estimado, assumindo-o como suficiente para que os funcionários consigam efetuar todas as tarefas necessárias no interior do espaço de refrigeração. Para a obtenção desta carga, a consulta de valores tabelados para carga térmica de iluminação permitiu a obtenção de um valor intermédio de 10 W/m², considera-se ainda a área total do teto e um tempo de funcionamento total do espaço de 24 horas.

Para efetuar o cálculo da carga térmica causada pelo pessoal de estiva, utilizou-se a fórmula [2.14], assumindo-se que três pessoas irão permanecer durante aproximadamente 2 horas, de forma descontinuada, a efetuar trabalho pesado. Portanto, consultou-se ABNT (2008) para obter uma estimativa da carga sensível que iria ser libertada por cada pessoa, sendo o valor referente a trabalho pesado de 170 W. Nesta etapa, considera-se não só o trabalho necessário para transportar e acomodar as caixas de uvas no espaço, mas também o esforço necessário durante o transporte e tratamento do mosto para clarificação e maceração pré-fermentativa.

Carga latente

O cálculo da carga latente devido ao pessoal de estiva considera as mesmas circunstâncias que para a carga sensível, alterando unicamente o valor de calor latente, onde foi utilizado o valor de 255W.

2.3.3. Conservação das uvas

Carga sensível

A carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos, uvas neste caso, é calculada com recurso à equação [2.15], os dados utilizados serão apresentados de seguida.

- Massa de uvas - 2000 kg;
- Calor específico da uva - 3584 J/kgK, valor consultado em Heldman e Lund (2007), assumindo as videiras como sendo do tipo *Vitis Vinifera*;
- Temperatura de entrada da fruta - 25°C, mesma temperatura que na adega;
- Tempo de permanência - 14 horas;

A temperatura de entrada das caixas que contêm as uvas também será contabilizada, através do método mencionado previamente. Consideraram-se caixas de plástico com 20 kg de capacidade, o que se traduz em 100 caixas para transportar e acomodar as duas toneladas de uvas até ao dia seguinte. Para que fosse possível utilizar a equação [2.14], assumiu-se que cada caixa pesa aproximadamente 1.5 kg, o que perfaz uma totalidade de 150 kg de caixas, e que o

calor específico do material que as constitui é equivalente ao do policarbonato, ou seja, 1260 J/kgK. (Çengel e Boles, 2005)

O calor ganho durante a abertura de portas é calculado recorrendo às equações [2.16], [2.17] e [2.18]. Para efetuar este cálculo, os dados considerados foram os apresentados para o espaço de refrigeração. Considerou-se também o coeficiente minorante da porta, unitário devido à inexistência de cortinas ou lamelas na mesma e uma estimativa de tempo de abertura de portas de 15 minutos por tonelada de produto introduzido. No que concerne ao fluxo de produto, consideraram-se 2 toneladas de uvas e ainda 150 quilogramas de caixas, perfazendo uma totalidade de 2.15 toneladas de produto introduzido por dia, valor que duplica a partir do segundo dia, considerando a remoção dos mesmos.

Carga latente

O valor da carga causada pela respiração do fruto atinge-se através da equação [2.19], sendo que o calor de respiração dos frutos varia conforme a temperatura a que estes se encontram. Neste caso, a uva é inserida no espaço a uma determinada temperatura e vai arrefecendo até atingir a temperatura pretendida, contudo, devido à natureza exotérmica deste processo, o arrefecimento não será linear. Portanto, será necessário consultar ASHRAE (2006) e relacionar os valores apresentados para a carga de respiração, através do método apresentado na fórmula [2.28]. Com esta metodologia, obteve-se, por fim, uma estimativa do calor de respiração da uva de aproximadamente 33.315 mW/kg.

$$\text{Carga média} = \frac{(\text{Carga máxima} - \text{carga mínima}) \times (2/3) + \text{carga mínima}}{2} \quad [2.28]$$

2.3.4. Clarificação do mosto branco

A clarificação do mosto branco, efetuada por processo estático, irá ocorrer em simultâneo com a conservação das uvas, como tal, as condições do espaço serão as mesmas. O propósito deste ponto será calcular a carga térmica máxima diária causada pelo mosto, através da equação [2.15].

Assume-se que o esmagamento da uva se inicia imediatamente após o recebimento das mesmas no final do primeiro dia de colheita, ou seja, serão processadas 8 toneladas no primeiro dia e 10 toneladas nos dias seguintes, contabilizando as 8 toneladas do dia e as 2 toneladas sobranes do dia anterior. Como o arrefecimento para a clarificação só será aplicado ao mosto branco e as uvas brancas correspondem apenas a um terço da produção, serão processados, aproximadamente, 2666.67 kg de uvas brancas no primeiro dia e 3333.33 kg nos dias seguintes.

Considerando o processo de conversão de uvas para mosto apresentado no capítulo 2.2, utilizou-se como massa de mosto, 2053.33 Kg no primeiro dia e 2566.67 nos dias subsequentes.

Assumiu-se que a temperatura inicial a que o mosto se encontra é de 25°C no primeiro dia, devido ao facto de esse mosto ter sido processado no final do dia da colheita, e de 22°C nos dias seguintes. Este valor de temperatura foi obtido através do cálculo de uma média ponderada, considerando o facto de 2000 kg de uvas já terem sido arrefecidos no dia anterior. O mosto será arrefecido até aproximadamente 10°C, durante 24 horas, após as quais será retirado do espaço e substituído pelo mosto esmagado no dia seguinte.

Para a aplicação da equação [2.15] é necessário conhecer o calor específico do mosto. Segundo Sáez *et al.* (2017) este é de 3.8 kJ/kgK para mosto com densidade de 1090 kg/m³, coincidindo com Tomás (2010) que afirma que a densidade do mosto está compreendida entre 1.070 e 1.120 kg/l, validando a utilização do valor de calor específico previamente apresentado. A Tab. 2.1 permite observar os valores utilizados no cálculo da carga térmica emitida pelo mosto nesta etapa.

Tab. 2.1 - Dados utilizados para o cálculo da carga térmica emitida pelo mosto enquanto é arrefecido para a clarificação.

Dias	Quantidade de uvas [kg]	Quantidade de uvas brancas [kg]	Massa de mosto branco [kg]	Mosto a ser arrefecido [kg]	Temperatura inicial do mosto [°C]
1	8000	2666.67	2053.33	2053,33	25
2	10000	3333.33	2566.67	2566.67	22
3	10000	3333.33	2566.67	2566.67	22
4	10000	3333.33	2566.67	2566.67	22

Como já mencionado no subcapítulo anterior, a carga térmica devido ao pessoal de estiva também inclui o esforço efetuado nesta etapa. Resta considerar a carga térmica sensível causada pela abertura de portas, uma vez que no ponto anterior só se considerou a massa das uvas e das caixas que as continham. Neste caso, consideraram-se aproximadamente 2.57 toneladas de produto, carga máxima que pode ser inserida num dia, aos quais foram adicionados 100 kg, referentes a uma estimativa da massa dos recipientes onde o mosto será transportado. Estimou-se que o tempo durante o qual a porta estaria aberta seria de aproximadamente dez minutos por tonelada.

2.3.5. Maceração pré-fermentativa do mosto tinto

No caso deste trabalho, decidiu-se implementar uma junção entre os métodos apresentados no início deste capítulo, colocando o mosto tinto durante 3 dias no espaço de refrigeração, adicionando-lhe gelo seco, para retardar o início da fermentação. Devido ao intervalo de tempo reduzido entre esta etapa e a anterior, assume-se que não é necessário arrefecer novamente o mosto branco, pelo que esta etapa só será aplicada ao mosto tinto, ocorrendo pouco tempo após o esmagamento, portanto em simultâneo com as duas etapas anteriores. Como tal, as condições do espaço permanecem as mesmas. Tal como previamente mencionado, será utilizada a equação [2.15] para obter a carga térmica máxima diária que será posteriormente adicionada às restantes cargas sensíveis. A massa de mosto tinto será de aproximadamente 5333.33 kg no primeiro dia e de 6666.67 kg nos dias seguintes, pelas razões já apontadas no ponto anterior. Nesta etapa a acumulação de mosto será superior à da etapa anterior, atingindo um máximo de 15400 kg de mosto tinto a ser arrefecido em simultâneo.

Devido a coexistência de mosto a passar por vários momentos diferentes de arrefecimento, a variação de temperatura ΔT a ser considerada nos cálculos terá que ser obtida através do cálculo de uma média ponderada, assumindo a massa de mosto que já se encontra à temperatura desejada (10°C) e a que se encontra à temperatura exterior (25°C). Esta variação de temperatura será diferente nos primeiros 4 dias, após os quais se deverá manter durante o período de duração desta etapa. Para o valor de calor específico do mosto será considerado 3800 J/kgK, uma vez que nesta etapa ainda não se iniciou a fermentação e, como tal, a densidade do mosto deve permanecer semelhante à da etapa anterior. (Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006)

A Tab. 2.2 permite observar os valores utilizados no cálculo da carga térmica emitida pelo mosto nesta etapa.

Tab. 2.2 - Dados utilizados para o cálculo da carga térmica emitida pelo mosto enquanto é arrefecido para a maceração pré-fermentativa.

Dias	Quantidade de uvas [kg]	Quantidade de uvas pretas [kg]	Massa de mosto tinto [kg]	Mosto a ser arrefecido [kg]	Varição de temperatura do mosto [°C]
1	8000	5333.33	4106.67	4106.67	15
2	10000	6666.67	5133.33	9240	8.33
3	10000	6666.67	5133.33	14373.33	5.36
4	10000	6666.67	5133.33	15400	5
5	10000	6666.67	5133.33	15400	5

À semelhança do subcapítulo anterior, neste caso a carga térmica devido à abertura de portas sofrerá alterações devido à variação da massa do produto a ser introduzido. Neste ponto, o fluxo diário de produto será de aproximadamente 5.33 toneladas, considerando 5133.33 kg de mosto e 200 kg dos recipientes que o contém.

Ocasionalmente, a inserção e remoção dos vários produtos a ser refrigerados, nomeadamente as uvas, o mosto branco e o mosto tinto irão coincidir, pelo que nesse dia a carga térmica de abertura de portas será máxima. Como tal, para garantir que o dimensionamento se encontra feito por excesso, esta carga térmica máxima será a contabilizada no somatório das cargas térmicas sensíveis.

2.3.6. Conservação de vinho

A conservação de vinhos será outra aplicação do espaço de refrigeração, esta será feita através da introdução de caixas com garrafas de vinho de colheitas de anos anteriores, maioritariamente branco, para a conservação do mesmo até à sua venda. As duas cargas térmicas associadas a esta etapa serão a carga térmica devido à temperatura de entrada do produto e a carga de abertura de portas.

À semelhança dos cálculos anteriores, recorre-se à equação [2.15] para calcular a carga térmica associada à temperatura de entrada do produto, sendo necessário para tal, assumir uma quantidade máxima de caixas de vinho a ser inseridas por dia. Considerando que serão inseridas 400 caixas, contendo 6 garrafas cada, totalizando 2400 garrafas. Se estas forem de 750 ml, serão introduzidos 1800 litros de vinho. Como a massa volúmica do vinho está normalmente compreendida entre 0.990 e 0.998 kg/m³, de acordo com Tomás (2010), será considerado um valor de 0.995 kg/m³, o que resulta na introdução de aproximadamente 1809.05 kg de vinho. Assumindo que cada garrafa de vinho pesa 450 gramas, obtém-se uma massa de vidro de 1080 kg que será somada à do vinho, perfazendo uma totalidade de aproximadamente 2889.05 kg de produto inserido. Segundo Sáez *et al.* (2017) o calor específico do vinho é de 4.5 kJ/kgK para vinhos com densidade de 0.995 kg/m³, como tal, será utilizado este valor. No entanto, é necessário ter em consideração o calor específico do vidro, uma vez que este representa uma porção considerável da massa total do produto. Em Incropera *et al.* (2006), o calor específico do vidro do tipo *soda-lime* é de 0.75 kJ/kgK, portanto, irá assumir-se que as garrafas possuem este valor de calor específico. Será necessário estimar o calor específico a ser utilizado no cálculo, através da relação entre as massas de vinho e de vidro, obtendo-se um calor específico médio de 3.098 kJ/kgK. Por último, a temperatura de entrada dos produtos será considerada como sendo de 20°C.

O cálculo da carga térmica devido à abertura de portas será efetuado da mesma forma que em etapas anteriores, considerando uma duração média de abertura de portas de 10 minutos por tonelada e uma massa de 3.089 toneladas, assumindo 200 kg das caixas onde as garrafas estão

armazenadas. A remoção das mesmas do espaço não foi considerada, uma vez que ao contrário do que ocorre nas etapas anteriores, esta remoção só deverá ser feita após os processos de produção de vinho estarem concluídos, ou em quantidades relativamente reduzidas.

2.3.7. Carga de arrefecimento do espaço de refrigeração

Após a obtenção de todas as cargas térmicas, sensíveis e latentes, será possível calcular a carga de arrefecimento. Esta terá um papel preponderante na escolha da potência de arrefecimento do *chiller* a ser utilizado, assim como da viabilidade do sistema. De seguida serão apresentadas todas as cargas térmicas calculadas até este ponto.

Tab. 2.3 - Resultados obtidos para as cargas térmicas diárias no espaço de refrigeração.

Carga térmica ganha através das paredes e teto [W]	$Q_{s1}=2134.60$
Carga térmica devido à iluminação [W]	$Q_{s2}=99.17$
Carga térmica sensível devida ao pessoal de estiva [W]	$Q_{s3}=42.5$
Carga térmica devido à temperatura de entrada da fruta [W]	$Q_{s4}=2133.33$
Carga térmica devido à abertura de portas [W]	$Q_{s5}=2032.80$
Carga térmica devido à temperatura de entrada das caixas [W]	$Q_{s6}=56.25$
Carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto branco para clarificação [W]	$Q_{s7}=1354.63$
Carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto tinto para maceração pré-fermentativa [W]	$Q_{s8}=3386.57$
Carga térmica devido à temperatura de entrada das garrafas de vinho [W]	$Q_{s9}=1035.96$
Carga térmica sensível [W]	$Q_s=12275.82$
Carga térmica latente devido ao pessoal de estiva [W]	$Q_{l1}=63.75$
Carga térmica devido ao calor de respiração da fruta [W]	$Q_{l2}=66.63$
Carga térmica latente [W]	$Q_l=130.38$

Conhecendo o somatório das cargas sensíveis e latentes às quais o espaço está sujeito, torna-se possível iniciar o cálculo da carga de arrefecimento. O sistema irá funcionar através do aproveitamento e tratamento do ar que circula no exterior, misturando-o com ar a ser reciclado, proveniente do interior do espaço de refrigeração, até às condições necessárias para climatizar o espaço. Como tal, será necessário começar por averiguar a média da temperatura e uma estimativa da média da humidade relativa do ar exterior, durante o mês de setembro, no distrito de Vila Real. Através da análise dos gráficos das figuras, Fig. 2. e Fig. 2. obteve-se uma temperatura ambiente de 26°C e uma humidade relativa de 52%. Com estes valores será possível recorrer a uma carta psicrométrica para conseguir uma estimativa da humidade absoluta do ar exterior de aproximadamente $1.1 \times 10^{-2} \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{as}}$.

