



## Análise e otimização de sistemas de climatização em instalações industriais

JOÃO PEDRO PAIVA GUIMARÃES PIMENTA

outubro de 2025

Análise e otimização de sistemas de  
climatização em instalações industriais

João Pedro Paiva Guimarães Pimenta

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Energia

**Orientador:** Especialista Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira, Profes-  
sora Adjunta, ISEP

**Júri:**

Presidente:

Rui Filipe Neves De Araújo Rego, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Isabel Maria Garcia Sarmento Pereira, Professora Adjunta, ISEP

Bruno Henrique Santos, Professor Auxiliar Convidado, FEUP



## Agradecimentos

A realização desta dissertação apenas foi possível graças ao apoio, incentivo e contributo de várias pessoas e instituições, a quem expresso o meu mais profundo agradecimento. Em primeiro lugar, agradeço à Engenheira Isabel Sarmento, especialista e professora adjunta no Instituto Superior de Engenharia do Porto, e ao responsável pelo setor geral da empresa Leica - Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., José Álvaro Silva Ribeiro, pela orientação, acompanhamento rigoroso e generosa partilha de conhecimento, elementos essenciais para a qualidade e conclusão deste trabalho.

Reconheço igualmente o apoio do Engenheiro Vítor Gomes e de toda a equipa de manutenção da Leica, cujo suporte técnico foi fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço, também, a todos os colaboradores da empresa, bem como aos contactos da TRANE, EVAC e Arsopi Thermal, que prestaram contributos valiosos ao longo do projeto.

Dirijo uma palavra especial de gratidão aos meus colegas, amigos e família, pelo incentivo constante e apoio emocional que foram determinantes para ultrapassar os desafios deste percurso académico. Sem este suporte, não teria sido possível superar as exigências inerentes à realização desta dissertação.

Finalmente, deixo o meu sincero agradecimento a todas as pessoas e entidades que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. A todos, o meu profundo obrigado.



## Resumo

O presente trabalho analisa a eficiência dos sistemas de climatização e produção de energia térmica de uma unidade industrial, enquadrando o seu desempenho numa perspetiva integrada de racionalização energética e alinhamento com os objetivos de descarbonização. O estudo inicia-se com a contextualização do consumo energético industrial, evidenciando a importância dos sistemas AVAC e a necessidade da sua otimização para a redução da absorção de energia elétrica e das emissões de gases com efeito de estufa.

O objetivo central consistiu na avaliação e otimização dos sistemas de aquecimento, com especial enfoque no regime de funcionamento das bombas de calor, através da identificação das temperaturas de produção de água quente mais eficientes e da análise comparativa dos regimes de bombeamento. A metodologia contemplou o levantamento técnico detalhado dos sistemas, a recolha e tratamento extensivo dos dados operacionais e a análise quantitativa dos consumos e perdas energéticas.

A abordagem permitiu correlacionar as condições climáticas exteriores com as necessidades em climatização e o consumo energético, tendo sido implementados modelos para avaliar o impacto da temperatura exterior no desempenho do sistema. Das análises entre diferentes regimes de bombeamento resultou a recomendação de um novo regime de caudal constante, com produção de água quente a 45°C e uma temperatura mínima de entrada no condensador de 35°C, permitindo estimar reduções médias mensais de custos relativos à energia elétrica absorvida pelas bombas de calor de cerca de 35%, sem comprometer o conforto ambiental e a segurança operacional. Foram identificadas limitações na medição, monitorização e documentação técnica, sendo propostas soluções para colmatar estas lacunas.

Com base nos resultados, recomenda-se manter o regime de bombeamento constante no circuito primário das bombas de calor para otimização operacional, implementar procedimentos de medição sistemática, calibração regular dos sensores, modernizar o sistema de gestão técnica, valorizar a recuperação de calor das unidades de produção de água fria e eliminar um permutador de calor redundante na distribuição de água aquecida à fábrica. A integração destas medidas potenciará ganhos energéticos e económicos, o cumprimento das metas ambientais e a competitividade da empresa. O trabalho comprova que, mesmo em contextos industriais complexos, a melhoria sustentada da eficiência energética e a adoção de soluções mais sustentáveis são tecnicamente exequíveis e economicamente vantajosas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bombas de calor - *Chillers*, Bombas de circulação, Climatização industrial, Eficiência energética, Otimização operacional, Recuperação de calor.



# Abstract

This work analyzes the efficiency of the climate control and thermal energy production systems in an industrial facility, adopting an integrated perspective of energy rationalization and alignment with decarbonization objectives. The study begins by contextualizing the energy consumption of the industrial sector, highlighting the significant proportion represented by HVAC systems and the importance of their optimization in reducing both electricity demand and greenhouse gas emissions.

The central goal was to assess and optimize heating systems, with particular focus on the operating regime of heat pumps, seeking to determine the most advantageous one, especially through the identification of the most efficient hot water production temperature and the analysis of pumping regimes. The methodology followed a staged approach, including the detailed technical survey and characterization of the relevant systems, comprehensive collection and processing of operational data, and the quantitative analysis of energy consumption and losses.

This approach enabled the establishment of clear links between outdoor climatic conditions, indoor climatization requirements, and electrical energy consumption, with the implementation of models to assess the impact of outdoor temperature on system performance. Comparative analyses were conducted between different pumping regimes, leading to the recommendation of a new constant-flow pumping regime with a hot water production temperature of 45°C and a minimum condenser water inlet temperature of 35°C. It is estimated that this new regime will yield average monthly savings of approximately 35% in costs associated with the absorbed electrical energy by the evaluated heat pumps, achieved without compromising environmental comfort or operational safety. Key limitations were identified, particularly regarding measurement, monitoring, and technical documentation of the installation, and solutions were proposed to address these gaps.

Based on the results, it was recommended to maintain the constant-flow pumping configuration in the heat pump feed circuit for operational simplification and optimization, as well as to implement systematic measurement procedures, regular sensor calibration, modernization of the building management system, future utilization of heat recovery functions from the chilled water production units, and removal of a redundant heat exchanger in the factory's hot water distribution circuit. The integrated application of these measures will enable the company to enhance energy and economic gains, comply with environmental targets, and strengthen its competitive position. This work demonstrates that, even in complex industrial systems, sustained improvement in energy efficiency and the transition towards more sustainable practices are both technically feasible and economically advantageous.

**KEYWORDS:** Circulation pumps, Energy Efficiency, Heat Pumps - Chillers, Heat Recovery, Industrial climatization, Operational optimization.



# Índice

Índice Figuras	xii
Índice de Tabelas	xiv
Acrónimos e Símbolos	xv
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento	1
1.1.1 Introdução à empresa em estudo	1
1.1.1.1 Caracterização dos consumos primários de energia da empresa	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia utilizada	3
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1 Políticas para descarbonizar a indústria	5
2.1.1 Na União Europeia	5
2.1.2 Em Portugal	6
2.1.2.1 Descarbonizar a climatização de indústrias consumidoras intensivas de energia	6
2.1.2.2 Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia	7
2.2 Produção de energia térmica na indústria	8
2.2.1 Fluidos frigorigéneos	8
2.2.1.1 Aplicações	8
2.2.1.2 Condições e critérios de seleção	8
2.2.1.3 Classificações	9
2.2.1.4 HFC 134a	9
2.2.1.5 HFO R1234ze	10
2.2.2 Ciclo de refrigeração de Carnot	11
2.2.2.1 Funcionamento e descrição do ciclo	11
2.2.2.2 Aplicação e limitações	12
2.2.2.3 Desempenho e eficiência energética	12
2.2.2.4 Características dos ciclos reais	13
2.2.2.5 Meios de transferência de carga de refrigeração	13
2.2.3 Bomba de calor	13
2.2.3.1 Tipos de bombas de calor segundo a fonte térmica	14
2.2.3.2 Normas e regulamentação	15
2.2.3.3 Componentes e princípio de operação	15
2.2.3.4 Eficiência	16
2.2.3.5 Novas tecnologias	17
2.2.3.6 Tecnologias alternativas	18
2.2.3.7 Arrefecimento	18
2.3 Distribuição de energia térmica	19
2.3.1 Implementação de bombeamento variável	19
2.3.1.1 Bombas de circulação com caudal fixo	19
2.3.1.2 Implicações técnicas da implementação de bombas de circulação de caudal variável	20
2.3.1.3 Impacto na eficiência global	20
2.3.1.4 Impacto na fiabilidade operacional	20