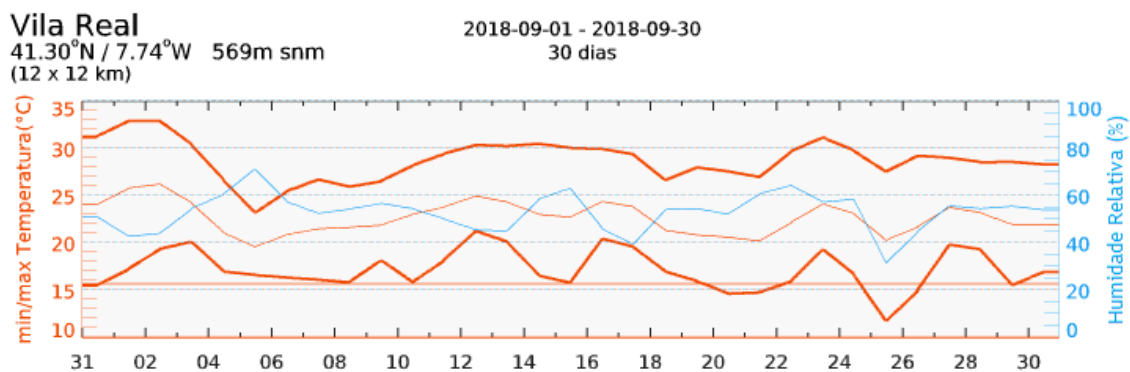


Fig. 2.2 - Gráfico da simulação da variação da humidade relativa em Vila Real, durante o mês de setembro. ¹⁴

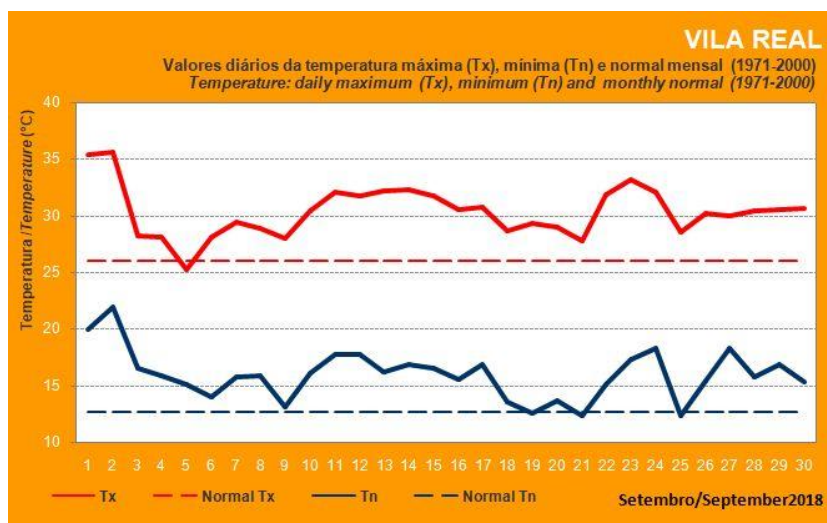


Fig. 2.3 - Gráfico dos valores diários de temperatura medidos durante o mês de setembro de 2018. ¹⁵

As condições pretendidas para o ar no interior do espaço de refrigeração serão a uma temperatura de 10°C, como já fora previamente mencionado, e a uma humidade relativa de aproximadamente 60%. Recorrendo a uma carta psicrométrica, conclui-se que a humidade absoluta no espaço será de aproximadamente $4.5 \times 10^{-3} \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{as}}$. Para além dos dados já apresentados, será ainda necessário considerar as seguintes variáveis:

- Constante universal dos gases perfeitos para o ar, $R=0.287 \text{ kJ/kgK}$;
- Pressão do ar, $P_a=100 \text{ bar}$;
- Calor específico do ar, $C_{p_a}=1.005 \text{ kJ/kgK}$, valor recomendado em Rogers e Mayhew (1995);
- Calor específico do vapor de água, $C_{p_v}=1.865 \text{ kJ/kgK}$, interpolado de Incropera *et al.* (2006), a uma temperatura média de 18°C;

¹⁴ Imagem adaptada da imagem retirada de https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/vila-real_portugal_2732438 no dia 13/11/2019.

¹⁵ Imagem retirada de <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=g#> no dia 13/11/2019.

- Entalpia de mudança de fase, $h_{fg}=2477.2$ kJ/kg, interpolado de Rogers e Mayhew (1995), para uma temperatura de 10°C;
- Pressão de saturação da água, $P_g=0.01227$ bar, interpolado de Rogers e Mayhew (1995), para uma temperatura de 10°C.

A próxima etapa será efetuada com recurso a cálculo iterativo, recorrendo às equações [2.22] e [2.23] para avaliar qual será o número de renovações de ar por hora adequado para este espaço. Inicialmente utilizaram-se 6 renovações de ar por hora, recorrendo à fórmula [2.22] para calcular o caudal volúmico de ar fornecido. Este resultado foi posteriormente utilizado na equação [2.23] para calcular a temperatura do ar fornecido, contudo, o resultado obtido é de aproximadamente -15.584°C, valor incompatível com a realidade. Repetindo o procedimento para 10 e 13 renovações por hora, os valores de temperatura de ar fornecido permaneceram inferiores a 0°C. No entanto, assumindo 17 renovações de ar por hora, obtém-se um caudal volúmico de ar fornecido $v_{af}=0.992$ m³/s e conseqüentemente uma temperatura do ar fornecido $t_{af}=0.410$ °C, valor considerado aceitável.

Conhecendo a temperatura do ar fornecido torna-se possível prosseguir com os cálculos, utilizando a fórmula [2.24] para calcular o caudal mássico de ar fornecido, $m_{af}=1.263$ kg/s. Seguidamente, pode calcular-se a humidade absoluta e relativa do mesmo, com recurso às equações [2.25] e [2.26], respetivamente, obtendo-se $W_{af}=4.458 \times 10^{-3}$ kg_{H2O}/kg_{as} e $\Phi_{af}=58.42\%$.

Para calcular a carga de arrefecimento, recorrendo à equação [2.27], é necessário averiguar as condições da mistura de ares introduzida no espaço, consistindo numa relação de 4 para 1 entre o ar do exterior e o ar do espaço de refrigeração a ser reciclado. A Fig. 2. permite observar a base de funcionamento do fornecimento de ar deste sistema, para efeitos de simplificação, o ponto de mistura de ares foi designado por “ponto 3”, tendo já sido feita uma explicação mais detalhada do que ocorre entre este ponto e o ar fornecido, na explicação da fórmula [2.27] no subcapítulo 2.3.1. Recorrendo à relação de 4 para 1, conclui-se que o ar estará a uma temperatura $T_3=13.2$ °C e a uma humidade absoluta, $W_3=5.8 \times 10^{-3}$ kg_{H2O}/kg_{as}. Sabendo a sua temperatura, pode interpolar-se a entalpia do vapor saturado nesse ponto, $h_{v3}=2525.16$ kJ/kg e do ar fornecido, $h_{vaf}=2499.80$ kJ/kg, a partir de valores de Rogers e Mayhew (1995). Resta interpolar a entalpia do líquido saturado no ponto 4, à temperatura T_{af} , $h_{l4}=1.68$ kJ/kg e a humidade absoluta no ponto 4 (W_4) que será a mesma que no ponto 3. Conhecendo todos estes valores calcula-se a carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração, $Q_{arref}=20.655$ kW, aproximadamente.

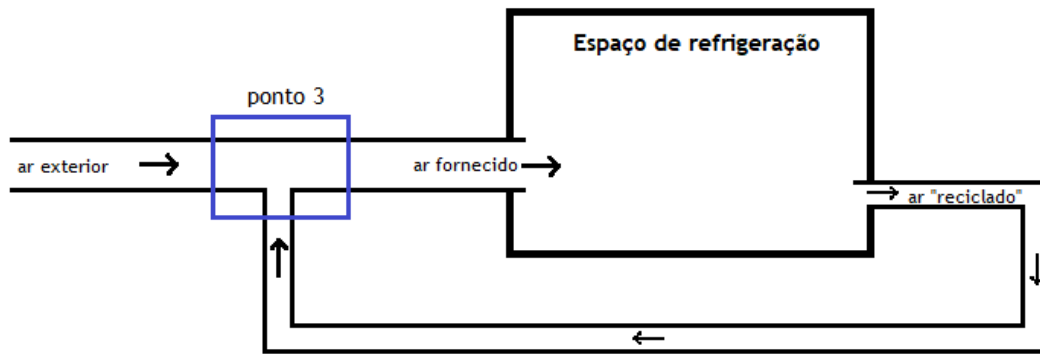


Fig. 2.4 - Esquema ilustrativo do sistema de mistura de ares.

2.3.8. Estabilização Tartárica

A estabilização tartárica será aplicada a todo o vinho, pouco tempo após a fermentação e antes do engarrafamento, excetuando uma pequena porção que possa vir a ser sujeita a períodos de maturação mais prolongados. Dados apresentados durante o estado da arte (cf. 1.3.3.) indicam que a fermentação demora em média 30 dias, no entanto, para efeitos de cálculo, considerou-se que o vinho é acumulado após a fermentação até ao final de uma semana¹⁶. Como tal, nessa altura, o vinho será colocado nas cubas cintadas, onde se iniciará o processo de estabilização tartárica, durante 7 dias, após os quais será removido e posteriormente adicionada uma nova remessa. Considerando a totalidade do vinho, estima-se que este processo deverá estender-se por 12 semanas.

Para avaliar a potência necessária para o funcionamento deste sistema deve-se recorrer à equação [2.15] que permite calcular a carga térmica necessária para arrefecer o vinho até perto de um grau negativo. A quantidade de vinho arrefecido será estimada com recurso ao método de conversão já apresentado no capítulo 2.1, considerando que uma tonelada de uvas se tornará em 700 litros de vinho. Serão tidas em consideração as mesmas características de massa e calor específico para o vinho que no capítulo 2.3.6. Em relação à sua temperatura inicial, no capítulo 2.1 foram apresentados vários intervalos de temperatura adequados à ocorrência de fermentação. Neste caso, irá assumir-se que o vinho tinto estará inicialmente a 27°C e o branco a 14°C. No caso desta exploração, apresenta-se a possibilidade de se recorrer a três cubas, semelhantes às apresentadas na Fig. 2., de 12000 litros, uma vez que passados 5 dias a quantidade de vinho esperada será de 35000 litros. Serão utilizadas duas cubas para vinho tinto e uma para vinho branco, em aço inox AISI 316, com camisas de refrigeração, onde será circulada água a temperaturas muito baixas, para tentar manter o vinho perto de -1°C.

¹⁶ Esta decisão foi tomada sem fundamentos práticos, todavia, para efeitos de cálculo, considera-se aceitável este período de tempo em que o vinho fica armazenado após a fermentação.



Fig. 2.5 - Exemplo de uma cuba com camisa de refrigeração. ¹⁷

Após serem conhecidas todas as variáveis e aplicando a fórmula [2.15] para um intervalo de tempo de 168 horas (7 dias), conclui-se que a carga térmica de arrefecimento da totalidade do vinho tinto colocado nas cubas, em simultâneo, será de aproximadamente 14510.42 W e de 3886.72 W para todo o vinho branco, perfazendo uma carga total aproximada de 18397.14 W, para todas as cubas. Para efeitos de compatibilidade com os restantes cálculos efetuados ao longo do trabalho, é necessário calcular a carga total diária, sendo esta de aproximadamente 2628.16 W.

Resta calcular a carga térmica associada ao ganho de calor devido à temperatura do espaço em que se encontram as cubas. O arrefecimento para a estabilização tartárica iniciar-se-á aproximadamente um mês após a colheita, como tal, a temperatura do ambiente será mais baixa que a assumida em etapas anteriores, portanto, para efeitos de cálculo, considerou-se um valor médio de 20°C no espaço onde as cubas se encontram. Inicialmente, para estimar a carga térmica ganha devido à temperatura do ambiente envolvente, será necessário avaliar a possibilidade de se assumirem as cubas como sendo placas planas verticais. Para tal, consultou-se Incropera *et al.* (2006) que apresenta um método de confirmação dessa possibilidade, comparando o resultado da divisão do diâmetro do cilindro (cuba) pela sua altura, com o quociente de 35 pelo número de Grashof elevado a um a dividir por quatro. Caso o resultado da divisão do diâmetro pela altura seja superior, pode assumir-se o cilindro como sendo uma placa plana vertical, o que se verifica neste caso. Conhecendo a metodologia necessária para

¹⁷ Imagem retirada de <https://www.equiproin.pt/produtos/cubas-inox-de-fermentacao-de-tintos/> no dia 20/01/2020.

efetuar este cálculo, recorre-se às equações [2.5] a [2.9] para obter o coeficiente convectivo médio. É admitido que o ar em torno da cuba se encontra a 8°C, devido à temperatura reduzida que se encontra no seu interior, como tal $T_{\infty e}=8^{\circ}\text{C}$, $T_{\infty i}=-1^{\circ}\text{C}$ e através da aplicação da fórmula [2.5] conclui-se que a temperatura de escoamento médio será de 3.5°C. Recorrendo a uma margem de 3°C, concluiu-se que a temperatura da superfície externa estará a aproximadamente 6.5°C e a do escoamento externo como sendo 20°C. De seguida, utiliza-se a equação [2.6] e calcula-se a temperatura de filme externa, cujo resultado é necessário para interpolar as características do escoamento, encontradas em Holman (2010), cujos valores serão apresentados de seguida.

Dados do escoamento externo:

- Temperatura de filme (T_{fe}) - $13.25^{\circ}\text{C} = 286.4\text{ K}$;
- Viscosidade cinemática (ν_e) - $14.499 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$;
- Condutividade térmica (k_e) - $2.516 \times 10^{-2}\text{ W/mK}$;
- Difusividade térmica (α_e) - $2.040 \times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$;
- Número de Prandtl (Pr_e) - 0.712;
- Coeficiente volumétrico de expansão térmica (β_e) - $3.492 \times 10^{-3}\text{ K}^{-1}$;

Conhecendo estes dados é possível calcular o número de Rayleigh, através da equação [2.7], $Ra=1.665 \times 10^{10}$ que permitirá aplicar a equação [2.8] e obter $\bar{Nu}_L=296.593$, posteriormente utilizado para calcular com [2.9] o coeficiente convectivo médio, $\bar{h}=3.392\text{ W/m}^2\text{K}$. Para obter o valor da carga térmica perdida, será necessário multiplicar o coeficiente convectivo médio pelo produto entre o diâmetro e a altura da cuba e pela variação de temperatura, obtendo-se $Q=470.127\text{ W}$, valor correspondente a uma cuba e 1410.380 W para todas as cubas.

Finalmente, pode-se adicionar a carga térmica perdida pelas cubas, devido à diferença de temperatura do escoamento externo, à carga térmica diária de arrefecimento do vinho, obtendo-se uma carga de arrefecimento do vinho para a estabilização tartárica, $Q_{tar}=4.039\text{ kW}$. Este valor será somado à carga de arrefecimento do espaço de refrigeração, para se conseguir a carga térmica de arrefecimento total, $Q_{total}=24.694\text{ kW}$. Este resultado representa a carga térmica máxima do sistema dimensionado, assumindo cenários considerados como mais prováveis.

2.4. Implementação do sistema de trigeriação

Este subcapítulo será dedicado à apresentação de equipamentos cujo funcionamento será capaz de corresponder às necessidades de arrefecimento da exploração vitivinícola em estudo, expondo uma proposta de implementação do sistema de trigeriação.

Como já foi previamente mencionado, os sistemas de trigeriação são capazes de produzir eletricidade, calor e frio através de uma fonte de combustível, porém, o foco principal deste trabalho é o arrefecimento, logo, será o fator com maior impacto na escolha dos equipamentos. O calor e a eletricidade gerados poderão ter várias aplicações, no entanto, evitar-se-á abordá-las neste trabalho, podendo ser posteriormente adaptadas às necessidades específicas de cada exploração.

Para implementar o sistema de trigeriação é necessário estimar qual o período de tempo em que existirá requisição da totalidade do arrefecimento, designada por carga térmica de arrefecimento total. Como já foi referido, (cf. 2.3.8.) a estabilização tartárica iniciar-se-á aproximadamente um mês após o início da fermentação, ou seja, sensivelmente um pouco mais de um mês após o início da colheita, com uma potencial variação de alguns dias. Desse modo, considerando um período de colheita que se estende por três meses, conclui-se que o período de tempo em que será necessário garantir uma capacidade de arrefecimento igual ou superior à carga térmica de arrefecimento total será de 2 meses. Contudo, a carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração deverá ser contabilizada desde o início da colheita.

2.4.1. Seleção do *chiller*

O fator principal de escolha do *chiller* será a carga térmica de arrefecimento total, uma vez que será necessário que o *chiller* tenha capacidade de arrefecimento suficiente para colmatar as necessidades do sistema, de aproximadamente 25 kW. A escolha do tipo de *chiller* será influenciada pela forma como será efetuada a combustão da biomassa, nomeadamente a gaseificação através de um motor de combustão. Recomenda-se, portanto, a escolha de um *chiller* de absorção de efeito simples da Yazaki, cujas especificações foram consultadas no site da marca. Este tipo de equipamento utiliza um circuito de aquecimento e arrefecimento de água, ideal para implementar em sistemas de trigeriação.

No que diz respeito ao modelo, a versão mais simples, o WFC-SC5 possui uma capacidade de arrefecimento de aproximadamente 17.6 kW, insuficiente para colmatar as necessidades energéticas do sistema. Para tal, seria necessário o modelo WFC-SH/SH10, com uma capacidade de arrefecimento de 35.2 kW. No entanto, existe a possibilidade de se escolherem vários *chillers* de uma gama mais baixa, em vez de um de uma mais elevada, o que apresenta como vantagens, a possibilidade de desligar os equipamentos em situações de necessidades energéticas mais reduzidas, levando a uma redução de custos. Outro fator vantajoso no que

corresponde à escolha de *chillers* múltiplos é a possibilidade de funcionar com menos dispositivos em caso de avaria ou paragem para manutenção de um dos dispositivos, ao invés da suspensão total do sistema. Considerando todos estes fatores, é sugerida a implementação de dois *chillers* do tipo WFC-SC5, cuja capacidade de arrefecimento conjunta é de, aproximadamente, 35.2 kW. (Yazaki, sem data)

Depois de conhecer o modelo a ser implementado, podem-se analisar algumas das características do mesmo, nomeadamente, a capacidade de arrefecer água até 7°C. Respetivamente às necessidades de calor, fator que irá ditar a escolha do motor de combustão escolhido, o modelo WFC-SC5 requer uma fonte de calor entre os 70 e os 95°C, com uma potência térmica de entrada de aproximadamente 25.1 kW, portanto os dois *chillers* irão necessitar de 50.2 kW. A potência de arrefecimento dos *chillers* apresentada já inclui o seu COP, de 0.7, como tal, pode-se considerar que a capacidade de arrefecimento dos mesmos será de 35.2 kW. (Yazaki, sem data)

2.4.2. Seleção da unidade de cogeração

Em sistemas de trigeriação, para garantir o funcionamento dos *chillers*, pode implementar-se um motor de combustão interna, alimentado pelo gás de gaseificação da biomassa, obtido através de um gaseificador. Este tipo de sistema existe no mercado de forma combinada, através da integração entre um motor de combustão interna e um gaseificador. Para o caso de estudo, sugere-se a implementação do sistema da Burkhardt GmbH que integra o gaseificador V4.50 com o dispositivo CHP smartblock 50T. A unidade CHP smartblock 50T consiste num motor de combustão interna adaptado com um sistema de reaproveitamento de calor dos sistemas de arrefecimento, lubrificação e gases de escape. O sistema integrado de cogeração recomenda a utilização de até 40 kg/h de *pellets* de madeira, como fonte de energia. Portanto, a aquisição do mesmo requer custos adicionais associados à necessidade de um triturador de madeira capaz de transformar os resíduos das podas das vinhas em combustível com as dimensões necessárias. (Burkhardt GmbH, sem data)

A informação fornecida pelos fabricantes, no site oficial, indica que o sistema combinado possui um *output* térmico de até 110 kW. Este resultado foi estimado, de forma linear, para *pellets* com um poder calorífico de 5 kWh/kg, assumindo uma eficiência térmica de 55% e uma eficiência global de 80%, para a potência de veio. A elaboração deste cálculo com base num determinado tipo de *pellet*, resulta na necessidade de se avaliar o seu desempenho utilizando os resíduos disponíveis no terreno, para garantir o funcionamento dos *chillers*. (Burkhardt GmbH, sem data)

2.4.3. Avaliação dos resíduos disponíveis no terreno

Na indústria da vinificação, as principais fontes de biomassa são os resíduos das podas e o bagaço, porém estas distinguem-se devido às suas características secas e húmidas, respetivamente. Devido à natureza distinta das duas fontes de biomassa, assumiu-se o uso exclusivo dos resíduos das podas, uma vez que seriam necessários dois processos de conversão distintos para utilizar os resíduos das podas e o bagaço. Para além deste facto, a maioria das explorações vitivinícolas possui aplicações para o bagaço que não passam pela utilização do mesmo como fonte de energia.

Inicialmente, será necessário consultar dados bibliográficos relativamente ao poder calorífico dos resíduos das podas, também designado por HV (*Heating Value*). Este divide-se em poder calorífico superior (HHV) e poder calorífico inferior (LHV). O poder calorífico inferior inclui a libertação de calor latente por evaporação, o que o torna mais realista e, conseqüentemente, mais indicado para utilizar no cálculo da potência térmica do processo. A variedade de tipos de vinhas, a percentagem de humidade presente nos resíduos das podas, a análise elementar e o teor em cinza são alguns dos fatores que influenciam os diferentes valores de LHV encontrados no estado da arte. Lapuerta *et al.* (2008) analisaram os resíduos provenientes das podas das videiras, e concluíram que estes possuíam um poder calorífico inferior de 17.91 MJ/kg, valor muito semelhante ao apresentado por IMF - Ibero Massa Florestal (2014), de 17.794 MJ/kg, sendo ambos em base seca; já no trabalho de González-García *et al.* (2014) foi considerado um LHV igual a 16.8 MJ/kg, para um teor de humidade de 15%.

Assumindo que os resíduos das podas serão secos até atingirem uma humidade de 20%, a comparação com o valor de LHV apresentado por González-García *et al.* (2014), resultaria num LHV de 15.81 MJ/kg. No entanto, à semelhança do que foi efetuado ao longo do trabalho, considerou-se mais adequado efetuar uma média entre 15.81 MJ/kg e os valores previamente apresentados, obtendo-se uma estimativa de LHV dos resíduos das podas de videiras de 17.17 MJ/kg.

A análise dos estudos efetuados por Son *et al.* (2011) e Proto *et al.* (2016) permite concluir que o poder calorífico do gás de síntese, proveniente da gaseificação, está dependente da sua análise elementar e da relação ar-combustível existente durante a gaseificação. Esta informação é de cariz extremamente específico e está intrinsecamente ligada à avaliação prática, contudo, para uma melhor estimativa do poder calorífico do gás de síntese proveniente da gaseificação de resíduos das podas de videira, consultou-se informação do estado da arte relativa ao tema. Não tendo sido encontrada informação disponível sobre o LHV do gás de síntese proveniente da gaseificação de resíduos das podas de videira, utilizou-se como analogia resultados para os resíduos das podas de oliveira. No seu estudo, Villarini *et al.* (2019) estimaram um poder calorífico do gás de síntese de 7.14 MJ/kg, já Nilsson *et al.* (2017) obtiveram um intervalo regular entre 4.05 MJ/kg e 7.41 MJ/kg, chegando a 8.84 MJ/kg

utilizando um ar enriquecido com 40% de oxigênio. Para analisar estes resultados foi necessário conhecer a densidade do gás de síntese, sendo que Mustafa, Calay e Mustafa (2017) apresentam um valor de 0.95 kg/m³. Seguindo a abordagem linear apresentada pela empresa Burkhardt GmbH, considera-se o rendimento térmico do gaseificador, de 55%, e multiplica-se pelo LHV da biomassa, conseguindo assim uma estimativa do LHV do gás de síntese que sairá do gaseificador, de 9.44 MJ/kg. (Burkhardt GmbH, sem data) Este resultado ultrapassa por uma margem considerável os valores provenientes do estado da arte, pelo que se optou por considerar o LHV do gás de síntese, à saída do gaseificador como sendo de 8 MJ/kg.

Para analisar o output térmico do sistema, nas circunstâncias consideradas, será necessário ainda considerar a potência térmica presente num quilograma de resíduos das podas de videiras, multiplicando o resultado previamente obtido por 1 kg/h, conclui-se que este possui um poder calorífico à saída do gaseificador de 8 MJ/h. Para converter este resultado para quilowatt, unidade de medida utilizada ao longo do trabalho, considera-se que um quilowatt equivale a 3.6×10⁶J e, como tal, o poder calorífico do gás de síntese proveniente da biomassa será de aproximadamente 2.22 kW. Conclui-se que o sistema combinado da marca, utilizando 40kg/h de resíduos das podas das videiras, terá um *output* térmico máximo de aproximadamente 88.89 kW.

2.4.4. Avaliação das necessidades energéticas do sistema

Finalmente, torna-se possível avaliar as necessidades energéticas do sistema dimensionado. Inicialmente, considera-se que os dois *chillers* necessitam de 50 kW para funcionar, logo, o *output* térmico mínimo exigido pelo sistema será equivalente a esse valor. Contudo, como se trata de uma unidade de trigeriação com potenciais aplicações variadas, decidiu-se atribuir uma margem de 20 kW. Portanto, considerou-se que a biomassa terá que ser capaz de produzir 70 kW, à saída do sistema de cogeração. Esta estimativa inclui um mês, período de tempo em que se estima que venha a existir requisição da carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração, bem como os dois meses com demanda da carga térmica de arrefecimento máxima, perfazendo um total de 3 meses. Para se atingir este *output* térmico, são necessários aproximadamente 31.5 kg/h de biomassa, portanto, para o período de tempo estimado, o sistema irá consumir aproximadamente 68.8 toneladas de biomassa.

2.4.5. Levantamento da disponibilidade de resíduos no terreno

Conhecendo a quantidade de biomassa necessária para garantir o funcionamento do sistema, no período de tempo estimado, resta efetuar um levantamento da disponibilidade de resíduos no terreno. Yuste *et al.* (2017) estimaram uma quantidade de resíduos provenientes das podas entre as 540 e as 1000 gramas por cepa, já Torres-Pereira, Magalhaes e Moutinho-Pereira (2001) estimaram uma média de 774 gramas por cada árvore podada. Dados recolhidos no terreno

relativamente aos resíduos das podas indicam que em média resultam 500 gramas de sobras de madeira por videira. Como tal, relacionando os valores previamente apresentados, chega-se a uma estimativa de aproximadamente 700 gramas de resíduos por pé de videira podado.

Como já mencionado previamente, (cf. 2.1) estima-se que a exploração possua uma média de 480000 pés de videira, o que se irá transmitir em 336 toneladas de madeira proveniente das podas, considerando 700 gramas de resíduo por pé de videira. No entanto, esta quantidade não será imediatamente utilizada como biomassa, uma vez que é necessário ter em consideração a humidade presente na madeira. Ntalos e Grigoriou (2002) observaram um teor de humidade de 40 a 50% nos resíduos das podas, já Nasser *et al.* (2014) avaliaram vários tipos de videiras, obtendo percentagens de humidade entre os 42 e os 66%. Portanto, neste trabalho será considerado um teor de humidade de 50%, valor intermédio entre os previamente apresentados. A equação [2.29] permite calcular a massa final (m_f) de biomassa através da relação entre a massa inicial (m_i) com as humidades inicial (w_i) e final (w_e).

$$m_f = m_i \times \left(\frac{100 - w_i}{100 - w_f} \right) \quad [2.29]$$

Assumindo como massa inicial 336 toneladas de madeira, com um teor de humidade inicial de 50% e admitindo a humidade pretendida (final) como sendo de 20%, obteve-se uma estimativa de 210 toneladas de produto final para ser usado como biomassa, resultado três vezes superior à quantidade requerida para o funcionamento do sistema.

Capítulo 3

Análise de resultados

Este capítulo, servirá para a apresentação da análise teórica dos resultados obtidos ao longo do trabalho. Para uma melhor qualidade de exposição, inicialmente será feita uma avaliação individual de cada carga térmica diária obtida, seguida da análise das cargas de arrefecimento e da implementação da trigeriação. Durante a análise serão considerados potenciais erros cometidos e suas causas, bem como a relevância dos mesmos no panorama geral do dimensionamento. Será ainda feita uma análise económica de cariz simplificado, a título ilustrativo, comparando o sistema selecionado com uma alternativa.

3.1. Análise das cargas térmicas

O fator predominante utilizado na distinção entre as cargas térmicas diárias obtidas foi a sua natureza (sensível ou latente), tendo-se feito ainda distinções relativamente à etapa, ou etapas, em que as cargas se manifestavam. Durante o trabalho foram apresentadas as condições consideradas no cálculo de cada uma das cargas térmicas, tais como as etapas da vinificação em que se enquadravam, os valores de temperatura, os períodos de tempo, entre outros.

Como foi mencionado anteriormente, neste subcapítulo, as cargas serão analisadas de forma individual, começando pela **carga térmica ganha através das paredes e teto (Q_{s1})**. Esta foi uma das cargas de obtenção mais complexa, requerendo conhecimentos de conceitos de termodinâmica e transmissão de calor, bem como de uma panóplia de fórmulas e cálculos intermédios para a atingir, o que pode ter originado erros de acumulação mais elevados do que nas outras cargas. No entanto, só foram efetuados arredondamentos no resultado final, para se minimizar este problema. O valor atingido para esta carga foi de 2134.60 W, representando 17.39% da carga sensível total no espaço de refrigeração, sendo que esta foi a segunda maior carga térmica sensível calculada, por uma margem muito reduzida. A dimensão desta carga deve-se às diferenças de temperatura entre o interior e exterior do espaço de refrigeração, demonstrando que mesmo com isolamento térmico, existem sempre ganhos de calor através das paredes e teto. Acredita-se que o facto de se terem desprezado os ganhos de calor através do pavimento não terá influência significativa no panorama geral.