2.3.1.5	Comparação prática: fixo vs variável . . . . .	20
2.3.2	Bombeamento composto . . . . .	21
2.3.3	Controlo da capacidade térmica em sistemas hidráulicos . . . . .	21
2.3.3.1	Controlo on/off . . . . .	21
2.3.3.2	Controlo modulante . . . . .	21
2.3.3.3	Válvulas de controlo . . . . .	22
2.3.3.4	Dimensionamento das válvulas de controlo . . . . .	23
2.3.3.5	Válvulas de balanceamento . . . . .	23
2.3.4	Sistema industrial de aquecimento a baixa temperatura . . . . .	23
2.4	Climatização . . . . .	24
2.4.1	Tratamento térmico de ar através de baterias a água . . . . .	24
2.4.1.1	Aquecimento . . . . .	24
2.4.1.2	Arrefecimento . . . . .	25
2.4.1.3	Efeito das condições operacionais sobre o desempenho da bateria . . . . .	25
2.4.2	Regime de temperaturas de funcionamento . . . . .	26
2.4.3	Sistemas AVAC centralizados Ar-Água . . . . .	26
2.5	Metrologia como estratégia de controlo e gestão . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Métodos e Aplicação</b>	<b>29</b>
3.1	Apresentação do caso de estudo . . . . .	29
3.2	Caracterização dos sistemas de produção, distribuição e utilização da energia térmica na empresa . . . . .	30
3.2.1	Sistemas de produção de água quente . . . . .	30
3.2.1.1	Consumo elétrico e custo de operação das bombas de calor 2 e 3 . . . . .	32
3.2.2	Sistemas de produção de água refrigerada . . . . .	32
3.2.3	Distribuição de água quente . . . . .	34
3.2.3.1	Circuitos de distribuição . . . . .	34
3.2.3.2	Válvulas . . . . .	36
3.2.4	Sistemas de climatização . . . . .	36
3.2.5	Gestão técnica centralizada da climatização . . . . .	38
3.3	Análise das condições de utilização da energia térmica . . . . .	39
3.3.1	Regimes de produção de energia térmica das bombas de calor 2 e 3 . . . . .	39
3.3.2	Estimativa do caudal de água que atravessa o condensador das bom- bas de calor 2 e 3 . . . . .	40
3.3.3	Condições de operação das bombas de calor 2 e 3 em diferentes regimes . . . . .	41
3.3.3.1	Estimativa da evolução das variáveis operacionais das bom- bas de calor 2 e 3 em função da percentagem de carga parcial . . . . .	42
3.3.4	Estimativa da potência térmica requerida . . . . .	43
3.3.4.1	Estimativa da potência térmica requerida para a climatiza- ção da empresa através dos circuitos AVAC Norte e Sul . . . . .	44
3.3.4.2	Estimativa da potência térmica requerida pelos permuta- dores de calor do processo produtivo . . . . .	52
3.3.4.3	Estimativa da potência térmica requerida pela climatização do espaço dedicado à pintura . . . . .	53
3.3.4.4	Repartição da potência térmica produzida pelas bombas de calor 2 e 3 . . . . .	54
3.4	Análise do clima onde a fábrica se localiza . . . . .	55
3.4.1	Análise anual das temperaturas exteriores . . . . .	55
3.4.2	Análise sazonal das temperaturas exteriores . . . . .	57
3.4.3	Análise mensal das temperaturas exteriores . . . . .	57
3.5	Estimativa da eficiência da permuta de calor entre fluidos através das bate- rias água-ar . . . . .	58
3.6	Proposta de alteração do regime de funcionamento das bombas de calor . . . . .	62
3.6.1	Análise comparativa entre usar o bombeamento constante e variável . . . . .	63

3.6.2	Estimativa da nova energia elétrica absorvida pelas bombas de circulação com o novo regime de caudal bombeado para as bombas de calor 2 e 3 . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>65</b>
4.1	Potência térmica de aquecimento estimada em função da temperatura exterior	65
4.2	Valores de operação das bombas de calor em função da temperatura exterior no regime atual . . . . .	67
4.3	Avaliação dos possíveis regimes de operação . . . . .	69
4.4	Regimes de operação recomendados para as bombas de calor 2 e 3 . . . . .	70
4.4.1	Bombeamento constante . . . . .	70
4.4.2	Bombeamento variável . . . . .	72
4.5	Análise comparativa: bombeamento constante versus bombeamento variável	74
4.5.1	Análise do regime a operar em bombeamento constante . . . . .	74
4.5.2	Análise do regime a operar em bombeamento variável . . . . .	75
4.5.3	Análise da viabilidade económica . . . . .	75
4.5.3.1	Potência elétrica absorvida estimada em função da temperatura exterior para os diferentes regimes . . . . .	75
4.5.3.2	Energia elétrica absorvida estimada da operação dos diferentes regimes em função da temperatura exterior . . . . .	76
4.5.3.3	Percentagem de poupança energética estimada dos diferentes regimes em função da temperatura exterior . . . . .	77
4.5.3.4	Energia elétrica absorvida estimada dos diferentes regimes de operação no período avaliado . . . . .	78
4.5.4	Opção de operação recomendada e análise final . . . . .	80
4.5.4.1	Estimativa de poupança face a energia elétrica absorvida real	81
4.5.4.2	Estimativa da energia elétrica absorvida pelas bombas de circulação do circuito primário com o novo regime de funcionamento . . . . .	81
4.5.4.3	Opções de operação alternativas . . . . .	82
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>85</b>
5.1	Conclusão . . . . .	85
5.2	Dificuldades sentidas . . . . .	86
5.2.1	Deficiências na monitorização, aquisição e tratamento de dados . . .	86
5.2.2	Limitações no controlo de admissão de ar novo . . . . .	87
5.2.3	Documentação técnica desatualizada . . . . .	87
5.3	Recomendações para melhoria do sistema . . . . .	87
5.3.1	Implementação de medição sistemática de parâmetros críticos . . . .	87
5.3.2	Inspeções periódicas de calibração . . . . .	87
5.3.3	Atualização do sistema GTC . . . . .	88
5.3.4	Atualização da documentação técnica . . . . .	88
5.3.5	Remoção do Permutador <i>PP4</i> . . . . .	88
5.3.6	Recuperação de calor nos chillers através de permutadores dedicados	88
	<b>Referências</b>	<b>90</b>
	<b>Apêndice A - Códigos de programação auxiliares ao procedimento</b>	<b>97</b>
	<b>Apêndice B - Relação entre a temperatura exterior e a potência térmica necessária retirar através dos circuitos AVAC Norte e Sul</b>	<b>105</b>
	<b>Apêndice C - Relação entre a potência elétrica absorvida e a percentagem de carga das bombas de calor para diferentes regimes</b>	<b>107</b>
	<b>Apêndice D - Percentagem de tempo em que os regimes não cumprem a devida climatização necessária por equipamento</b>	<b>109</b>

Apêndice E - Tabelas mensais detalhando o custo e a energia elétrica absorvida	115
Anexo A - Fluxograma do processo produtivo e energia absorvida pela empresa	121
Anexo B - Esquema de princípio da central térmica	123
Anexo C - Distribuição do sistema de água associado à climatização e localização das UTAs/UTANs	125
Anexo D - Documentos técnicos e tabelas de desempenho da bomba de calor	129
Anexo E - Fichas técnicas dos permutadores de calor <i>PP2</i> e <i>PP4</i> e das bombas de circulação que alimentam o condensador das bombas de calor 2 e 3	135
Anexo F - Fichas técnicas das UTAs/UTANs	149

## Lista de Figuras

1.1	Planta das instalações [1]	2
2.1	Representação do ciclo de Carnot [2]	11
2.2	Comportamento de um ciclo real [2]	13
2.3	Típica curva pressão-entalpia de uma bomba de calor [3]	15
2.4	Esquema do funcionamento de uma bomba de calor [4]	15
2.5	Relação entre emissão de calor e caudal numa bateria de aquecimento por água quente [5]	24
3.1	Bomba de calor Trane City RTSF 100 HSE [3]	31
3.2	Representação dos sistemas de produção de água quente no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]	31
3.3	Unidades de arrefecimento de água 1, 2 e 3, do tipo Ar - Água [1]	33
3.4	Unidade de arrefecimento de água 4 [1]	33
3.5	Representação dos chillers no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]	34
3.6	Representação dos coletores de água quente de avanço e retorno (representados como apenas um) no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]	35
3.7	Representação dos coletores de água refrigerada de avanço e retorno no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]	35
3.8	<i>UTA Óptica 1</i> , retirada da GTC [7]	37
3.9	Gama de aplicações da bomba de calor [8]	42
3.10	Intervalo de operação [8]	42
3.11	Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTA sem recuperador de calor [7]	45
3.12	Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTA com recuperador de calor [7]	48
3.13	Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTAN sem recuperador de calor [7]	50
3.14	Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTAN com recuperador de calor [7]	51
3.15	Evolução linear da potência térmica dissipada pelo Permutador <i>PP4</i> , em função de $T_{\text{exterior}}$ [9]	53
3.16	Porcentagem da potência térmica utilizada por circuito [%] [9]	55
4.1	$Q_{\text{média necessária}}$ , $Q_{\text{máxima necessária}}$ e $Q_{\text{mínima necessária}}$ de aquecimento da fábrica em função da temperatura exterior [9]	65
4.2	Porcentagem de carga das bombas de calor face a potência térmica média a produzir para cada grau de temperatura exterior considerado [9]	68
4.3	Potência elétrica absorvida por grau de temperatura exterior para os diferentes regimes [9]	76
4.4	Energia elétrica absorvida dos diferentes regimes por temperatura exterior [9]	77
4.5	Porcentagem de poupança energética elétrica dos diferentes novos regimes por temperatura exterior [9]	78
4.6	Energia elétrica absorvida dos diferentes regimes no período avaliado [9]	79
4.7	Porcentagem de poupança mensal dos diferentes regimes [9]	79