O valor da **carga térmica devido à iluminação, $Q_{s2}=99.17$ W**, atingiu-se de forma relativamente simplificada, com recurso a uma única fórmula, portanto, sem erros de acumulação. Este resultado representa apenas 0.81% da totalidade da carga sensível ganha pelo espaço de

refrigeração, demonstrando a relevância reduzida da mesma no panorama global das cargas térmicas calculadas. Este número pouco significativo deve-se principalmente a ter-se assumido um período de tempo reduzido com iluminação e a utilização de lâmpadas com pouca potência. Contudo, estas considerações deveram-se ao facto de este tipo de espaço de refrigeração necessitar destas condições para garantir a sua eficiência.

A **carga térmica sensível devido ao pessoal de estiva, Q_{s3}** , apresenta-se como a carga térmica menos significativa entre todas as calculadas, 42.5 W, representando apenas 0.35% da carga térmica sensível total. A aparente insignificância deste resultado deve-se ao período de tempo extremamente reduzido considerado para a permanência do pessoal de estiva no espaço de refrigeração, bem como ao número diminuto de pessoas. Geralmente, este tipo de carga só é notório e relevante no cálculo de cargas térmicas em espaços dimensionados para a permanência de pessoas durante longos períodos de tempo. Todavia, devido à natureza “pesada” do trabalho a ser efetuado, durante a seleção das cargas a considerar, optou-se por não excluir esta carga, com o intuito de se poder avaliar uma potencial relevância, facto que não se verificou.

Acerca da **carga térmica devido à temperatura de entrada da fruta, $Q_{s4}=2133.33$ W**, os resultados atingidos demonstram uma relevância de 17.37% no panorama geral das cargas sensíveis, sendo este o terceiro valor mais significativo. Esta carga representou um dos propósitos para o dimensionamento do espaço de refrigeração. O resultado deste cálculo deve-se principalmente à diferença de temperatura entre o espaço de refrigeração e as uvas. Contudo, a quantidade de uvas inserida também representa um elemento significativo, sendo que esta equivale a apenas um quinto do valor assumido como a colheita efetuada num dia (cf. 2.2.). Resta mencionar o calor específico e o período de tempo de permanência das uvas no espaço, sendo que ambos foram fatores influentes no cálculo da carga térmica. As considerações implementadas para a elaboração dos cálculos efetuados nesta etapa possuem maior influência do que em outros casos, uma vez que estes valores possuem uma natureza muito específica, variando consoante a produção vitivinícola em questão. Portanto, o arrefecimento nesta etapa só se torna relevante em explorações vitivinícolas de grandes dimensões, onde a totalidade de uvas colhidas não é processada até ao dia seguinte.

O valor da **carga térmica devido à abertura de portas, Q_{s5}** , foi calculado considerando o pior cenário, (cf. 2.3.5.) elevando a carga térmica a proporções ligeiramente superiores às esperadas diariamente. Todavia, o incremento causado por esta consideração não é suficientemente significativo para alterar o dimensionamento do equipamento, conseguindo assim garantir que a carga térmica total se encontra calculada por excesso. O valor da carga térmica devido à abertura de portas atingido, $Q_{s5}=2032.80$ W, representa 16.56% da carga térmica sensível total, uma porção considerável da totalidade das cargas sensíveis. À semelhança da carga térmica ganha através das paredes e tetos, esta carga é inevitável,

podendo apenas ser minimizada, através da utilização de métodos alternativos mais rápidos a efetuar o transporte das caixas de fruta. Fatores como a duração média de abertura de portas para transpor uma tonelada de produto e a massa dos recipientes em que o mosto é transportado para o espaço de refrigeração foram estimados, o que poderá resultar em discrepâncias em relação aos valores reais.

A **carga térmica devido à temperatura das caixas** que transportam as uvas, $Q_{s6}=56.25$ W, demonstrou-se como mais uma das cargas com relevância global muito reduzida, apenas 0.46% da totalidade das cargas sensíveis. Ao contrário do caso dos recipientes onde o mosto é transportado para o espaço de refrigeração, esta carga foi considerada devido à possibilidade de as caixas se encontrarem no exterior antes de serem introduzidas no espaço de refrigeração e permanecerem lá durante o mesmo período de tempo que as uvas, o que não se deverá verificar para os outros casos. Contudo, como se pode observar pela sua pequena expressividade no panorama geral, esta carga poderia ter sido desprezada.

A **carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto branco para clarificação** (Q_{s7}), representa outra das cargas térmicas consideradas cruciais no dimensionamento do espaço de refrigeração, já que é uma das etapas da vinificação que pode beneficiar da aplicação de refrigeração. O valor atingido para esta carga térmica foi de 1354.63 W, 11.03% da carga térmica sensível total, no entanto, apesar de expressivo, é mais reduzido que o da carga térmica devido à temperatura de entrada das uvas (Q_{s4}). Isto deve-se ao período de tempo de permanência mais longo do mosto no espaço de refrigeração, à temperatura de entrada mais reduzida do mesmo e à exclusividade de aplicação desta etapa ao mosto branco. O cálculo desta carga térmica foi efetuado considerando a diferença de temperatura entre o mosto e o espaço de refrigeração, porém, o facto de se ter trabalhado, em parte, com base em suposições, pode ter levado a resultados diferentes dos que seriam obtidos com dados recolhidos no terreno. Estas considerações incluíram fatores essenciais ao cálculo da carga térmica, a quantidade de mosto obtida durante o processo de vinificação e a sua temperatura quando inserido no espaço e o calor específico do mesmo, sendo que todos eles foram estimados com base em informação proveniente do estado da arte.

O valor da **carga térmica causada pelo arrefecimento do mosto tinto para maceração pré-fermentativa**, $Q_{s8}=3386.57$ W, demonstra que esta é a carga térmica sensível mais elevada de entre as calculadas, representando mais de um quarto da carga térmica sensível total (27.59%). Os fatores que levam a este valor elevado passam principalmente pela maior quantidade de mosto a ser arrefecido, já que este representa dois terços da produção total. À semelhança da carga térmica anterior, também esta pode conter discrepâncias com o que se verifica na prática, predominantemente derivadas às suposições efetuadas durante o seu cálculo. Estas passam pelas situações mencionadas para a carga térmica anterior, (temperatura inicial, calor

específico, quantidade de mosto inserido), às quais se acrescenta a metodologia utilizada para estimar o valor médio de diferença de temperatura utilizado nos cálculos.

Finalmente, a última carga térmica sensível calculada foi a **carga térmica devido à temperatura de entrada das garrafas de vinho (Q_{s9})**, com um valor de 1035.96 W, 8.44% da carga térmica sensível total. Esta etapa encontra-se associada à conservação de vinho e pretende aproveitar a existência do espaço de refrigeração para o climatizar. Tal como em ocasiões prévias, foi efetuada uma estimativa por excesso do número de garrafas inseridas por dia, pelo que o valor efetivo desta carga deverá demonstrar-se inferior ao estimado neste cálculo. Os processos de conversão de quantidade de uvas para vinho, a necessidade de estimar dois valores distintos de calor específico, a densidade assumida para o vinho e a sua temperatura inicial representam valores que poderão ter causado discrepância em relação a resultados reais.

Partindo para as cargas térmicas latentes analisadas, começou-se com a **carga térmica latente devido ao pessoal de estiva**, cujo resultado foi $Q_{l1}=63.75$ W. Esta carga resume-se à componente latente do calor libertado pelas pessoas enquanto permanecem no espaço de refrigeração, representando 48.9% da carga térmica latente total. À semelhança da sua componente sensível, a notoriedade desta carga é reduzida, devido ao período de permanência do pessoal de estiva no espaço de refrigeração ser escasso.

Resta a **carga térmica latente devido à respiração da fruta (Q_{l2})**, cujo resultado calculado foi de 66.63 W, 51.1% da carga térmica latente total. Apesar de representar mais de metade da totalidade da carga térmica latente, a sua expressividade é muito reduzida relativamente às cargas sensíveis calculadas. No entanto, considerando a ambiguidade de informações relacionadas com o valor do calor de respiração das frutas presente no estado da arte, assim como a sua dependência em relação a fatores como a temperatura, admitiu-se a utilização deste valor. Esta suposição deve-se maioritariamente à dificuldade em estimar o funcionamento do metabolismo das uvas após serem colhidas, bem como a evolução da temperatura das mesmas após serem colocadas no espaço de refrigeração, o que levou a que se estime que este valor da carga térmica represente um dos resultados com maior potencial de discrepância em relação a possíveis valores recolhidos no terreno.

Para uma melhor análise global das cargas térmicas calculadas, efetuou-se um gráfico, ilustrado na Fig 3.1. A sua observação permite reconhecer a significância extremamente reduzida das cargas térmicas sensíveis de iluminação (Q_{s2}), do pessoal de estiva (Q_{s3}) e da temperatura de entrada das caixas que contém as uvas (Q_{s6}). O que permite concluir que, nas circunstâncias consideradas, estas poderiam ser desprezadas, uma vez que individualmente representam menos de 1% da carga térmica sensível total e apenas 1.62% em conjunto. Os resultados obtidos para a componente latente também são bastante reduzidos, porém, a componente latente

possui um papel relevante na metodologia utilizada para calcular a carga de arrefecimento, pelo que não seria aconselhável desprezá-la por completo.

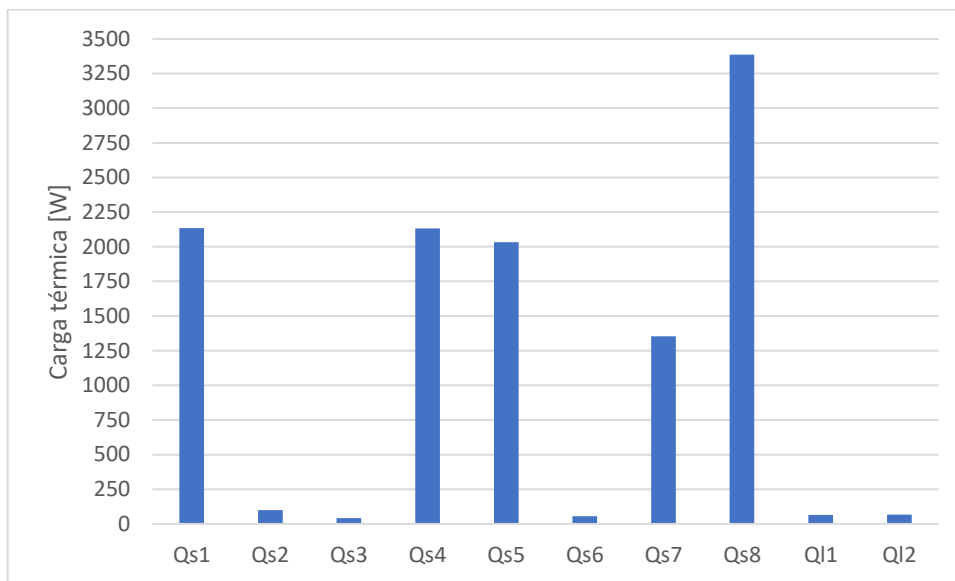


Fig. 3.1 - Ilustração dos resultados calculadas para cada carga térmica.

3.2. Análise das cargas de arrefecimento

Partindo para as cargas de arrefecimento calculadas, a **carga de arrefecimento total**, Q_{total} , representa a quantidade máxima de arrefecimento diário que a exploração vitivinícola estudada irá necessitar, de acordo com os fatores considerados ao longo do desenvolvimento do trabalho. O resultado obtido para esta carga foi de aproximadamente 24.694 kW, correspondendo à soma entre as duas cargas de arrefecimento que compõem a carga térmica total. Ou seja, a carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração (Q_{arref}) e a carga de arrefecimento do vinho para a estabilização tartárica (Q_{tar}).

A **carga térmica de arrefecimento do espaço de refrigeração**, $Q_{arref}=20.655$ kW, foi calculada partindo dos resultados da soma das várias cargas térmicas sensíveis e latentes presentes no espaço de refrigeração. Recorrendo a cálculo iterativo, avaliou-se o número de renovações por hora necessário para colmatar as necessidades de arrefecimento do espaço de refrigeração, chegando a um valor de 17. Este resultado é relativamente elevado e poderá revelar-se excessivo, de um ponto de vista prático, no entanto, foi o primeiro número de renovações que permitiu atingir uma temperatura de ar fornecido superior a 0°C , fator mandatário neste tipo de dimensionamento. Os valores médios de temperatura e humidade do ar exterior foram utilizados considerando o mês de setembro, devido a este ser habitualmente mais quente que os meses que se sucedem e como tal, ser necessário mais energia para tratar o ar nessas condições, resultando numa carga de arrefecimento maior. A escolha de uma relação de quatro

para um entre as misturas de ar provenientes do exterior e do espaço de refrigeração deve-se a esta ser uma das práticas comuns neste tipo de dimensionamento, contudo, poderá ser alterada para efeitos de aumento da eficiência energética.

Respetivamente à **carga de arrefecimento do vinho para a estabilização tartárica**, $Q_{tar}=4.039$ kW, esta é composta por duas componentes, respeitantes à carga causada pelo arrefecimento do vinho e à carga derivada dos ganhos de calor pela diferença de temperatura entre as cubas e o espaço em que se encontram. Para avaliação da carga causada pelo arrefecimento do vinho, utilizou-se o mesmo procedimento que ao longo do desenvolvimento do trabalho, mantendo os dados previamente utilizados para o vinho. As temperaturas iniciais estimadas para o vinho basearam-se em valores intermédios de entre os indicados para a ocorrência de fermentação. A componente dos ganhos de calor causados pela diferença de temperatura entre as cubas e o ambiente envolvente, foi calculada com a mesma metodologia que a carga térmica ganha pelas paredes e teto. Para efeitos de confirmação dessa possibilidade, recorreu-se ao método de comparação envolvendo o cálculo do número de Grashof, fator com potencial ocorrência de erros de cálculo, à semelhança de todos os cálculos envolvidos neste procedimento. No entanto, devido ao quociente entre o diâmetro e a altura das cubas ser mais de oito vezes superior à relação que utiliza o número de Grashof, esta confirmação apresenta fortes garantias que sustentam a consideração das cubas como placas planas verticais. Todavia, este tipo de consideração poderá levar a uma variação em relação aos valores reais. O mesmo sucede-se com as estimativas relativas aos valores de temperatura das cubas e do espaço em que se encontram, bem como à margem de variação de temperatura entre as superfícies e o escoamento.

Analisando simultaneamente as duas cargas que integram a carga de arrefecimento total, a carga térmica de arrefecimento proveniente do espaço de refrigeração representa 83.65% da carga térmica total, sendo os restantes 16.35% respeitantes à carga de arrefecimento do vinho para estabilização tartárica. Esta discrepância é esperada, devido às dimensões muito superiores do espaço de refrigeração em relação às cubas e às aplicações variadas do espaço de refrigeração, resultando numa carga térmica superior. Deve-se ainda considerar a natureza do arrefecimento de ambas as cargas, sendo que a primeira pressupõe o arrefecimento de uma mistura de ares, ao passo que a segunda requer apenas a manutenção de um circuito de água a uma temperatura reduzida.

3.3. Análise da implementação do sistema de trigeriação

A implementação do sistema de trigeriação representa o culminar dos cálculos efetuados ao longo da dissertação. À semelhança do que tem sido realizado, a sua elaboração foi efetuada de forma estratificado, começando com a seleção de um sistema de *chiller* de absorção de

efeito simples. A escolha efetuada, dois *chillers* da Yazaki modelo WFC-SC5, considera a sua capacidade de arrefecimento combinada de 35.2 kW, uma vez que esta já inclui o coeficiente de desempenho dos dispositivos. Este valor de potência térmica de arrefecimento ultrapassa em aproximadamente 10 kW a carga térmica de arrefecimento estimada. Relativamente à seleção de dois dispositivos de uma gama inferior, ao invés de um de uma gama superior, esta escolha foi feita considerando algumas vantagens apresentadas no ponto 2.4.1.

Analisando a seleção da unidade de cogeração, o sistema da Burkhardt GmbH que integra o gaseificador V4.50 com o dispositivo CHP smartblock 50T, representa uma solução capaz de garantir a potência térmica requerida pelos dois *chillers* previamente apresentados. A implementação de um sistema combinado deste tipo é vantajosa, uma vez que integra dois dispositivos dimensionados para um sistema de cogeração/trigeração, ao invés de dispositivos fabricados com propósitos diferentes. Esta vantagem espelha-se, por exemplo, no facto do sistema combinado já incluir um sistema de recuperação de calor, algo que não se verifica em sistemas individuais de motor de combustão interna e gaseificador, nos quais seria necessário integrar permutadores de calor. Relativamente à capacidade de aquecimento do sistema selecionado, este possui um output térmico máximo de 110 kW, segundo dados da marca. Este valor é esperado com a utilização de pellets de madeira como fonte de energia, sendo esta a principal desvantagem da implementação deste sistema. Contudo, pode ser colmatada recorrendo a um triturador de madeira, para cortar os resíduos das podas de videiras até às dimensões necessárias. Considerando o facto de não se utilizarem pellets de madeira, foi necessário estimar a potência térmica que pode ser atingida com a utilização da biomassa disponível.

Para avaliar as necessidades energéticas do sistema e os resíduos disponíveis no terreno, analisou-se informação relativa ao poder calorífico inferior (LHV) dos resíduos das podas de videira. Para tal, foi necessário considerar a humidade relativa pretendida para os mesmos, tendo-se estimado um valor de 20%, no entanto, esta poderá ser uma das considerações facilmente alteradas, do ponto de vista prático. A estimativa do LHV utilizado foi efetuada com recurso ao cálculo de uma média de valores recolhidos no estado da arte, portanto, poderá apresentar discrepâncias relativamente aos valores analisados no terreno. O mesmo verifica-se com as considerações relativas ao valor de poder calorífico inferior do gás de síntese, fator influenciado por questões de cariz prático, como é o caso da sua análise elementar e do fluxo de ar utilizado na gaseificação. Devido a estas circunstâncias, foi necessário efetuar uma estimativa, recorrendo a comparações com valores de LHV do gás de síntese proveniente da gaseificação de resíduos de podas de oliveiras. O resultado escolhido, 8 MJ/kg, representa um valor intermédio entre os resultados provenientes do estado da arte e os calculados com a metodologia da empresa Burkhardt GmbH. Este resultado poderá causar uma variação do LHV do gás de síntese, em comparação com o resultado real, originando uma discrepância em relação à quantidade de biomassa gaseificada por hora. No entanto, a potência térmica

estimada para o sistema, utilizando os resíduos de biomassa, foi de 88.89 kW, valor confortavelmente superior ao requerido pelos dois *chillers*. Foi também atribuída uma margem de 20 kW, considerado que ao implementar uma unidade de trigeiração, existem potenciais aplicações do ponto de vista da eletricidade e da energia térmica que não foram avaliados ao longo deste trabalho. No entanto, numa implementação prática, estas deverão ser consideradas. Estes fatores garantem que não ocorreu um sobredimensionamento, encontrando-se ainda aliados à possibilidade de o sistema não funcionar na sua capacidade máxima, sendo possível regular a quantidade de biomassa gaseificada por hora.

Avaliando a viabilidade dos resíduos disponíveis no terreno com a atribuição da margem de 20 kW previamente mencionada, estimou-se uma necessidade de 31.5 kg/h de biomassa, perfazendo um total de aproximadamente 69 toneladas, para o período de tempo considerado. Destas 69 toneladas, 67% correspondem à carga térmica de arrefecimento total, distribuída por dois meses. Esta quantidade de biomassa é facilmente correspondida, de acordo com os cálculos efetuados, estimando-se uma disponibilidade de 210 toneladas de resíduos, valor três vezes superior ao necessário. A análise da disponibilidade dos resíduos correspondentes à exploração em estudo, foi efetuada recorrendo a valores médios, provenientes do estado da arte e a uma estimativa relativamente aos valores de humidade relativa, podendo resultar em discrepâncias do ponto de vista prático.

Para garantir a viabilidade do sistema, resolveu-se efetuar uma avaliação, considerando um período de funcionamento após o estimado, assim como uma análise de um pior cenário, feita de acordo com a informação disponível no estado da arte, e tentando manter uma abordagem realista.

Relativamente ao período de funcionamento prolongado, assumiu-se um output térmico de 45 kW, durante dois meses, resultando numa necessidade de aproximadamente 20.3 kg/h de biomassa. Esta estimativa de output térmico considera energia térmica suficiente para o funcionamento de um *chiller*, sem grande influência na margem de 20 kW estabelecida. A quantidade total de resíduos das podas, assumindo estas circunstâncias, é de aproximadamente 98.5 toneladas, resultado que representa menos de metade da quantidade de resíduos disponível.

A análise do pior cenário baseou-se em várias premissas, sendo elas: uma quantidade máxima de uvas disponível, segundo os parâmetros consideradas, resultando em 640 toneladas e, conseqüentemente, num aumento do período de tempo de requisição da carga de arrefecimento de, no máximo, duas semanas; uma redução de 15% no poder calorífico do gás de síntese, resultando num valor de 6.8 MJ/h, por quilograma de biomassa; uma humidade dos resíduos, aquando da sua obtenção, de 60% e, por último, um prolongamento do período extra de funcionamento por mais duas semanas, totalizando dois meses e meio. Os resultados obtidos,

segundo estes parâmetros, foram uma redução de 42 toneladas após a secagem. A redução do output térmico máximo seria de 13.3 kW, para o período regular, levando a um aumento da necessidade de biomassa de 5.6 kg/h, aliado ao incremento de 408 horas de funcionamento, resultando numa necessidade acrescida de aproximadamente 27.4 toneladas de biomassa. Já as alterações na análise do período de funcionamento extra, transmitiram-se num aumento de 3.5 kg/h de consumo de biomassa, prolongando-se por mais 312 horas, resultando num aumento de consumo de 12.6 toneladas de biomassa. Todas estas suposições resultariam numa necessidade de mais 40 toneladas de biomassa, um aumento ligeiramente superior a 40%, em relação aos resultados estimados durante o dimensionamento, aliado à redução de 20% da disponibilidade estimada de biomassa. No entanto, mesmo nestas circunstâncias, restariam ainda quase 30 toneladas de resíduos das podas de videiras.

3.4. Análise económica

Para complementar a análise teórica, será efetuada uma breve análise económica, através da comparação entre dados relativos ao sistema selecionado e a um sistema (alternativo) convencional, um *chiller* de compressão do tipo inverter de condensação a ar. Primeiramente, serão apresentados dados relativos aos custos de investimento do sistema de trigeriação, seguidos dos mesmos para o sistema alternativo, por último, será apresentada a comparação entre os dois.

Habitualmente, as empresas deste ramo não disponibilizam ao público os preços dos dispositivos, facto que se verificou relativamente à Yazaki, pelo que foi necessário recorrer ao estado da arte. Labus, Bruno e Coronas (2013) estudaram a implementação de um *chiller* da Yazaki, modelo WFC SC/SH-10, nos EUA, tendo considerado um custo de aquisição de 14000€ para o dispositivo, em 2012. Como o modelo de *chiller* selecionado neste trabalho é a versão inferior à apresentada no artigo, assume-se que cada um poderá custar 65% do preço apresentado. Decidiu-se ainda considerar uma percentagem de 25%, relativa à inflação e aos custos de importação, resultando num custo de aquisição do *chiller* de 21700€. A este resultado adicionou-se uma estimativa de 10000€ respeitantes a custos de implementação. Relativamente à unidade de cogeração, informação disponibilizada pela empresa Burkhardt GmbH, apresenta um custo total de instalação de 250000€ por unidade, com potencial de variação de acordo com o local de instalação. Portanto, para a unidade de cogeração assume-se um custo total de implementação de 260000€, totalizando 291700€ para o sistema de trigeriação. Em relação aos custos de manutenção, decidiu-se aplicar uma taxa de 4% do valor de investimento, resultando em 1268€ para o *chiller* e 10400€ para a unidade de cogeração, totalizando 11668€.

Relativamente ao *chiller* de compressão do tipo inverter de condensação a ar, a empresa Daikin oferece uma gama de modelos com potências de arrefecimento nominal entre os 17 e os 63.3 kW. Selecionou-se o modelo EWAQ025CWP, com uma capacidade de arrefecimento nominal de

25.5 kW, valor ligeiramente superior à carga de arrefecimento. Este dispositivo, segundo dados da marca de 2018, apresenta um custo sem IVA de 10815€. Contabilizando esse preço, o valor de IVA a 23% e um custo adicional de 5000€ para implementação, perfaz um custo de investimento total de aproximadamente 18303€. Em relação aos custos de manutenção, considera-se a mesma taxa previamente aplicada, totalizando 732€ anuais. Na tabela seguinte será apresentada uma comparação de ambos os sistemas. (Daikin, sem data)

Tab. 3.1 - Tabela de comparação de custos de investimento.

Sistema	Custos de implementação [€]	Custos de manutenção anuais [€]
Chiller de efeito simples	31700	1268
Unidade de cogeração	260000	10400
Unidade de trigeriação (soma)	291700	11668
Chiller inverter de condensação a ar	18303	732

Após a apresentação dos custos de implementação e manutenção, deve ser feita uma análise do ponto de vista do consumo. Esta será feita considerando um panorama anual, dividido em período laboral e não laboral, para efeitos de facilidade de compreensão. Considerou-se como período laboral os 5 meses anteriormente mencionados e como período não laboral os restantes 7 meses. Durante o período não laboral, assume-se uma requisição de arrefecimento na ordem de 75% da carga de arrefecimento do espaço de refrigeração, estimativa correspondente à utilização do espaço para conservação de vinho. Em relação à trigeriação, o facto de após o levantamento da disponibilidade de resíduos no terreno (no final do período laboral), ainda restarem mais do dobro dos resíduos disponíveis no terreno, permite assumir que estes se encontram em quantidade suficiente para colmatar as necessidades de arrefecimento no período não laboral.

Seguidamente, é necessário considerar que o sistema de trigeriação irá produzir eletricidade, através da gaseificação de biomassa, enquanto que o sistema alternativo irá consumir eletricidade. Considera-se que a unidade de trigeriação funcionará como uma Unidade de Pequena Produção (UPP), vendendo à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) toda a eletricidade produzida. Consultando dados da EDP, a tarifa de acesso às redes de eletricidade em formato simples corresponde a 0.0716€/kWh, independentemente da potência contratada. Relativamente à venda de eletricidade à rede, considera-se um valor de 0.045€/kWh. (EDP, 2019)

Esta análise não considera o aproveitamento de energia térmica, devido à dificuldade em mensurar os lucros associados à mesma. Contudo, algumas potenciais aplicações poderão passar pela utilização do calor para secagem dos resíduos provenientes das podas até um teor de

humidade desejado, assim como a utilização do vapor gerado para efetuar a limpeza de equipamentos. No entanto, acredita-se que estes resultados não são expressivos de um ponto de vista económico.

A avaliação da quantidade de eletricidade produzida na unidade de trigeriação será efetuada considerando o rendimento eléctrico nominal no veio, de 25%, segundo dados da Burkhardt GmbH. Utilizando a mesma metodologia aplicada para a quantidade de calor, assume-se um output eléctrico de 1.01 kWh por quilograma de biomassa, oscilável de acordo com a quantidade de biomassa gaseificada. Durante o período laboral, os primeiros três meses resultarão num output eléctrico de aproximadamente 31.82 kWh, reduzindo para 20.51 kWh nos dois meses seguintes, relativos ao período extra. Por último, estimou-se um output eléctrico de 7.07 kWh para o período não laboral. Finalmente, conclui-se que o lucro anual de venda da eletricidade produzida, à tarifa previamente mencionada, será de aproximadamente 6105€.

Em relação ao sistema alternativo, o seu consumo variará de acordo com a potência de funcionamento do *chiller*. Durante o período laboral, considera-se o seu funcionamento a 100% da carga nominal e a 60% no período não laboral, resultando numa despesa anual em eletricidade de aproximadamente 12278€, assumindo um custo de 0.0716€/kWh.

Para efetuar a análise de viabilidade do sistema de trigeriação, decidiu-se considerar os seus custos de implementação e manutenção, aos quais será subtraída a soma do lucro de venda de eletricidade à rede com a quantidade de eletricidade que seria gasta com o sistema alternativo, resultando numa amortização anual de aproximadamente 18383€. Este valor é extremamente reduzido, se comparado com os custos de investimento, levando a que só passados 17 anos se receba um retorno do investimento e se comece a obter lucro com a venda de eletricidade. Deve ainda mencionar-se a linearidade dos valores admitidos, relativamente à compra e venda de eletricidade, assim como a não inclusão dos custos de reparação mais aprofundados, mandatária em todo o tipo de sistema com funcionamento constante, durante longos períodos de tempo. Estes fatores não contribuem de forma positiva para a viabilidade de implementação do sistema de trigeriação.