1	$Q$ média necessária, $Q$ máxima necessária e $Q$ mínima necessária retirar da fábrica em função da temperatura exterior [9] . . . . .	105
2	$P$ elétrica absorvida pelas bombas de calor no regime atual [9]. . . . .	107
3	$P$ elétrica absorvida pelas bombas de calor com o novo regime de bombeamento constante [9]. . . . .	107
4	$P$ elétrica absorvida pelas bombas de calor com o novo regime de bombeamento variável [9]. . . . .	108
5	Fluxograma do processo produtivo [1] . . . . .	121
6	Planta da fábrica com indicação da localização dos equipamentos de climatização [1] . . . . .	127

## Lista de Tabelas

2.1	Metas nacionais para 2030 [10]	6
3.1	Características das bombas de calor 2 e 3 de acordo com a ficha de instalação da TRANE [11]	31
3.2	Consumo elétrico e custo de operação das bombas de calor 2 e 3 [12]	32
3.3	Características dos chillers da instalação de acordo com a ficha técnica [1]	34
3.4	Circuitos AVAC e respetivas UTAs/URCs [7]	38
3.5	Possíveis regimes de entrada e saída de temperatura do condensador das bombas de calor 2 e 3 avaliados e considerados para implementação [8]	40
3.6	Propriedades de operação das bombas de circulação <i>BAQ 2.1</i> e <i>BAQ 3.1</i> [13]	41
3.7	Valores da potência elétrica absorvida pelas bombas de calor 2 e 3 [9]	43
3.8	Valores da potência térmica e COP das bombas de calor 2 e 3 [9]	43
3.9	Percentagem de ocorrência de cada grau de temperatura exterior estudado [9][14]	56
3.10	Número de vezes por mês de ocorrência de cada grau de temperatura exterior estudado [9]	58
3.11	Coefficientes de correção da potência calorífica das baterias de água [15]	60
3.12	Coefficientes de correção da permuta de calor para diferentes regimes de água e temperaturas de entrada de ar [9]	60
3.13	Classificações atribuídas a cada equipamento [9]	62
4.1	$Q_{\text{média necessária}}$ de aquecimento da fábrica em função da temperatura exterior [9]	66
4.2	Condições e custos atuais de operação da bomba de calor em função da $T_{\text{exterior}}$ [9]	68
4.3	Percentagem de tempo em que as UTAs/UTANs não estão a cumprir as necessidades de aquecimento [9]	70
4.4	Regime ótimo de operação em função da temperatura exterior - bombeamento constante [9]	71
4.5	Tabela comparativa entre o regime atual e o proposto - bombeamento constante [9]	72
4.6	Regime ótimo de operação em função da temperatura exterior - bombeamento variável [9]	73
4.7	Tabela comparativa entre o atual regime e o proposto - bombeamento variável [9]	74
4.8	Estimativa de poupança face a energia elétrica absorvida real [9]	81
1	$Q_{\text{média necessária}}$ retirar à fábrica em função da temperatura exterior através dos circuitos de distribuição de água refrigerada AVAC Norte e Sul [9]	106
2	Utilização energética da fábrica de janeiro de 2024 a abril de 2025 [12]	122
3	Tabela de desempenho da bomba de calor em diferentes regimes e condições de carga com uma bomba de circulação constante [11].	132
4	Tabela de desempenho da bomba de calor em diferentes regimes e condições de carga com uma bomba de circulação variável [11].	133
5	Características hidráulicas e elétricas das bombas <i>BAQ 2.1</i> e <i>BAQ 3.1</i> para diferentes caudais [13].	147



# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

**AQS** Água Quente Sanitária

**ASHP** Bomba de calor aerotérmica

**AVAC** Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

**CFC** Clorofluorcarboneto

**CNC** Controlo Numérico Computorizado

**COP** Coeficiente de Desempenho

**DGEG** Direção Geral de Energia e Geologia

**EER** Razão da Eficiência Energética para arrefecimento

**GEE** Gases de Efeito de Estufa

**GSHP** Bomba de calor geotérmica

**GTC** Gestão Técnica Centralizada

**GWP** Potencial de Aquecimento Global

**HFC** Hidrofluorcarboneto

**HFO** Hidrofluoro-olefinas

**ICIE** Instalações Consumidoras Intensivas de Energia

**INMG** Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

**IPLV** Integrated Part Load Value

**ISEP** Instituto Superior de Engenharia do Porto

**KPI** Key Performance Indicator

**LNEC** Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**LTWS** Sistema industrial de aquecimento a baixa temperatura

**P.PORTO** Instituto Politécnico do Porto

**PID** Proporcional Integral e Derivativo

**PNEC 2030** Plano Nacional Energia e Clima 2030

**PREn** Plano de Racionalização

**SCOP** Coeficiente de Desempenho Sazonal para aquecimento

**SEER** Razão da Eficiência Energética Sazonal para arrefecimento

**SGCIE** Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

**SPF** Fator de Desempenho Sazonal

**tep** Toneladas equivalentes a petróleo

**UE** União Europeia

**WSHP** Bomba de calor hidrotermal

## Lista de Símbolos

$\dot{m}$  Caudal mássico [kg/s]

$\dot{v}$  Caudal volumétrico [m<sup>3</sup>/s]

$\eta$  Rendimento

$H_m$  Altura manométrica

$H$  Entalpia [J]

$J$  Joule, unidade de energia

$m$  Metro, unidade de comprimento

$P$  Pressão [bar]

$Q$  Potência térmica [kW]

$Wh$  Watt hora, unidade de energia

$W$  Watt, unidade de potência

$\rho$  Densidade [kg/m<sup>3</sup>]

$c_p$  Calor específico [kJ/(kg·K)]

$g$  Constante da gravidade (9,81) [m/s<sup>2</sup>]

$r_c$  Razão entre o caudal novo e o caudal antigo da bomba de circulação

% Percentagem

°C Graus Celsius, unidade de temperatura

€ Euro, unidade monetária

# 1 Introdução

No presente capítulo é apresentado o enquadramento referente ao estágio realizado, explicando o contexto do uso da energia na indústria, com enfoque nos sistemas de climatização afetados também ao processo produtivo e a importância da sua racionalização. Também são enunciados os objetivos da presente dissertação e é feita uma introdução à empresa onde foi realizado o estágio. Finalmente, é apresentada a metodologia utilizada tendo em vista a caracterização e análise da utilização de energia térmica na empresa.

## 1.1 Enquadramento

O presente trabalho insere-se no âmbito da unidade curricular "Dissertação / Projeto / Estágio" do Mestrado em Engenharia Mecânica – Ramo de Energia, realizado no Instituto Superior de Engenharia do Porto.

O consumo energético na indústria é um dos maiores desafios contemporâneos, sendo os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado uma componente significativa deste consumo, com impacto relevante nas emissões de gases com efeito de estufa. Em 2022, a indústria correspondeu a 30,4% da utilização mundial de energia, dos quais apenas 7% provieram de fontes renováveis, destacando-se o elevado contributo do setor para as emissões globais de CO<sub>2</sub> [16].

Assim, a otimização da eficiência energética dos sistemas térmicos, nomeadamente das bombas de calor e das unidades de tratamento de ar, revela-se crucial para a redução da pegada carbónica da indústria e para o alinhamento com as metas nacionais e internacionais de descarbonização. Este contexto impõe a necessidade de soluções inovadoras e fundamentadas para a racionalização do uso energético, enfatizando o papel da monitorização rigorosa na avaliação e melhoria do desempenho dos sistemas.

Esta dissertação tem como foco a análise detalhada dos sistemas de climatização e produção térmica de uma unidade industrial, visando definir estratégias operacionais baseadas na adaptação dinâmica das temperaturas de produção de água quente em função das condições exteriores, contribuindo para a maximização da eficiência energética e para a sustentabilidade ambiental.

Durante o estágio, toda a orientação e supervisão foram asseguradas pelo responsável do setor geral da empresa, José Álvaro Silva Ribeiro.

### 1.1.1 Introdução à empresa em estudo

A empresa onde foi realizado o estágio é a *Leica Portugal – Aparelhos Óticos de Precisão S.A.*, localizada em Lousado, Vila Nova de Famalicão, que integra a unidade industrial do grupo *Leica Camera AG*, dedicada à produção de equipamentos óticos de elevada precisão. Esta fábrica opera em regime contínuo de 24 horas por dia, cinco dias por semana, e é uma das mais relevantes unidades produtivas do grupo a nível mundial [1].