Para avaliar os custos de implementação de um sistema de caldeira a biomassa, recorreu-se a informação fornecida pela empresa inglesa Treco Ltd, no site oficial, que apresenta um intervalo entre 38000 e 45000€, para um output térmico na gama do necessário para o sistema, entre 50 e 75 kW. Esta estimativa inclui os custos de aquisição, instalação e dos componentes necessários, baseando-se em sistemas já implementados. Este valor de investimento é entre 5 a 6 vezes inferior ao do sistema de trigeriação. Apresentando-se como uma potencial alternativa de investimento mais viável. (Treco, 2019)

Para aprofundar a análise de viabilidade da utilização de uma caldeira de combustão de biomassa, utilizou-se a mesma metodologia de comparação aplicada entre o sistema de trigeração e o *chiller* de compressão. Analisando os custos de investimento máximos, de entre os previamente apresentados, aplicou-se a taxa de 4% para os custos de manutenção, levando a um valor de 1800€ anuais. A análise efetuada assume a utilização do mesmo sistema de arrefecimento, com os dois *chillers* de efeito simples da Yazaki, pelo que o seu custo de investimento e manutenção também deve ser considerado. Como tal, o sistema combinado caldeira + *chillers* resulta num custo de implementação de aproximadamente 76700€. Considerando os custos de manutenção da caldeira e dos *chillers*, bem como a quantidade de dinheiro poupada, estimada de acordo com os custos de funcionamento do *chiller* de compressão, estima-se que no final do oitavo ano o sistema se encontre pago. Este cenário é claramente mais positivo que no caso do sistema de trigeração.

Conclusão

A elaboração desta dissertação teve como foco a análise da quantidade de frio necessário para que seja aplicada a refrigeração em determinadas etapas da produção de vinhos tinto e branco, utilizando dados relativos a uma determinada exploração vitivinícola. Esta avaliação foi seguida pela avaliação de um sistema de trigerção que utiliza como fonte de energia resíduos das podas de videiras.

Durante este trabalho foram consultados livros e tabelas de termodinâmica e transmissão de calor, para a recolha das fórmulas a utilizar. Também se recorreu a esse tipo de material para obter valores de entalpia, densidade e calor específico, do ar, do mosto e do vinho, bem como das características do escoamento, como a viscosidade cinemática, a condutividade e a difusividade térmicas, e o número de Prandtl. Estes valores variam de acordo com a temperatura, pelo que a estimativa da mesma se revelou de grande importância. Foi necessário considerar não só a temperatura do espaço de refrigeração, capaz de englobar todas as etapas da vinificação e a conservação das uvas, como também a temperatura do ambiente exterior, através de valores médios, e a temperatura do armazém onde se situa o espaço de refrigeração. O mesmo aconteceu com a humidade relativa do ambiente exterior e do espaço de refrigeração, posteriormente utilizadas para avaliar a humidade absoluta, com recurso a uma carta psicrométrica. Foi necessário considerar muitas variáveis, algumas de natureza mais linear, como a quantidade de uvas, mosto, vinho e resíduos das podas disponíveis, alcançadas com base em valores médios recolhidos no estado da arte. Outras, de carácter mais delicado, como as temperaturas, as dimensões do espaço de refrigeração, os períodos com arrefecimento, as quantidades diárias de produto inserido no espaço de refrigeração ou nas cubas cintadas e a duração média de abertura de portas. Contudo, todos os fatores previamente mencionados tiveram relevância no cálculo das cargas térmicas, sendo que a sua variação em relação à prática poderá ter maior ou menor impacto, conforme a delicadeza dos mesmos.

Partindo do valor da carga térmica de arrefecimento total, composta pela soma da carga de arrefecimento do espaço de refrigeração e da carga de arrefecimento do vinho para a estabilização tartárica, iniciou-se a avaliação do sistema de trigerção. Esta começou com a seleção de dois *chillers* capazes de produzir frio para colmatar a carga térmica de arrefecimento total, nomeadamente os dispositivos da Yazaki WFC-SC5. Posteriormente, optou-se por uma unidade de cogeração da Burkhardt GmbH que engloba o gaseificador V4.50 com o dispositivo CHP smartblock 50T. A seleção deste tipo de dispositivo, ao invés de um gaseificador e um motor de combustão separados, apresenta como vantagens a inclusão de permutadores de calor para efetuarem o reaproveitamento do calor, resultando em rendimentos térmicos e elétricos consideráveis. Como desvantagem, surge a necessidade de utilização de pellets, resultando em custos de implementação adicionais associados à aquisição de um triturador de madeira.

A avaliação dos resíduos disponíveis no terreno iniciou-se com uma escolha na qual se decidiu excluir o bagaço e utilizar unicamente os resíduos das podas de videiras, devido à incapacidade de se converterem termoquimicamente, em simultâneo, e ao facto de na maioria dos casos as explorações possuírem outras aplicações para o bagaço. Para avaliar o potencial energético dos resíduos das podas, considerou-se o seu poder calorífico inferior, uma vez que este inclui a libertação de calor latente por evaporação, tornando-o mais realista. Recorreu-se a valores médios do estado da arte relativamente ao LHV dos resíduos das podas e ao teor de humidade desejado, o qual será atingido através de secagem. A complexidade associada aos valores de LHV do gás de síntese, obtido após a gaseificação dos resíduos das podas de videiras, levou a uma estimativa do seu valor, de acordo com a metodologia sugerida pela empresa fornecedora do gaseificador e com dados recolhidos no estado da arte referentes ao gás de síntese proveniente da gaseificação de resíduos das podas de oliveiras. Estas considerações poderão levar a uma certa discrepância, em relação a valores recolhidos no terreno, no entanto, o output térmico máximo esperado por parte da unidade de cogeração apresenta-se suficiente para garantir o funcionamento dos dois *chillers*.

Os resultados relativos à carga térmica do espaço de refrigeração, alcançados ao longo deste trabalho, representam uma estimativa, por excesso, da carga térmica diária associada ao mesmo. Este tipo de dimensionamento é principalmente visível nas cargas térmicas devido à abertura de portas, na de conservação de vinho e na escolha dos dados de temperatura ambiente do mês habitualmente mais quente. Estas opções permitiram assegurar a fiabilidade dos resultados obtidos, sem causar um sobredimensionamento. Para além disso, a seleção de dois *chillers* garante flexibilidade relativamente ao consumo energético. As restantes considerações basearam-se em valores médios para assegurar uma estimativa teórica mais próxima da realidade.

Os resultados alcançados revelaram uma disponibilidade de resíduos no terreno cerca de três vezes superior à quantidade necessária, num período de três meses, tendo-se incluído uma margem de 20 kW para aproveitamento térmico e/ou elétrico por parte da exploração. A inclusão de um período de funcionamento extra a 65% da carga inicial, durante dois meses, resulta ainda em sobrantes na ordem de mais do dobro dos resíduos disponíveis. Mesmo a análise de um pior cenário, revelou que no final, sobraria uma quantidade considerável de resíduos das podas. Esta análise permitiu concluir que a biomassa representa uma fonte de energia extremamente viável e (praticamente inesgotável) sobejamente abundante, capaz de colmatar necessidades energéticas de grande ordem, como é o caso dos dados recolhidos relativamente a esta exploração.

A breve análise económica efetuada, através da comparação com um *chiller* inverter de compressão a ar, alimentado a eletricidade, permitiu concluir que o sistema dimensionado não é economicamente viável para as circunstâncias consideradas, sendo que o retorno do investimento é esperado passados 17 anos. Deve mencionar-se que esta análise não considerou

o resultado correspondente ao aproveitamento de energia térmica, no entanto, considera-se que o impacto económico das mesmas é reduzido na indústria vitivinícola. Algumas potenciais aplicações poderão passar pela utilização do calor para secagem dos resíduos provenientes das podas até um teor de humidade desejado e a utilização do vapor para efetuar a limpeza de equipamentos. Também é necessário considerar a não inclusão de custos de reparação mais aprofundados nos equipamentos, potencialmente bastante elevados na unidade de cogeração, bem como os custos associados a um triturador de madeira. Deve ainda ser considerada a variação de legislação relativa à venda de eletricidade à rede e a utilização de preços fixos para a mesma, algo que não se verifica na prática. A breve análise relativamente a um sistema alternativo com uma caldeira de combustão de biomassa, associada ao sistema de *chiller* de efeito simples, revelou-se mais rentável que o sistema de trigeração. O principal fator de distinção são os custos de implementação bastante mais reduzidos que o de um sistema de cogeração, aliados à quantidade reduzida de aplicações de energia térmica e ao lucro relativamente baixo da venda de energia elétrica, o que permite concluir que este será o sistema mais rentável, de um ponto de vista económico e ambiental, atribuindo um propósito aos resíduos das podas de videiras.

A redação desta dissertação apresentou vários desafios e obstáculos, permitindo adquirir e consolidar muitos conhecimentos nas áreas abordadas. Acredita-se que foi possível transmitir ao leitor esses mesmos conhecimentos, assim como transmitir a viabilidade de uma implementação de um sistema deste género, bem como os seus benefícios energéticos e ambientais.

Desenvolvimentos futuros

Como em qualquer outro tipo de trabalho, existe a possibilidade de se efetuarem melhorias, correções e complementaridades, bem como inspirar novos projetos. Considerando estes fatores, seguidamente serão abordadas algumas sugestões de trabalhos futuros.

A avaliação dos resultados obtidos, através de uma análise prática, adaptando a metodologia efetuada a uma exploração onde seja aplicado arrefecimento na produção de vinho. Poderá até ser considerada uma posterior implementação prática, caso a exploração em questão esteja disposta a tal.

Comparação económica e prática, mais aprofundada e detalhada, entre a implementação de trigeração e a de um sistema com uma caldeira de combustão de biomassa, de um ponto de vista teórico e/ou prático.

A elaboração de um estudo mais aprofundado relativamente à gaseificação, a nível prático ou computacional, com avaliação do desempenho real do sistema, de acordo com a análise elementar do gás de síntese e variação da relação ar-combustível.

A implementação do sistema dimensionado, considerando a utilização de bagaço, ao invés de resíduos das podas de videiras, com posterior comparação dos resultados obtidos.

Referências

- ABNT (2008) *Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários Pt. 1: Projetos das instalações*. Brasil.
- Alcântara, A. (2012) *Avaliação Económica e Energética do Dimensionamento de Centrais de Cogeração e Trigeriação*. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.
- Alexandre-tudo, J. L. e Toit, W. (2018) 'Cold maceration application in red wine production and its effects on phenolic compounds : A review', *LWT - Food Science and Technology*, 95(Março), pp. 200-208. doi: 10.1016/j.lwt.2018.04.096.
- Almeida, D. (2005) *Manuseamento de Produtos Hortofrutícolas*. Primeira Edição. Editado por S. A. SPI - Sociedade Portuguesa de Inovação e Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação. Porto.
- Álvarez, I. *et al.* (2006) 'Impact of prefermentative maceration on the phenolic and volatile compounds in Monastrell red wines', *Analytica Chimica Acta*, 563, pp. 109-115. doi: 10.1016/j.aca.2005.10.068.
- Antonello, B. (2007) 'Making Wine: Alcoholic Fermentation', *Wine Culture and Information*, 17(48).
- ASHRAE (2006) 'Thermal Properties of Foods', de *2006 ASHRAE Handbook: Refrigeration*.
- Badger, P. C. (2002) *Processing Cost Analysis for Biomass Feedstocks*. Florence, Alabama. doi: 10.2172/814666.
- Barbosa, A. M. D. (2015) *Dimensionamento de um equipamento para refrigeração de produtos hortofrutícolas em escala laboratorial. Dissertação de Mestrado*. Universidade de Lisboa.
- Beites, R. P. L. (2013) *Concepção de uma instalação frigorífica com atmosfera controlada para a conservação de uvas de mesa. Dissertação de Mestrado*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Benni, S. *et al.* (2013) 'Thermal performance assessment for energy-efficient design of farm wineries', *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*. doi: 10.13031/trans.56.10259.
- Bicho, H. (2008) *Cogeração e Trigeriação: Estudo das Tecnologias, Enquadramento Jurídico e Aplicações à Indústria*. Universidade da Beira Interior.
- Blundell, S. J. e Blundell, K. M. (2010) *Concepts in Thermal Physics*. Segunda Edição. Oxford: Oxford University Press.
- Breu, F., Guggenbichler, S. e Wollmann, J. (2008) 'Bioenergia- manual sobre tecnologias, projecto e instalação', *Ufpr*, p. 242. Disponível em: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>.
- Bridgwater, A. V. (2012) 'Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading', *Biomass*

and Bioenergy. Elsevier Ltd, 38, pp. 68-94. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.

Burkhardt GmbH (sem data) '*Biomass power plants: cogeneration with wood*'. Disponível em: https://burkhardt-energy.com/en/power-engineering/heat-and-power-from-wood/?gclid=EAlaIqobChMI_4CQ4Jb35gIVyfZRCCh24agS1EAEYASAAEgIHHvD_BwE (Consultado em: 5/01/2020)

Cardoso, A. D. (2008) *O Vinho*. Editado por Âncora Editora.

Casassa, F. e Harbertson, J. (2014) 'Maceration Part 1: Focus on Phenolics'. Washington State University-Irrigated Agriculture Research and Extension Center

Casassa, L. F. e Sari, S. E. (2015) 'Sensory and chemical effects of two alternatives of prefermentative cold soak in Malbec wines during winemaking and bottle ageing', *International Journal of Food Science and Technology*, 50, pp. 1044-1055. doi: 10.1111/ijfs.12572.

Castro, R. M. G. (2009) *Energias Renováveis e Produção Descentralizada. Introdução à Cogeração*.

CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente (2001) 'Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos', em *Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos. Parte II - Tecnologias de Aproveitamento de Calor*. Lisboa, pp. 54-61.

Çengel, Y. A. e Boles, M. A. (2005) 'Appendix 1 Property Tables and Charts (SI units)', em *Thermodynamics An Engineering Approach*. Quinta Edição. McGraw-Hill, pp. 865-892.

Cipriano, J. (2017) *Como Se Produz Vinho - Receção de uva, Desengace, Esmagamento e Esgotamento, Clube Vinhos Portugueses*. Disponível em: <https://www.clubevinhosportugueses.pt/vinhos/como-se-produz-vinho-rececao-de-uva-desengace-esmagamento-e-esgotamento-2/> (Consultado em: 7/5/2019).

COGEN (2016) *Cogeração em Portugal*. Disponível em: https://www.cogenportugal.com/docs/d/405/60cb18_boletim_cogeracao_2_semestre_2016.pdf (Consultado em: 27/8/2019).

Costa, J. E. e Belchior, A. . (1972) *Laboração e utilização dos produtos secundários da vinificação*. Relatório Nacional, Lisboa.

Daikin (sem data). Disponível em: https://www.daikin.pt/pt_pt/customers.html (Consultado em: 21/1/2020).

Decreto Lei nº 127/2013 de 30 de Agosto. Diário da República n.º 167/2013 - Série I. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa.

DGEG/MEC; e PORDATA (2019) *Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia*. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+primária+total+e+por+tipo+de+fonte+de+energia-1130> (Consultado em: 5/8/2019).