A sua atividade insere-se na *Indústria Transformadora* (CAE 26701 – Fabricação de instrumentos e equipamentos óticos não oftálmicos), abrangendo o fabrico de câmaras fotográficas, objetivas, instrumentos óticos desportivos (como binóculos, miras e telescópios), bem como componentes individuais destinados quer à reposição de stocks, quer ao fornecimento para outras fábricas do grupo [17].

## Introdução

O processo produtivo está estruturado em três grandes secções: ótica, mecânica e montagem. Na secção da ótica, produz-se a ótica plana — exclusiva desta unidade e dedicada ao fabrico de prismas — e a ótica esférica, responsável pela produção de lentes. Na secção mecânica, efetua-se a maquinagem de corpos e componentes metálicos através de tecnologias CNC e processos convencionais, seguida de tratamentos de superfície como anodização, cromagem e pintura. Por fim, na secção de montagem, todos os componentes são integrados, resultando em produtos finais de elevada precisão e qualidade, que valorizam o prestígio internacional da marca [17]. No ANEXO A 5.3.6, apresenta-se um fluxograma do processo de produção da empresa.

Graças ao seu parque industrial de tecnologia avançada e à elevada especialização dos seus recursos humanos, a *Leica* é atualmente uma referência no fabrico de sistemas óticos e mecânicos, contribuindo significativamente para a oferta global de produtos "premium" da área e assegurando a sua posição de destaque no mercado internacional. Na Figura 1.1 está representada a planta das instalações [17].

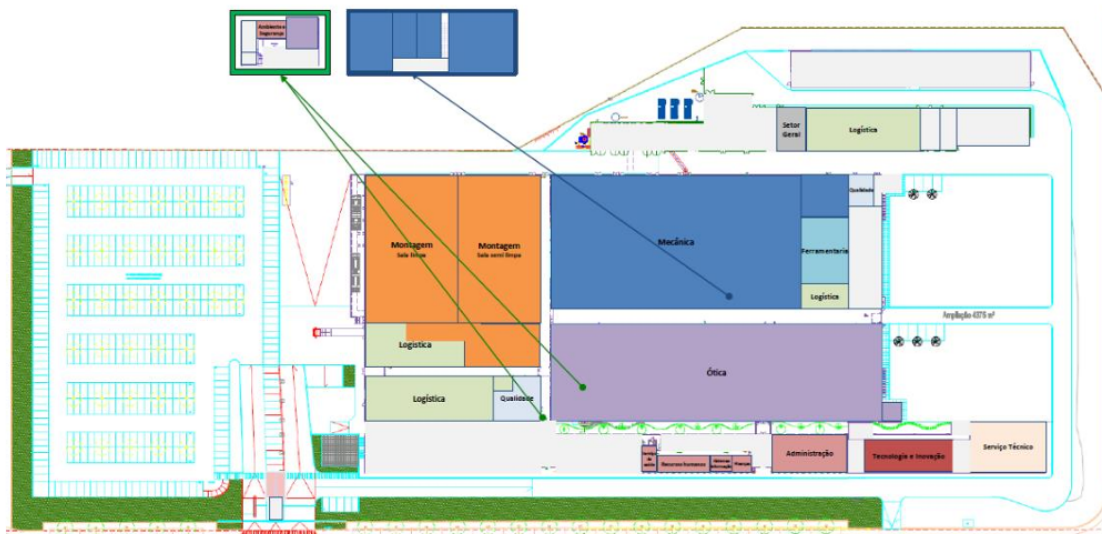


Figura 1.1: Planta das instalações [1]

### 1.1.1.1 Caracterização dos consumos primários de energia da empresa

A utilização energética da empresa é caracterizada pela predominância da energia elétrica adquirida da rede, complementada por um contributo pontual de gás natural, utilizado essencialmente na central térmica e na cozinha industrial.

A energia elétrica utilizada resulta de dois tipos principais de fornecimento: central fotovoltaica instalada na unidade, que em alguns meses assegura uma parte significativa das necessidades, e o fornecimento através da rede pública (E-Redes). Ambos os sistemas são monitorizados mensalmente, refletindo valores médios elevados de consumo, na ordem dos centenas de MWh por mês, o que evidencia o peso relevante deste vetor energético no funcionamento global da fábrica [12].

A fatura elétrica mensal confirma o predomínio da eletricidade como suporte fundamental das operações industriais e dos sistemas de climatização. Observa-se que a proporção de energia elétrica em relação ao consumo global de energia varia entre cerca de 72% e 91%, denotando que, independentemente do período, a eletricidade representa a base da alimentação energética da unidade [12].

No global, esta análise confirma uma dependência crítica da empresa face à energia elétrica adquirida da rede, complementada pelo auto-consumo de origem fotovoltaica, o que reforça a importância de uma gestão eficiente deste recurso, tanto do ponto de vista económico como ambiental. A Tabela 2 apresenta os consumos detalhados de janeiro de 2024 a abril de 2025 e encontra-se no Anexo A 5.3.6 [12].

## 1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação consiste na análise, avaliação e otimização dos sistemas de climatização e produção de energia térmica numa unidade industrial da empresa Leica, localizada em Vila Nova de Famalicão. Pretende-se, de forma sistemática e fundamentada, caracterizar o desempenho energético dos sistemas de aquecimento existentes, identificando oportunidades de melhoria para promover a eficiência energética e o uso racional da energia.

O principal objetivo é determinar a temperatura mais eficiente de produção de água quente pelas bombas de calor integradas no sistema de climatização da fábrica, maximizando e potenciando o rendimento de conversão de energia elétrica em energia térmica.

Com este objetivo, a investigação procura estabelecer uma correlação direta entre a temperatura exterior e a configuração ideal de produção de água quente para a climatização industrial. Ao analisar detalhadamente como as condições climatéricas influenciam as necessidades térmicas do edifício, pretende-se definir um modelo adaptativo que indica qual a temperatura de produção da água quente energeticamente mais vantajosa consoante a potência térmica requerida em tempo real pela fábrica. Assim, otimiza-se a temperatura do ar interior minimizando o consumo energético, promovendo opções de gestão energética objetivas, eficazes e sustentáveis.

De forma detalhada, os objetivos específicos caracterizam-se por:

1. Realizar o levantamento e caracterização técnica dos sistemas de climatização, refrigeração e produção térmica atualmente instalados na fábrica;
2. Efetuar uma análise energética detalhada, quantificando fluxos energéticos, identificando perdas e avaliando o desempenho dos principais equipamentos associados à climatização e circuitos hidráulicos;
3. Identificar e propor medidas de otimização técnica e operacional, visando a redução dos consumos energéticos e do impacto ambiental;
4. Elaborar recomendações para implementação das melhorias, baseadas em critérios de viabilidade, eficiência e sustentabilidade.

A concretização destes objetivos visa contribuir para a competitividade e sustentabilidade da unidade industrial, alinhando a gestão energética com as melhores práticas do setor e os atuais requisitos de descarbonização.

## 1.3 Metodologia utilizada

A metodologia adotada nesta dissertação foi estruturada de modo a garantir uma análise rigorosa, sistemática e completa dos sistemas energéticos da unidade industrial em estudo, alinhando-se com as melhores práticas recomendadas e estudos de eficiência energética no setor industrial. O processo desenvolveu-se segundo as seguintes etapas fundamentais:

1. **Revisão bibliográfica e enquadramento técnico:** Realizou-se um estudo aprofundado da literatura relevante, abrangendo legislação energética, princípios de climatização e produção e distribuição de energia térmica. Esta etapa permitiu fundamentar teoricamente todas as decisões técnicas e metodológicas tomadas ao longo do trabalho.
2. **Caracterização das instalações e recolha de dados:** Procedeu-se ao levantamento exaustivo de todas as características relevantes das instalações de climatização dos espaços industriais, incluindo a identificação dos principais equipamentos, circuitos hidráulicos, sistemas de controlo e dispositivos terminais. Foram recolhidos dados de consumo energético e operacionais, quer através do sistema de gestão técnica centralizada, quer por outros meios de monitorização local.

3. **Análise das condições ambientais e de operação:** Avaliaram-se as características do ambiente local e as condições de funcionamento das instalações, tendo em conta fatores como o perfil de utilização, cargas térmicas, horários de operação e variabilidade sazonal.
4. **Tratamento e análise dos dados energéticos:** Os dados recolhidos foram analisados e tratados de forma a calcular os consumos energéticos atuais, identificar padrões de utilização, quantificar perdas e avaliar o desempenho dos sistemas de climatização e produção térmica.
5. **Diagnóstico e identificação de oportunidades de melhoria:** Com base na análise efetuada, foram identificadas ineficiências, pontos críticos e oportunidades de otimização técnica e operacional.
6. **Avaliação da viabilidade das medidas propostas:** As potenciais medidas de otimização foram estudadas quanto à sua viabilidade técnica, económica e operacional, considerando o enquadramento regulamentar, o impacto energético e a sustentabilidade das soluções.
7. **Formulação de recomendações e plano de ação:** Foram elaboradas recomendações detalhadas para a implementação das melhorias identificadas.
8. **Redação e validação da dissertação:** Por fim, toda a informação foi sistematizada e apresentada de forma estruturada no presente documento, garantindo o rigor científico e a clareza expositiva exigidos a uma dissertação de mestrado.

Esta metodologia assegura uma abordagem integrada e multidisciplinar, permitindo não só a caracterização exaustiva do estado atual, mas também a fundamentação sólida das propostas de melhoria, contribuindo para a eficiência energética e a sustentabilidade da instalação industrial analisada.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica fundamental que abrange as principais políticas de descarbonização na indústria, aspetos técnicos e normativos da climatização e refrigeração, com foco em sistemas AVAC, fluidos frigorigéneos e o ciclo de refrigeração de Carnot, bem como a produção térmica industrial por bombas de calor. Inclui-se ainda o controlo e dimensionamento de sistemas hidráulicos, circuitos de distribuição de água e bombeamento composto, proporcionando a base teórica essencial para a análise e desenvolvimento das soluções técnicas da dissertação.

### 2.1 Políticas para descarbonizar a indústria

Esta secção apresenta as principais medidas para descarbonizar a indústria, com foco nas políticas e estratégias aplicadas na União Europeia e em Portugal. Inclui ainda a abordagem específica para a descarbonização da climatização industrial, a implementação do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) e os seus indicadores de desempenho energético.

#### 2.1.1 Na União Europeia

Ao longo dos últimos anos, a UE tem vindo a intensificar a sua luta contra o aquecimento global, implementando diversas medidas que impactam principalmente o setor energético, um dos maiores emissores de gases com efeito de estufa (GEE) a nível mundial, conforme referido no 1.1.

A maioria das legislações atuais em prol do clima resultam do **Pacto Ecológico Europeu (*Green Deal*)**, criado em 2019, que estabelece o objetivo de atingir a neutralidade climática nos países da UE até 2050. Este pacto tem como base o *Acordo de Paris*, cuja meta é limitar o aumento da temperatura global a no máximo 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Entre os seus sub-objetivos inclui-se a aplicação de uma economia circular, indústria limpa e a adoção generalizada de fontes renováveis de energia, sustentáveis e eficientes [18].

Em 2008, a UE definiu metas progressivas para redução das emissões de GEE, começando por uma redução mínima de 20% até 2020, comparando com os valores de 1990 — objetivo que foi superado, com uma redução efetiva de 30%. Para 2030, o pacote legislativo “*Objetivo 55*” estabelece a meta de redução das emissões em pelo menos 55%, com o compromisso de alcançar emissões líquidas nulas até 2050. Em 2024, a Comissão Europeia apresentou uma proposta para antecipar este objetivo para 2040, aumentando assim a ambição climática do continente [19].

Paralelamente, em 2025 foi apresentado o **Pacto da Indústria Limpa (*Clean industrial Deal*)**, que inclui cerca de 45 novas iniciativas destinadas a acelerar a descarbonização da indústria europeia, promovendo a economia circular, o avanço tecnológico e a competitividade no mercado geral. Este plano prevê a criação de mercados-piloto para produtos descarbonizados, mecanismos para facilitar investimentos e a simplificação dos processos de licenciamento de infraestruturas limpas [19]. Ainda em 2025, está prevista a publicação do **ato legislativo sobre o "acelerador da descarbonização industrial"**, que visa apoiar de forma rápida e eficaz as indústrias com elevados consumos energéticos na implementação de tecnologias limpas. Esta medida pretende reduzir burocracias e canalizar investimentos para soluções sustentáveis, ao mesmo tempo que assegura a competitividade da indústria europeia face à concorrência global. Atualmente, a Europa é o continente que mais medidas toma para abrandar ou diminuir o aquecimento global [19].

## 2.1.2 Em Portugal

Portugal tem implementado diversas medidas alinhadas com as diretrizes da UE. O principal instrumento nacional é o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) para o horizonte entre 2021-2030, que abrange cinco dimensões fundamentais: descarbonização, eficiência energética, segurança do abastecimento, mercado interno da energia e investigação, inovação e competitividade. A Tabela 2.1 sintetiza as metas nacionais para 2030 [10].

Tabela 2.1: Metas nacionais para 2030 [10]

METAS NACIONAIS	EMISSIONES (sem LULUCF, em relação a 2005)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (redução em energia primária e meta de consumo)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (Meta de consumo de energia final) <sup>9</sup>	RENOVÁVEIS (no consumo final bruto de energia)	RENOVÁVEIS NOS TRANSPORTES	INTERLIGAÇÕES ELÉTRICAS
PNEC 2030	-45% a -55%	35%	-	47%	20%	15%
Revisão	-55%	16 711 ktep <sup>10</sup>	14 371 ktep	51%	29%	15%

Para apoiar o cumprimento destes objetivos, Portugal estabelece auditorias energéticas obrigatórias para as Instalações Consumidoras Intensivas de Energia (ICIE), através do SGCIE, sendo as avaliações conduzidas pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). As ICIE correspondem às entidades que registaram um consumo energético igual ou superior a 500 tep no ano civil anterior [20]. Após a realização das auditorias presenciais, é elaborado um Plano de Racionalização (PREn), que define as metas e medidas indispensáveis para os três anos seguintes, focando a melhoria da eficiência energética. O progresso é monitorizado pela DGEG através da análise do Relatório de Execução e Progresso, que deve ser submetido de 2 em 2 anos pela entidade fiscalizada. As metas do PREn incluem a redução da intensidade energética e do consumo específico de energia, com valores entre 4% a 6%, além da manutenção ou diminuição da intensidade carbónica [21].

### 2.1.2.1 Descarbonizar a climatização de indústrias consumidoras intensivas de energia

O setor industrial, especialmente as empresas com ICIE, é responsável por cerca de 30% das emissões globais de gases com efeito de estufa e por uma parcela equivalente do consumo energético mundial [22]. Grande parte destas emissões origina-se da produção de matérias-primas básicas, processos esses que incluem extensas necessidades energéticas para sistemas de climatização, essenciais para garantir condições operacionais seguras e a qualidade dos produtos. No contexto da descarbonização industrial, as medidas aplicáveis à climatização assumem um papel central, pautando-se por diversas estratégias que refletem as opções discutidas para as empresas de CIE em geral. Entre estas destacam-se [22]:

- A eletrificação dos sistemas de climatização industrial, com a substituição de equipamentos que funcionam a combustíveis fósseis por bombas de calor industriais alimentadas preferencialmente por fontes renováveis. Esta abordagem é considerada prioritária.
- A modernização dos sistemas AVAC com unidades de alta eficiência, recuperação de calor e controlo inteligente, que possibilitam uma redução significativa do consumo energético e das emissões associadas.
- A implementação de uma gestão energética rigorosa, através da automação, sensorização e softwares de controlo (GTC) que ajustam o funcionamento dos sistemas à carga térmica real, otimizando o consumo e minimizando picos energéticos.

- A integração de sistemas de recuperação e reutilização de calor residual para aproveitamento no pré-aquecimento ou arrefecimento do ar e da água nos sistemas AVAC, contribuindo para o aumento da eficiência global.
- A transição para a utilização de fluidos frigorigéneos de baixo GWP, aliada a práticas rigorosas de manutenção e reparação que previnem fugas e emissões indiretas.
- O investimento em tecnologias inovadoras, como compressores magnéticos, bombas de calor de velocidade variável, sistemas de monitorização remota e integração com fontes renováveis, que aumentam a eficiência e reduzam o impacto ambiental.

### 2.1.2.2 Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

O Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) é o principal instrumento português para a promoção da eficiência energética em instalações com elevados consumos de energia, nomeadamente em ambientes industriais. Instituído pelo Decreto-Lei n.º 71/2008 e subseqüentemente alterado em 2013 e 2015, o SGCIE substitui o antigo Regulamento de Gestão do Consumo de Energia e aplica-se a instalações consumidoras intensivas de energia (CIE). [20].

Como explicado em 2.1.2, o SGCIE visa a melhoria contínua da eficiência energética, através da realização periódica de auditorias energéticas, que avaliam as condições de utilização de energia, incentivando a implementação de medidas para redução do consumo e a utilização de fontes renováveis.

**Indicadores de desempenho energético** - O SGCIE utiliza vários indicadores (KPI) para medir a performance energética das instalações, destacando-se [21]:

- **Intensidade energética:** Consumo de energia final (em tep ou kWh) por unidade de valor acrescentado bruto (VAB) ou por unidade de produção, permitindo comparar a eficiência económica.
- **Consumo específico de energia:** Energia consumida por quantidade produzida ou por unidade funcional, incluindo desagregações por produto ou processo.
- **Intensidade carbónica:** Emissões de  $CO_2$  equivalente por unidade energética consumida ou por unidade produtiva.
- **Consumo mensal específico:** Análise detalhada mensal do consumo energético correlacionado com a produção, permitindo entender sazonalidade, escalabilidade e desvios operacionais.
- **Monitorização setorial do consumo energético:** Identificação do consumo energético por setores, equipamentos e processos dentro da instalação para realizar medidas específicas.
- **Avaliação do grau de implementação das medidas:** Percentual de implementação das medidas propostas no PReN e da sua efetividade.