- DGEG/MEc, P. (2018) *Produção bruta de energia eléctrica: total e por tipo de produção de energia eléctrica*. Disponível em:
<https://www.pordata.pt/Portugal/Produção+bruta+de+energia+eléctrica+total+e+por+tipo+d e+produção+de+energia+eléctrica-1126> (Consultado em: 6/8/2019).
- Dipti e Priyanka (2013) 'Bioenergy Crops an Alternative Energy', *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 4(3), pp. 265-272. Disponível em:
<http://www.ripublication.com/>.
- EDP (2019) 'Tarifa de Acesso às redes Eletricidade 2019' Disponível em:
https://www.edp.pt/media/1694210/tabelas-de-acesso-as-redes_2019v2.pdf (Consultado em: 21/1/2020).
- Encyclopedia Britannica* (sem data). Disponível em: <https://www.britannica.com/> (Consultado em: 15/5/2019).
- FAO (2009) *Grapes Wine, Agribusiness Handbook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Ferreira, S., Moreira, N. A. e Monteiro, E. (2009) 'Bionergy overview for Portugal', *Biomass and Bionergy*, 33(11), pp. 1567-1576.
- Figueira, N. (2010) *Trigeração numa estufa agrícola Produção de frio e electricidade pelo uso conjunto de Microgeração, bomba de calor e Chiller de absorção*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior.
- Florides, G. A. et al. (2002) 'Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for cyprus', *Solar Energy*, 72(1), pp. 43-51.
- Friedl, A. et al. (2005) 'Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition', *Analytica Chimica Acta*, 544(1-2 SPEC. ISS.), pp. 191-198. doi: 10.1016/j.aca.2005.01.041.
- Fuentes-Pila, J. e Garcia, J. L. (2014) 'Manual de Eficiência energética em Adegas', *Tesla - Transferring Energy Save Laid on Agroindustry*, June, p. 36.
- Garoglio, P. G. (1973) *Enciclopedia Vitivinicola Mondiale*. 8th edn. Milano: Edizioni Scientifiche UIV.
- Gaspar, P. D. et al. (2019) 'Computational tool for the analysis of the energy performance of cold storage systems in the wine industry', in Grumezescu, A. e Holban, A. M. (eds) *Trends in Beverage Packaging*. Primeira Edição. Academic Press 2019, p. 41.
- Gomes, M. C. S. R. (1960) *Microbiologia de Vinhos*.
- González-García, S. et al. (2014) 'Comparative environmental and energy profiles of potential bioenergy production chains in Southern Europe', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 76(2014), pp. 42-54. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.022.
- González-Neves, G. et al. (2015) 'Effect of cold pre-fermentative maceration on the color and

composition of young red wines cv. Tannat', *Association of Food Scientists & Technologists (India)*, 52(June), pp. 3449-3457. doi: 10.1007/s13197-014-1410-y.

Heldman, D. R. e Lund, D. B. (eds) (2007) *Handbook of Food Engineering*. Segunda Edição. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Hindsgaul, C. *et al.* (2000) 'Physical and chemical characterization of particles in producer gas from wood chips', *Bioresource Technology*, 73(2), pp. 147-155. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00153-4.

Holman, J. P. (2010) *Heat Transfer*. Décima Edição. McGraw-Hill.

Houtman, A. C., Marais, J. e Plessis, C. S. (1980) 'Factors affecting the reproducibility of fermentation of grape juice and of the aroma composition of wines. I. Grape maturity, sugar, inoculum concentration, aeration, juice turbidity and ergosterol', *Journal of Grapevine Research*, 19(1), pp. 37-54.

IMF - Ibero Massa Florestal (2014) 'Estudo do potencial energético de calor de cada biomassa/resíduo agrícola e vegetal (Projeto nº 34001)', p. 52. Disponível em: <https://en.imflorestal.com/docs/1.5.-Estudo-do-potencial-energetico-de-calor-de-cada-biomassa.pdf>. (Consultado em: 8/1/2020).

Incropera, F. P. *et al.* (2006) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Sexta Edição. John Wiley & Sons.

Jenkins, B. . *et al.* (1998) 'Combustion properties of biomass', *Fuel Processing Technology*, 54(1-3), pp. 17-46. doi: 10.1016/S0378-3820(97)00059-3.

Khan, A. A. *et al.* (2009) 'Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies', *Fuel Processing Technology*, 90(1), pp. 21-50.

Labus, J. M., Bruno, J. C. e Coronas, A. (2013) 'Review on absorption technology with emphasis on small capacity absorption machines', *Thermal Science*, 17(3), pp. 739-762. doi: 10.2298/TSCI120319016L.

Lapuerta, M. *et al.* (2008) 'Gasification and co-gasification of biomass wastes: Effect of the biomass origin and the gasifier operating conditions', *Fuel Processing Technology*, 89(9), pp. 828-837. doi: 10.1016/j.fuproc.2008.02.001.

Martins, L. (2012) *Análise da Influência de Variáveis Operacionais de um Sistema de Trigeração sobre o Desempenho Termodinâmico e a Distribuição das Utilidades*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas.

McKendry, P. (2002) 'Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass', *Bioresource Technology*, 83(1), pp. 37-46. doi: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3.

Mena, R. (2015) *Controlo da Fermentação do Mosto e das Condições Ambientais de uma Sala de Lagares*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Molino, A., Chianese, S. e Musmarra, D. (2016) 'Biomass gasification technology: The state of

- the art overview', *Journal of Energy Chemistry*. Elsevier B.V., 25(1), pp. 10-25. doi: 10.1016/j.jechem.2015.11.005.
- Mustafa, A., Calay, R. K. e Mustafa, M. Y. (2017) 'A Techno-economic Study of a Biomass Gasification Plant for the Production of Transport Biofuel for Small Communities', *Energy Procedia*, 112(Outubro), pp. 529-536. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1111.
- Nasser, R. A. *et al.* (2014) 'Fuel characteristics of vine prunings (*Vitis vinifera* L.) as a potential source for energy production', *BioResources*, 9(1), pp. 482-496. doi: 10.15376/biores.9.1.482-496.
- Nilsson, S. *et al.* (2017) 'Gasification of olive tree pruning in fluidized bed: Experiments in a laboratory-scale plant and scale-up to industrial operation', *Energy and Fuels*, 31(1), pp. 542-554. doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b02039.
- Ntalos, G. A. e Grigoriou, A. H. (2002) 'Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production', *Industrial Crops and Products*, 16(1), pp. 59-68. doi: 10.1016/S0926-6690(02)00008-0.
- OIV (2019) *2019 Statistical Report on World Vitiviculture*. Disponível em: <http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviculture.pdf>. (Consultado em: 1/10/2019)
- Oliveira, A. C. (2013) *Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética*. Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética.
- Oliveira, P. P. (2012) *Fundamentos de Termodinâmica Aplicada Análise Energética e Exergética*. Lidel.
- Pato, O. (1988) *O Vinho - Sua Preparação e Conservação*. Editado por Clássica Editora.
- Pires, R. M. (2008) 'Biomassa', *Jovem Socialista*, 460, p. 4. Disponível em: <https://issuu.com/juventudesocialista/docs/460>. (Consultado em: 20/5/2019)
- Proença, S. F. (2011) *Arrefecimento Solar : Análise da Viabilidade do Arrefecimento de uma Garrafeira Comercial por Intermédio de um Chiller de Absorção*. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior.
- Proto, A. R. *et al.* (2016) 'Energetic Characteristics of Syngas Obtained from Gasification of Hazelnut Prunings', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 223, pp. 835-840. doi: 10.1016/j.sbspro.2016.05.288.
- Quaak, P., Knoef, H. e Stassen, H. (1999) 'Energy from Biomass: A review of combustion and gasification technologies', *World Bank Technical Paper*, (422), pp. 1-78. doi: ISBN0 -8213-4335-.
- REA (2019) *Energia e Clima, Energias Renováveis*. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/energias-renovaveis> (Consultado em: 5/8/2019).
- Regulamento (CE) nº 1493/99 de 17 de Maio. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*.

- Ribéreau-Gayon, P. *et al.* (2006) *Handbook of Enology Volume 1 The Microbiology of Wine and Vinifications*. Segunda Edição. John Wiley & Sons, Ltd.
- Rizzon, L. A. e Dall'Agnol, I. (2007) *Vinho Tinto*. Primeira Edição. Brasília.
- Rizzon, L. A. e Dall'Agnol, I. (2009) *Vinho Branco*. Primeira Edição. Brasília.
- Rogers, G. F. C. e Mayhew, Y. R. (1995) *Thermodynamic and Transport Properties of Fluids - SI Units*. Quinta Edição. Blackwell Publishing.
- Rollinson, A. N. e Karmakar, M. K. (2015) 'On the reactivity of various biomass species with CO₂ using a standardised methodology for fixed-bed gasification', *Chemical Engineering Science*, 128(x), pp. 82-91. doi: 10.1016/j.ces.2015.02.007.
- Ruiz, J. A. *et al.* (2013) 'Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, pp. 174-183. doi: 10.1016/j.rser.2012.10.021.
- Sáez, Á. B. *et al.* (2017) 'Refrigeration in Winemaking Industry', in Ekren, O. (ed.) *Refrigeration*. First Edit. Ege University, Turkey, pp. 76-95.
- Saião, M. (2009) *Implementação de uma central a biomassa*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa.
- Santos, F. A (2010) *Biocombustíveis: prós e contras*, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*. Disponível em: <http://www.fsantos.utad.pt/pub-fas/Biocombustiveis.pdf>.
- Sheng, C. e Azevedo, J. L. T. (2005) 'Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data', *Biomass & Bioenergy*, 28, pp. 499-507.
- Silva, A. V. e Costa, P. M. (2012) 'Cogeração e Trigeração. Um caso prático.', *Neutro à Terra*, pp. 47-53. Disponível em: http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/3630/1/ART_AlfredoSilva_2012_NAT.pdf.
- Silva, L. M. L. R. (2003) 'Caracterização dos subprodutos da vinificação', pp. 123-133.
- Smyth, M. e Nesbitt, A. (2014) 'Energy and English wine production : A review of energy use and benchmarking', *Energy for Sustainable Development*. International Energy Initiative. Elsevier Inc, 23, pp. 85-91. doi: 10.1016/j.esd.2014.08.002.
- Son, Y. Il *et al.* (2011) 'Gasification and power generation characteristics of woody biomass utilizing a downdraft gasifier', *Biomass and Bioenergy*. Elsevier Ltd, 35(10), pp. 4215-4220. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.07.008.
- Speight, J. (2008) *Synthetic Fuels Handbook: properties, process and performance*. New York: McGraw HILL.
- Tinti, F. *et al.* (2015) 'Experimental analysis of thermal interaction between wine cellar and underground', *Energy & Buildings*. Elsevier B.V., 104, pp. 275-286. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.07.025.

- Tomás, R. (2010) *Mecanismos moleculares y bioquímicos implicados en la adaptación de Saccharomyces Cerevisiae a las bajas temperaturas de fermentación*. Tese de Doutoramento. Universidade Rovira i Virgili.
- Torres-Pereira, J. M., Magalhaes, N. e Moutinho-Pereira, J. M. (2001) 'Comportamento fisiológico e vitícola da C.V. Touriga Nacional Numa parcela de vinha "Ao Alto" na região demarcada do Douro', *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 16(2), pp. 49-63.
- Treco (2019) 'How much does a biomass boiler cost? '. Disponível em: <https://www.treco.co.uk/news/article/how-much-doe-a-biomass-boiler-cost> (Consultado em: 20/1/2020)
- Vassilev, S. *et al.* (2010) 'An overview of the chemical composition of biomass', *Fuel*, 89(5), pp. 913-933.
- Velho, I. (2005) *Sistemas de Produção Simultânea de Calor, Frio e Eletricidade*.
- Vieira, R. (2017) *Acompanhamento da produção de vinho tinto e branco da região Dão*. Relatório de Estágio. Politécnico de Coimbra.
- Villarini, M. *et al.* (2019) 'Sensitivity analysis of different parameters on the performance of a CHP internal combustion engine system fed by a biomass waste gasifier', *Energies*, 12(4). doi: 10.3390/en12040688.
- Spanish Wines (2011) 'Wine production (Part I e II)' Disponível em: <https://www.spanish-wines.org/wine-production.html> (Consultado em: 17/4/2019).
- Wu, D. W. e Wang, R. Z. (2006) 'Combined cooling, heating and power: A review', *Progress in Energy and Combustion Science*, 32, pp. 459-495. doi: 10.1016/j.pecs.2006.02.001.
- Yazaki (sem data) 'Literature'. Disponível em: <http://www.yazakienergy.com/literature.php> (Consultado em: 7/8/2019).
- Yuste, J. *et al.* (2017) 'Diez portainjertos de vid: Efectos sobre el crecimiento, la producción y la composición de la uva del cv. Sauvignon blanc en la denominación de origen rueda (España)', *BIO Web of Conferences*, 9, p. 01009. doi: 10.1051/bioconf/20170901009.

Anexos

Anexo A: Lista de fórmulas utilizadas

- [2.1] - Estimativa da quantidade média de polpa presente num bago de uvas;
- [2.2] - Carga térmica ganha através das paredes e tetos;
- [2.3] - Coeficiente global de transmissão de calor;
- [2.4] - Resistência térmica;
- [2.5] - Temperatura média do escoamento não perturbado do ar;
- [2.6] - Temperatura de filme;
- [2.7] - Número de Rayleigh;
- [2.8] - Número de Nusselt médio para placa plana vertical;
- [2.9] - Coeficiente convectivo médio;
- [2.10] - Comprimento característico;
- [2.11] - Número de Nusselt médio para a superfície superior de uma placa fria horizontal;
- [2.12] - Número de Nusselt médio para a superfície inferior de uma placa fria horizontal;
- [2.13] - Carga térmica devido à iluminação;
- [2.14] - Carga térmica devido ao pessoal de estiva;
- [2.15] - Carga térmica devido à temperatura de entrada dos produtos;
- [2.16] - Carga térmica devido à abertura de portas;
- [2.17] - Fórmula complementar da [2.16];
- [2.18] - Tempo de abertura de portas;
- [2.19] - Carga térmica devido ao calor de respiração dos frutos;
- [2.20] - Carga térmica sensível total;
- [2.21] - Carga térmica latente total;
- [2.22] - Caudal volúmico de ar fornecido;
- [2.23] - Temperatura do ar fornecido;
- [2.24] - Caudal mássico de ar fornecido;
- [2.25] - Humidade absoluta do ar fornecido;
- [2.26] - Humidade relativa do ar fornecido;
- [2.27] - Carga térmica de arrefecimento total;
- [2.28] - Estimativa do calor de respiração da uva;
- [2.29] - Massa final de biomassa após secagem.