Após mais de 15 anos em funcionamento, o SGCIE constitui um dos principais contributos da política energética portuguesa para a redução dos consumos energéticos de grandes entidades industriais, tendo permitido a redução acumulada de cerca de 20% no consumo de energia primária nos setores abrangidos, com impactos diretos na redução das emissões de gases com efeito de estufa e nos custos operacionais das empresas. O sistema tem também sido fundamental para preparar o setor industrial para desafios futuros, como a descarbonização acelerada e a economia circular, ao fomentar a implementação de tecnologias eficientes, a inovação e a monitorização contínua dos consumos [20].

## 2.2 Produção de energia térmica na indústria

Esta secção aborda o ciclo de refrigeração de Carnot, detalhando o seu funcionamento, desempenho, evolução e características dos ciclos reais, além dos meios de transferência de carga utilizados em sistemas de refrigeração. Também é mencionado equipamentos de produção de energia térmica como as bombas de calor.

### 2.2.1 Fluidos frigorigêneos

Os fluidos frigorigêneos são substâncias fundamentais nos ciclos de refrigeração sendo responsáveis pela transferência de energia térmica entre ambientes, através das mudanças de estado físico (evaporação e condensação) em sistemas fechados. A escolha do fluido frigorigêneo ideal é sempre um compromisso entre desempenho termodinâmico, segurança, compatibilidade, impacto ambiental e viabilidade económica. Não existe um fluido frigorigêneo ideal para todas as aplicações, sendo fundamental avaliar as necessidades específicas do sistema, as regulamentações em vigor e as tendências do setor, que atualmente privilegiam soluções de baixo potencial de aquecimento global e elevada eficiência energética [23]. Fluidos frigorigêneos com temperaturas críticas elevadas apresentam pontos de fusão e ebulição superiores, sendo mais adequados para aplicações de alta temperatura de evaporação, como bombas de calor. A relação entre o calor latente de vaporização e a temperatura crítica é quase linear: fluidos frigorigêneos com temperatura crítica próxima da temperatura ambiente tornam-se ineficazes em ciclos normais, devido ao baixo rendimento e às elevadas pressões de condensação. Por outro lado, fluidos frigorigêneos com elevada temperatura crítica são preferidos em aplicações de alta temperatura de evaporação [2].

#### 2.2.1.1 Aplicações

Os fluidos frigorigêneos são aplicados em sistemas de ar condicionado residencial, comercial e industrial, em unidades de arrefecimento de água de média e alta pressão, em sistemas de refrigeração de supermercados, transporte frigorífico, processos industriais, bombas de calor e até em sistemas de arrefecimento automóvel [23].

#### 2.2.1.2 Condições e critérios de seleção

A seleção de um fluido frigorigêneo adequado é um processo rigoroso, que deve considerar um conjunto alargado de propriedades físicas, químicas, ambientais e económicas. Entre os principais requisitos, destacam-se características termodinâmicas úteis, ou seja, o fluido deve apresentar elevado calor latente de vaporização, pressões de operação moderadas e temperaturas de ebulição e fusão adequadas à aplicação. A estabilidade química é igualmente fundamental, assegurando que o fluido se mantém estável ao longo de todo o ciclo de funcionamento, sem decomposição ou formação de subprodutos indesejáveis. Do ponto de vista da segurança, é importante que o fluido frigorigêneo tenha baixa toxicidade, protegendo ocupantes e operadores no caso de eventuais fugas, além de não ser inflamável, condição que aumenta a segurança e permite a sua utilização em espaços ocupados.

Outro requisito essencial prende-se com a compatibilidade do fluido em relação ao óleo lubrificante e aos materiais constituintes do sistema, evitando reações químicas que originem corrosão ou degradação dos componentes. A facilidade de deteção de fugas é também relevante, pois permite uma manutenção mais eficaz e reduz as perdas de fluido. Em termos ambientais, o fluido deve possuir um reduzido potencial de destruição da camada de ozono e um baixo potencial de aquecimento global, respeitando, assim, as regulamentações internacionais em vigor. Por fim, fatores como a disponibilidade e o custo do fluido devem ser considerados, procurando-se que seja facilmente adquirido no mercado e apresente um custo adequado à aplicação pretendida [2].

Do ponto de vista físico, são recomendadas as seguintes características [2]:

- Temperatura de fusão inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$ , para evitar solidificação em baixas temperaturas.
- Temperatura crítica superior a  $80^{\circ}\text{C}$ , para garantir eficiência em ciclos normais e evitar pressões excessivas.
- Pressão de saturação a  $80^{\circ}\text{C}$  inferior a 50 MPa, para não exigir equipamentos de alta resistência mecânica.
- Relação entre entalpia de vaporização e volume específico superior a 1 kJ/litro, para otimizar o tamanho e eficiência do compressor.

Estas condições eliminam fluidos com temperaturas de fusão e crítica próximas das faixas de operação, fluidos demasiado voláteis e fluidos frigorigêneos que exigem compressores de grandes dimensões.

### 2.2.1.3 Classificações

Os fluidos frigorigêneos podem ser classificados em [2]:

- Hidrocarbonetos halogenados (CFC, HCFC, HFC, HFO).
- Misturas não azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados.
- Misturas azeotrópicas de hidrocarbonetos halogenados.
- Compostos orgânicos (propano, isobutano).
- Compostos inorgânicos (amônia, dióxido de carbono).

A classificação de segurança dos fluidos frigorigêneos é regulada pelas normas ASHRAE 32-94 e EN378-1, que os agrupam em classes consoante a toxicidade (A: baixa, B: alta) e inflamabilidade (1: não inflamável, 2: baixa, 3: alta) [23].

### 2.2.1.4 HFC 134a

O Hidrofluorocarboneto (HFC) 134a, também conhecido como R-134a, é amplamente utilizado como fluido frigorigéneo em múltiplas aplicações industriais, comerciais e residenciais. Este fluido frigorigéneo foi desenvolvido como substituto direto do Clorofluorocarboneto (CFC) 12 (R-12), principalmente devido à sua menor agressividade ambiental, nomeadamente a ausência de impacto sobre a camada de ozono [24].

#### Propriedades físicas e operacionais

O R-134a apresenta um ponto de ebulição de  $-26,1^{\circ}\text{C}$  e um ponto de fusão de  $-103,15^{\circ}\text{C}$ , o que o torna adequado para aplicações de média e alta temperatura de evaporação. Opera a pressões moderadas, tipicamente entre 5 e 10 bar, o que facilita o uso em equipamentos de menor robustez estrutural e reduz custos de construção. A temperatura crítica do R-134a é de  $101,1^{\circ}\text{C}$ . Este fluido frigorigéneo distingue-se pela sua elevada estabilidade térmica e química, baixa toxicidade, não inflamabilidade e excelente compatibilidade com a maioria dos materiais utilizados em sistemas de refrigeração. Contudo, não é miscível com óleos tradicionais, devendo ser sempre utilizado com óleos poliolésteres. Fluidos frigorigêneos como este apresentam pressões mais baixas e são adequados para temperaturas de evaporação entre  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $0^{\circ}\text{C}$  [24].

### **Impacto ambiental**

O R-134a não contém cloro na sua composição, pelo que não contribui para o esgotamento da camada de ozono. No entanto, possui um potencial de aquecimento global significativo, em torno de 1,430, o que apesar de ser inferior ao de outros fluidos frigorigêneos, ainda representa uma preocupação ambiental relevante. Este fluido frigorigêneo é classificado como A1 grupo L1 segundo a ASHRAE, o que significa baixa toxicidade e não inflamabilidade [24]. Na Europa, o R-134a é regulado pelo Regulamento (UE) n.º 517/2014 (F-Gas Regulation), que estabelece restrições à produção, comercialização e utilização de gases fluorados com elevado potencial de aquecimento global [25]. No âmbito técnico, a sua utilização e manipulação são abrangidas pelas normas EN 378 e pela classificação ASHRAE 34, que define critérios de segurança e compatibilidade [25].

#### **2.2.1.5 HFO R1234ze**

O HFO R1234ze pertence à nova geração de fluidos frigorigêneos hidrofluorolefinas (Hidrofluorolefinas (HFO)), desenvolvidos como alternativa sustentável aos HFC, nomeadamente ao R134a, atendendo às crescentes exigências ambientais e regulamentares no setor da refrigeração e climatização. Pode ser utilizado puro ou em mistura com outros HFC ou fluidos naturais, sendo especialmente recomendado para sistemas de média pressão, onde se privilegia eficiência energética e baixo impacto ambiental. Em aplicações como unidades de arrefecimento de água e sistemas AVAC para edifícios de serviços, o R1234ze pode proporcionar desempenhos até 12% superiores ao R134a em condições específicas. Em compressores centrífugos sem óleo, destaca-se pela elevada eficiência, devido a menores perdas viscosas. Contudo, a sua menor capacidade volumétrica face ao R134a implica, frequentemente, a necessidade de compressores de maior porte ou adaptações ao sistema para assegurar a mesma potência frigorífica [26]. O R1234ze está abrangido pelo Regulamento (UE) n.º 517/2014 sobre gases fluorados, que favorece a adoção de fluidos com baixo potencial de aquecimento global, estando a sua utilização e segurança reguladas pelas normas EN 378 e pela classificação ASHRAE [25].

#### **Propriedades físicas e operacionais**

Este fluido possui ponto de ebulição de cerca de  $-19^{\circ}\text{C}$ , temperatura crítica de  $109,4^{\circ}\text{C}$  e opera a pressões ligeiramente inferiores às do R134a. Apresenta densidade líquida e viscosidade igualmente mais baixas, o que tende a reduzir as perdas de carga nas tubagens e componentes do sistema [26]. Segundo a ASHRAE 34, é classificado como A2L, indicando baixa toxicidade e baixa inflamabilidade. Embora levemente inflamável, o risco é consideravelmente menor que o dos hidrocarbonetos puros e diminui em ambientes com elevada humidade relativa [27]. O R1234ze distingue-se pelo impacto ambiental extremamente baixo: tem potencial de aquecimento global inferior a 1, não contribui para a destruição da camada de ozono e possui vida atmosférica muito curta (cerca de 18 dias, contra 13 anos do R134a), sem formação de subprodutos ambientais persistentes [26]. A sua implementação permite uma redução direta superior a 99% das emissões de  $\text{CO}_2$  associadas aos fluidos frigorigêneos, em consonância com as diretivas europeias e metas de descarbonização do setor [25].

#### **Desempenho e eficiência**

O R1234ze apresenta desempenho termodinâmico muito semelhante ao do R134a, podendo alcançar rendimentos superiores em sistemas otimizados para as suas características. No entanto, a menor capacidade volumétrica exige, muitas vezes, compressores de maior dimensão ou velocidades de rotação inferiores para atingir iguais níveis de refrigeração. Em instalações existentes, a substituição direta nem sempre é viável sem adaptações, nomeadamente ao nível do compressor e do condensador, devido às diferenças de pressão e capacidade [26].

## 2.2.2 Ciclo de refrigeração de Carnot

O ciclo de refrigeração de Carnot representa o modelo termodinâmico ideal para qualquer sistema de refrigeração, estabelecendo o limite teórico máximo de eficiência que pode ser atingido por uma máquina térmica ou frigorífica a operar entre duas fontes de temperatura distinta. Este ciclo, desenvolvido por *Sadi Carnot* no início do século XIX, foi inicialmente concebido para o estudo das máquinas térmicas, mas a sua inversão permite descrever o funcionamento ideal de um refrigerador ou bomba de calor, sendo ainda hoje a referência fundamental para a avaliação do desempenho de ciclos reais [2].

### 2.2.2.1 Funcionamento e descrição do ciclo

O ciclo de Carnot de refrigeração é constituído por quatro processos termodinâmicos reversíveis, representados na Figura 2.1, alternando entre transformações isotérmicas e adiabáticas (isentrópicas) [2]:

1. **Compressão adiabática e reversível (1-2):** O fluido frigorígeno é comprimido sem troca de calor com o exterior, aumentando a sua pressão e temperatura enquanto a entropia se mantém constante.
2. **Rejeição de calor isotérmica (2-3):** O fluido cede calor a uma fonte quente (condensador) a temperatura constante, passando de vapor para líquido saturado.
3. **Expansão adiabática e reversível (3-4):** O fluido frigorígeno expande-se num motor térmico (ou, na prática, numa válvula de expansão), diminuindo a sua pressão e temperatura sem troca de calor, mantendo a entropia constante.
4. **Absorção de calor isotérmica (4-1):** O fluido absorve calor de uma fonte fria (evaporador) a temperatura constante, evaporando-se e retornando ao estado inicial.

No ciclo real com um fluido frigorígeno, os processos isotérmicos são frequentemente obtidos através de mudanças de fase, como a evaporação e a condensação do fluido de trabalho a pressão constante. A compressão e a expansão ideais, sem atrito nem irreversibilidades, são impossíveis de reproduzir na prática, mas são aproximadas em sistemas reais através de compressores e dispositivos de expansão [2].

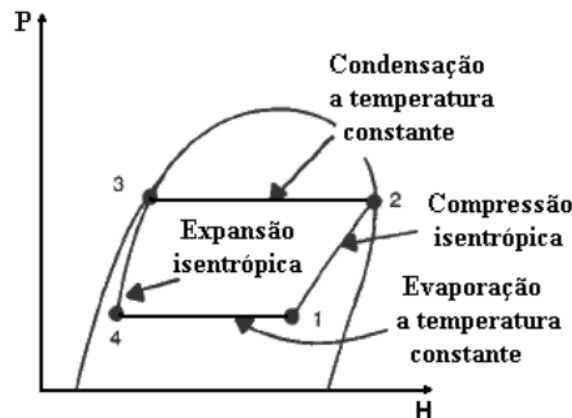


Figura 2.1: Representação do ciclo de Carnot [2]

### 2.2.2.2 Aplicação e limitações

Apesar de o ciclo de Carnot ser um modelo teórico, a sua análise é fundamental para o dimensionamento e otimização de sistemas de refrigeração reais. Serve como referência para avaliar o desempenho de ciclos práticos, como o ciclo de compressão de vapor, e para identificar as principais fontes de irreversibilidade e perdas de eficiência. O ciclo de Carnot também permite estimar as temperaturas ótimas de operação e dimensionar os permutadores de calor (evaporador e condensador) de modo a minimizar as diferenças de temperatura entre o fluido de trabalho e as fontes. Na prática, o ciclo de refrigeração de Carnot não é implementado devido a limitações técnicas e económicas. A compressão de misturas bifásicas (líquido e vapor) denominada de "compressão húmida" é inviável em compressores convencionais dado que pode dar origem a alguns problemas, entre os principais, a diluição do óleo de lubrificação, reduzindo a sua eficiência, a erosão das válvulas e a dificuldade de controlar os caudais de líquido e vapor de modo que o estado da mistura seja o 1, para que chegue ao 2 como vapor saturado. Outro problema é porque o trabalho recuperado na expansão adiabática é demasiado baixo para justificar a utilização de turbinas. Por este motivo, os sistemas reais utilizam ciclos derivados, como o ciclo de compressão de vapor, em que a expansão é realizada de forma irreversível numa válvula de expansão e a compressão ocorre apenas sobre vapor, evitando danos mecânicos [2].

### 2.2.2.3 Desempenho e eficiência energética

O desempenho energético do ciclo de refrigeração de Carnot é medido pelo seu Coeficiente de Desempenho (COP), definido como a razão entre o calor removido da fonte fria e o trabalho realizado pelo compressor. O COP é dado pela Equação 2.1, onde  $T_{\text{fria}}$  e  $T_{\text{quente}}$  são as temperaturas absolutas (em Kelvin) das fontes fria, e quente, respetivamente.

Para maximizar o desempenho energético dos ciclos de refrigeração, é crucial atuar sobre vários aspetos fundamentais [2]. Em primeiro lugar, a redução das diferenças de temperatura entre as fontes quente e fria é determinante, já que uma menor diferença entre a temperatura de evaporação ( $T_1$ ) e a de condensação ( $T_2$ ) aumenta o COP, pois reduz o trabalho necessário para o ciclo. Isso implica a necessidade de otimizar os permutadores de calor, aumentando a área de troca térmica e promovendo a transferência eficiente de calor, de modo a operar com as menores diferenças de temperatura possíveis. A eficiência dos compressores constitui outro fator crítico, compressores com elevada eficiência isentrópica reduzem as perdas mecânicas e térmicas durante a compressão, aproximando o ciclo real do ideal. Técnicas como o uso de compressores de velocidade variável permitem ajustar o funcionamento à carga real, reduzindo o consumo de energia e aumentando a eficiência global [2].

A minimização das perdas por atrito e das quedas de pressão em tubagens, válvulas e permutadores é igualmente essencial, já que reduzir as perdas de carga diminui o esforço requerido do compressor e, conseqüentemente, o consumo energético do sistema. É também fundamental o controlo rigoroso do estado do fluido frigorigéneo, assegurando que entra no compressor sob a forma de vapor super-aquecido, dado que uma gestão inadequada pode permitir a entrada de líquido, originando avarias e redução do desempenho. A seleção de fluidos frigorigéneos com propriedades termodinâmicas otimizadas — como temperaturas crítica e de fusão adequadas, elevado calor latente de vaporização e baixa viscosidade — contribui para ciclos mais eficientes, permitindo alcançar COPs superiores e reduzir o impacto ambiental [2].