Anexo B: Carta psicométrica

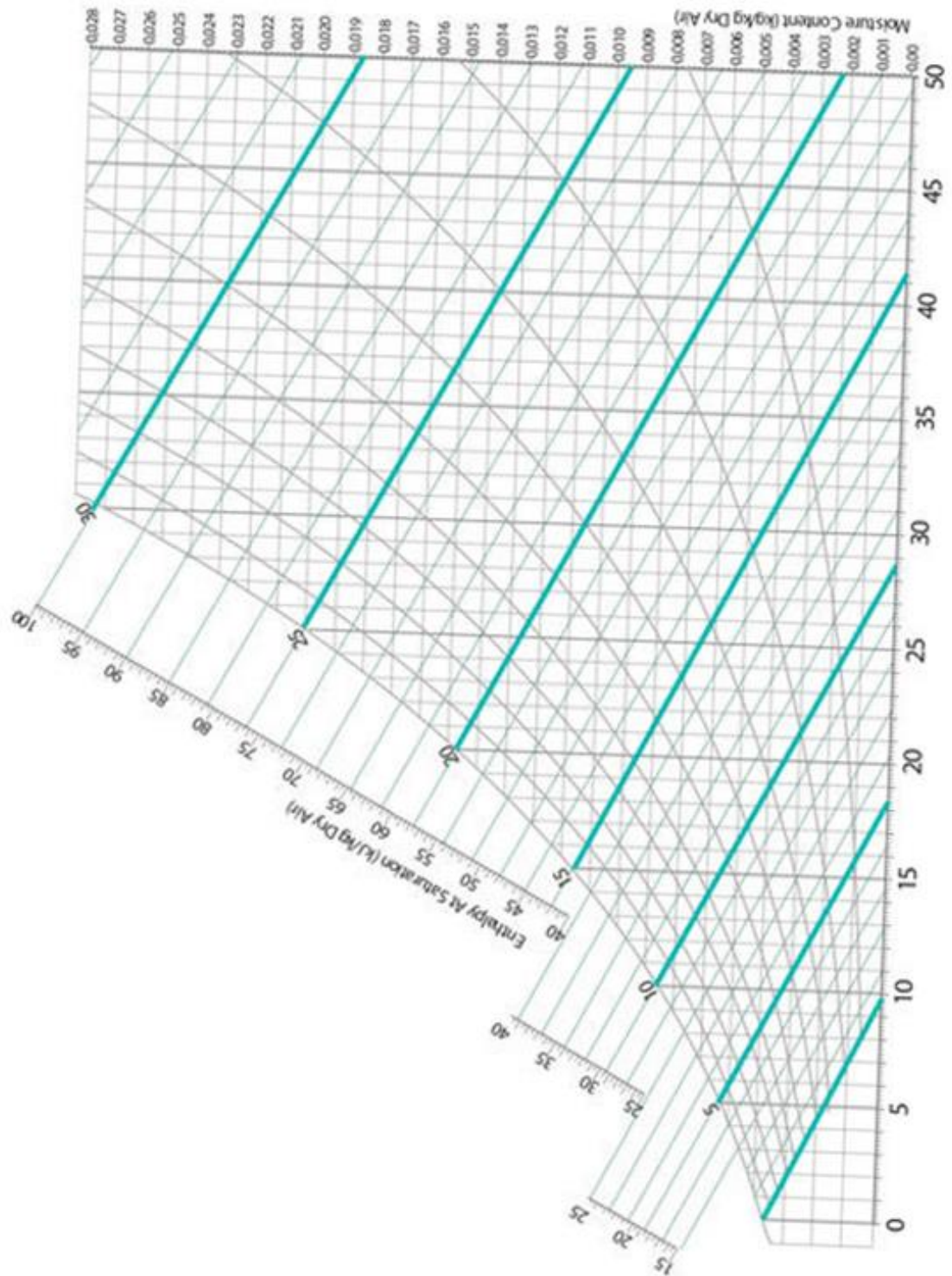


Fig. B.1 - Carta psicométrica. ¹⁸

¹⁸ Imagem retirada de <http://pogot.bietthunghiduong.co/psychrometric-chart/>, no dia 25/01/2020

Anexo C: Especificações dos chillers de efeito simples da Yazaki



Specifications⁵

Cooling		kW	17.6	35.2	70.3	105.5	175.8	351.6	
Heating (WFC-SH only)		kW	---	48.7	97.5	146.2	---	---	
Chilled / Hot Water	Cooling	°C	12.5 Inlet / 7.0 Outlet (12.2 Inlet / 6.7 Outlet for M100)						
	Heating	°C	---	47.4 Inlet / 55.0 Outlet (WFC-SH Models Only)			---		
	Rated Water Flow	L/s	0.76	1.5	3.1	4.6	7.6	15.3	
	Evaporator Pressure Loss ³	kPa	52.6	55.8	66.2	69.6	44.2	72.6	
	Maximum Operating Pressure ⁴	kPa	1034						
	Allowable Water Flow	% Rated	80% - 120%						
	Water Retention Volume	L	8.0	17.0	46.9	73.1	127.2	121.0	
Cooling Water	Total Heat Rejection	kW	42.7	85.4	170.8	256.2	427.0	854.9	
	Temperature	°C	31.0 Inlet / 35.0 Outlet (29.4 Inlet / 35.4 Outlet for M100)						
	Rated Water Flow ¹	L/s	2.6	5.1	10.2	15.3	25.5	34.0	
	Allowable Water Flow	% of Rated	100% - 120%						
	Absorber Pressure Loss ³	kPa	38.6	84.8	45.5	46.2	45.3	66.0	
	Condenser Pressure Loss ³	kPa	38.6	Included in Absorber	45.5	46.2	21.9	Included in Absorber	
	Maximum Operating Pressure ⁴	PSI	1034						
Water Retention Volume	L	37.0	65.9	124.9	194.2	330.1	422		
Heat Medium ⁶	Heat Input	kW	25.1	50.2	100.5	150.7	251.2	503.0	
	Temperature	°C	88.0 Inlet / 83.0 Outlet (90.0 Inlet / 80.0 Outlet for M100)						
	Allowable Temperature	°C	70.0 - 95.0 (70.0 - 93.0 for M100)						
	Generator Pressure Loss ³	kPa	77.0	90.3	46.2	60.7	93.7	29.7	
	Maximum Operating Pressure ⁴	kPa	1034						
	Rated Water Flow	L/s	1.2	2.4	4.8	7.2	12.0	12.4	
	Allowable Water Flow	% of Rated	30% - 120% (25% - 120% for M100)						
Water Retention Volume	L	10.0	20.8	54.1	84.0	150.3	250.0		
Electrical ⁷	Power Supply		115/60/1		208VAC / 60 Hz / 3-Phase				
	Consumption ²	Watts	48	210	260	310	670	640	
	Minimum Circuit Amps	Amps	0.89	0.6	0.9	2.6	4.7	2.7	
	MOCP -- Max. Fuse Size	Amps	15						
Capacity Control			On - Off					Proportional or On/Off	
Construction	Dimensions ³	Width	mm	594	760	1064	1380	1785	1510
		Depth	mm	744	970	1300	1545	1960	3654
		Height	mm	1755	1900	2010	2045	2085	2200
	Weight	Dry	kg	365	500	930	1450	2150	4940
		Operating	kg	420	603	1155	1800	2700	5740
Cabinet		NEMA 3R, Silver Metallic Pre-Painted Hot Dip Zinc-Coated Sheet Steel							
Noise Level ⁸	dB(A)	38	49	46	51	56			
Piping	Chilled / Hot Water	Inches	1-1/4 NPT	1-1/2 NPT	2 NPT	3 NPT	4 Flanged		
	Cooling Water	Inches	1-1/2 NPT	2 NPT	2-1/2 NPT	3 NPT	5 Flanged		
	Heat Medium	Inches	1-1/2 NPT	2 NPT	2-1/2 NPT	3 NPT	4 Flanged		

- NOTES:
1. Minimum cooling water flow is 100%.
 2. Power Consumption does not include external pumps or fan motors.
 3. Height does not include removable lifting lugs, but does include level bolts. Width/Depth does not include junction box or mounting plates.
 4. Do not exceed 150 PSI (1034 kPa) in any fluid circuit.
 5. Specifications are based upon water in all fluid circuits and fouling factor of 0.0005 ft²-hr-°F/Btu.
 6. Density of Heat Medium is 60.47 lbs/ft³, Specific Heat 1.003 BTU/lbs°F (185°F).
 7. Electric field wiring must be made in accordance with local regulation and must be sized to provide less than 2% voltage drop.
 8. Noise level is measured in a free field at a point 1m away from the cabinet and 1.5m above ground level.
 9. Pressure Loss ratings are +/- 10%.

Fig. C.1 - Especificações dos chillers de efeito simples da Yazaki. ¹⁹

¹⁹ Imagem retirada de <https://jumpshare.com/v/9oJ9JP6ZIR2SkxHeppU>, no dia 25/01/2020.

Anexo D: Especificações da unidade de cogeração

11.3. WOOD GASIFIER V4.50

The basic components are: fuel dosing system, gasification reactor, gas heat exchanger, gas filter and the control cabinet. The entire wood gasifier module is completely piped, wired and pre-assembled. Components that are subjected to heavy thermal stress have protective insulation.



Technical data:

Manufacturer:	Burkhardt GmbH
Model:	V 4.50
Operating principle:	Updraught direct-current gasification with stationary fluidised bed
Fuel:	Wood pellets DIN EN ISO 17225-2
Thermal output:	25 kW
Heater connection:	R 1" / PN6
Dimensions:	Approx. 4,400 x 1,485 x 3,325 mm (L x W x H) H: 2,350 for transport
Weight without cooling water:	Approx. 4,000 kg
Voltage supply:	400 V; 16 A
Other technical details:	see data sheet

Fig. D.1 - Esquema e especificações do gaseificador V4.50 da Burkhardt GmbH. ²⁰

²⁰ Imagem proveniente de um documento fornecido por email pela empresa Burkhardt GmbH.

11.4. CHP SMARTBLOCK 50T

The CHP is built on a stable, torsion-resistant base frame with a pan. The drive unit and generator are directly coupled and are on a flexible support to dampen vibrations. The main components, consisting of engine, generator, charge air supply unit, waste gas and plate heat exchanger, and oxidation catalyst, are completely integrated into the module. The control cabinet is set up separately. The entire combined heat and power plant is completely piped and wired all the way to the heating and waste gas connections. Components that are subjected to heavy thermal stress have protective insulation. A silencer upstream of the waste gas flue reduces sound pressure.



Technical data:

Manufacturer:	KW Energie
Model:	smartblock 50T
Operating principle:	Four-stroke Otto engine with turbocharger
Fuel:	Wood gas
Electrical output:	50 kW
Thermal output:	85 kW
Heater connection:	DN32/PN6
Dimensions:	Approx. 2,300 x 1,040 x 1,711 mm (L x W x H)
Operating weight:	Approx. 1,820 kg
Voltage supply:	400 V, 16 A
Operating mode	Grid-connected operation
Other technical details:	see data sheet

Fig. D.2 - Ilustração e especificações do CHP Smartblock 50T da Burkhardt GmbH.²¹

²¹ Imagem proveniente de um documento fornecido por email pela empresa Burkhardt GmbH.

Anexo E: Especificações do *chiller* inverter de condensação a ar

Tab. E.1 - Parcela da tabela de especificações dos chillers inverter de condensação a ar da Daikin.²²

				EWAQ016CAWP	EWAQ021CAWP	EWAQ025CAWP
Capacidade de arrefecimento	Máx.		kW	20.2	25.2	30.3
	Nom.		kW	17.0 (1)	21.2 (1)	25.5 (1)
	Nominal		kW	16.8	21.0	25.2
Controlo da capacidade	Method			Controlado por inverter	Controlado por inverter	Controlado por inverter
	Capacidade mínima		%	25	25	25
	Capacidade máxima		%	120	120	120
Potência absorvida	Arrefecimento	Nom.	kW	5.81 (1)	7.47 (1)	9.45 (1)
		EER		2.93	2.84	2.70
			ESEER	4.85	4.70	4.57
Dimensões	Unidade embalada	Profundidade	mm	834	834	834
		Altura	mm	1,860	1,860	1,860
		Largura	mm	1,394	1,394	1,394
	Unidade	Profundidade	mm	774	774	774
		Altura	mm	1,684	1,684	1,684
		Largura	mm	1,370	1,370	1,370

Tab. E.2 - Tabela de preços dos chillers inverter de condensação a ar da Daikin.²³

Só Frio	Arrefecimento kW		Preço s/ IVA	Opcional		Alimentação Elétrica
	Nominal	Max		OP10 (1)	OPZL (2)	
EWAQ016CWP	17	20,2	8.316 €	545 €	408 €	TRIFÁSICO
EWAQ021CWP	21,2	25,2	9.668 €			TRIFÁSICO
EWAQ025CWP	25,5	30,3	10.815 €			TRIFÁSICO
EWAQ032CWP	31,8	37,8	12.597 €			TRIFÁSICO
EWAQ040CWP	42,3	50,3	16.367 €	686 €	545 €	TRIFÁSICO
EWAQ050CWP	50,7	60,3	18.128 €			TRIFÁSICO
EWAQ064CWP	63,3	75,3	20.792 €			TRIFÁSICO

²² Imagem retirada de https://www.daikin.pt/pt_pt/products/EWAQ-CWP.table.html, no dia 25/01/2020.

²³ Imagem retirada de <http://www.solarcondicionado.pt/files/price-tables/Tabela-Precos-DAIKIN-2018.pdf>, no dia 25/01/2020.

Anexo F: Tabela de cálculos

Tab. F.2 - Tabela em Excel dos cálculos efetuados para obtenção da carga térmica de arrefecimento total.

	A	B	C	D	E	F	G
2	Carga de arrefecimento [KW]			1ª Iteração (n=6/h)	6		
3	Dados ambiente	09/2018 V. R.		volume ar forn. [m3/s]	0,35	[°C]	
4	Tempe. Ambiente [°C] (Normal Tx t.máx)	26		tempe. Ar forn. [K]	257,5656469	-15,58435	
5	humidade relativa [%] (média estimada)	52					
6	humidade absoluta [Kgh2o/Kgas] (carta)	0,011		2ª iteração (n=10/h)	10		
7				volume ar forn. [m3/s]	0,583333333		
8	Dados sala			tempe. Ar forn. [K]	267,223775	-5,926225	
9	Tempe. Ambiente [°C]	10					
10	humidade relativa [%]	60		3ª iteração (n=13/h)	13		
11	humidade absoluta [Kgh2o/Kgas] (carta)	0,0045		volume ar forn. [m3/s]	0,758333333		
12				tempe. Ar forn. [K]	270,7379495	-2,412051	
13	Outros dados						
14	Constante universal gases perfeitos [KJ/KgK]	0,287		4ª iteração (n=17/h)	17		
15	Pressão [bar]	100		volume ar forn. [m3/s]	0,991666667		
16	Calor específico ar [KJ/KgK]	1,005		tempe. Ar forn. [K]	273,5595132	0,409513	
17	Calor específico vapor [KJ/KgK]	1,865					
18	entalpia mudança de fase fg (10°C) [Kj/Kg]	2477,2		caudal mass. ar forn. [kg/s]	1,26308331		
19	Pressão gás (ar) [bar] (10°C)	0,01227		Humid. Abs. Ar forn. [Kgh2o/Kgas]	0,004458331		
20	Qsens (pág uvas+carga) [KW]	12,275815		Humid. rel. Ar forn. [%]	58,41673987		
21	Qlat (pág uvas+carga) [KW]	0,13038					
22				Carga de arrefecimento [KW]	20,65545154		83,6457
23	4 Vr para 1 Vamb						
24	T3 [°C]	13,2		Carga estabilização [kW]	4,038541725		16,3543
25	entalpia do vapor 3 [Kj/Kg] (a T3)	2525,16		(pág. Anterior)			
26	Taf [°C]	0,409513184					
27	entalpia vapor de ar forn. [Kj/Kg] (a Taf)	2499,79116		Carga total [kW]	24,69399327		
28	humidade absoluta w3	0,0058					
29	entalpia líquido h14 (condições de af) [Kj/Kg]	1,69484					