Em ciclos mais avançados, pode-se recorrer à implementação de sistemas de recuperação de energia, como a utilização de turbinas de expansão para recuperar parte do trabalho perdido na expansão do fluido, aumentando a eficiência global do sistema. Finalmente, a manutenção e limpeza regulares dos permutadores de calor são indispensáveis, dado que a acumulação de sujidade reduz a transferência térmica, aumenta as perdas de carga e conduz a um maior consumo energético, comprometendo o desempenho do ciclo.

Em síntese, a melhoria do desempenho dos ciclos de refrigeração resulta da otimização dos seus componentes, da seleção criteriosa do fluido frigorígeno, do controlo rigoroso das condições operacionais e da manutenção preventiva. Estes fatores permitem aproximar o funcionamento dos sistemas reais ao ciclo ideal de Carnot.

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_{\text{quente}}}{T_{\text{quente}} - T_{\text{fria}}} = \frac{T_{\text{cond}}}{T_{\text{cond}} - T_{\text{evap}}} \quad (2.1)$$

onde  $T_{\text{cond}}$  é a temperatura absoluta (em Kelvin) de condensação do fluido frigorígeno e  $T_{\text{evap}}$  é a temperatura absoluta de evaporação do fluido frigorígeno.

#### 2.2.2.4 Características dos ciclos reais

O efeito frigorífico real é determinado pela diferença de entalpia entre a entrada e a saída do evaporador, e o caudal mássico do fluido frigorígeno depende das propriedades termodinâmicas do fluido selecionado. A evolução dos sistemas de refrigeração tem sido marcada pela aproximação progressiva ao desempenho teórico do ciclo de Carnot, através do desenvolvimento de compressores mais eficientes, permutadores de calor de elevada área de permuta e seleção criteriosa dos fluidos frigorígenos [2].

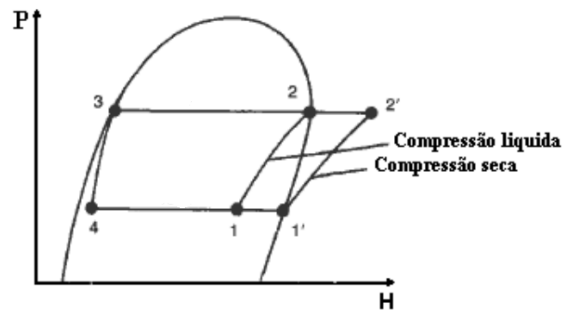


Figura 2.2: Comportamento de um ciclo real [2]

#### 2.2.2.5 Meios de transferência de carga de refrigeração

Os meios de transferência de carga de refrigeração em sistemas térmicos baseiam-se fundamentalmente na transferência de calor entre um fluido quente e um fluido frio. O desempenho destes sistemas é determinado pelo coeficiente global de transferência de calor, designado por  $U$ , que representa a soma das 3 resistências térmicas no percurso do calor desde o fluido quente até ao frio [2].

Destas três resistências térmicas, a dominante é a do lado do fluido a arrefecer, que representa cerca de 94% da resistência total ao fluxo de calor, enquanto a resistência do lado do fluido frigorígeno é normalmente muito baixa. Mesmo que o coeficiente de transferência calorífica deste lado seja duplicado, a melhoria no coeficiente global  $U$  será marginal, cerca de 3%. Por esta razão, a otimização do desempenho do permutador deve focar-se prioritariamente no lado do fluido a arrefecer [2].

### 2.2.3 Bomba de calor

As bombas de calor desempenham um papel fundamental na transição energética, ao permitirem a produção de aquecimento, arrefecimento e água quente ou refrigerada de forma eficiente e sem emissões diretas de  $\text{CO}_2$ , desde que sejam alimentadas por fontes de energia renovável. A sua utilização abrange o setor residencial e terciário, como habitações, hospitais e edifícios de escritórios, estendendo-se cada vez mais ao setor industrial, onde a sua relevância é crescente.

As indústrias com grande intensidade de consumo energético representam cerca de 25% da energia final consumida na União Europeia, sendo que mais de 60% desta energia é destinada à geração de calor. Neste contexto, as bombas de calor industriais surgem como uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável, ao aproveitarem fontes renováveis de calor presentes no ar, na água, no solo, nos esgotos, no ar de exaustão ou no calor residual proveniente dos próprios processos industriais. Atualmente, já existem bombas de calor capazes de fornecer calor a temperaturas até 180 – 200 °C, substituindo gradualmente sistemas convencionais baseados em combustão em várias aplicações industriais. Estudos indicam que, se implementadas em larga escala, estas tecnologias poderiam satisfazer até 39% das necessidades de calor nos processos industriais. Considerando que o setor térmico é responsável por 51% da procura energética final na Europa e por cerca de 27% das respetivas emissões de dióxido de carbono, a descarbonização dos sistemas de aquecimento e arrefecimento é indispensável para o cumprimento das metas climáticas definidas a nível europeu [28].

### 2.2.3.1 Tipos de bombas de calor segundo a fonte térmica

As bombas de calor classificam-se, em grande parte, com base na fonte de energia térmica utilizada para realizar o ciclo de transferência de calor. A escolha da fonte influencia diretamente a eficiência, a complexidade da instalação e o custo do sistema. Os três principais tipos são:

#### **Bomba de calor aerotérmica (ASHP)**

As ASHP extraem energia térmica do ar exterior ou do ar proveniente de sistemas de ventilação. Esta energia é utilizada para fins de aquecimento ambiente, arrefecimento e produção de água quente sanitária (AQS). Podem ser instaladas completamente no exterior, no interior ou em configuração *split*, onde a unidade exterior está separada da unidade interior. Apesar de o ar ser um meio menos eficiente para transporte de calor comparativamente à água ou ao solo, a bomba de calor aerotérmica destaca-se pela sua simplicidade de instalação, custos iniciais reduzidos e ampla aplicabilidade em edifícios residenciais/comerciais. Contudo, o seu desempenho tende a degradar-se significativamente com temperaturas exteriores muito baixas. [29]

#### **Bomba de calor hidrotermal (WSHP)**

As WSHP utilizam a energia térmica armazenada em massas de água, como águas subterrâneas, rios, lagos, águas do mar ou águas residuais. Através de permutadores de calor submersos ou sistemas de captação, a bomba retira calor da água, disponibilizando-o para aquecimento, arrefecimento e Água Quente Sanitária (AQS). Este tipo de bomba de calor apresenta elevadas eficiências sazonais, uma vez que a temperatura da água é mais estável ao longo do ano e a sua capacidade de transporte de calor (capacidade térmica) é superior à do ar. No entanto, a sua instalação está condicionada à disponibilidade geográfica de recursos hídricos e pode exigir licenciamento ambiental adicional [29].

#### **Bomba de calor geotérmica (GSHP)**

As bombas de calor geotérmicas aproveitam o calor armazenado no subsolo. A captação térmica pode ser feita através de coletores horizontais, enterrados a baixa profundidade, ou sondagens verticais, que atingem dezenas a centenas de metros de profundidade. O sistema capta energia do solo, cuja temperatura se mantém relativamente constante ao longo do ano, garantindo um desempenho estável e eficiente. Estes equipamentos são particularmente indicados para edifícios com elevada procura térmica ou onde se pretende uma eficiência energética superior. Apesar de implicarem um investimento inicial elevado e trabalhos de perfuração, os custos operacionais são reduzidos e o retorno a longo prazo pode ser vantajoso [29].

### 2.2.3.2 Normas e regulamentação

A instalação e operação das bombas de calor são reguladas por normas europeias, nomeadamente a EN14511 e EN14825, bem como pela diretiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), que asseguram a conformidade técnica, eficiência energética e impacto ambiental reduzido [30].

### 2.2.3.3 Componentes e princípio de operação

Tipicamente, uma bomba de calor é constituída por dois permutadores de calor (evaporador e condensador), um compressor, uma válvula de expansão eletrónica e a tubagem que conecta estes componentes, circulando um fluido frigorígeno. O circuito inclui ainda filtros, acumuladores, sensores de temperatura e pressão, entre outros dispositivos auxiliares que garantem o funcionamento seguro e eficiente do sistema [3].

O funcionamento da bomba de calor fundamenta-se no **ciclo de Carnot invertido**, representado no diagrama pressão-entalpia da Figura 2.3 [3]. Este ciclo compreende quatro etapas principais: evaporação, compressão, condensação e expansão. No evaporador, o fluido frigorígeno líquido é distribuído de forma controlada pelos canais do permutador, absorvendo calor do fluido a aquecer e vaporizando-se progressivamente. Assim, o fluido sai do evaporador em estado de vapor ligeiramente super-aquecido (**Estado 1**). O vapor conduz-se até a sucção do compressor, passando antes por uma zona de arrefecimento interno que arrefece o motor elétrico do compressor. No compressor, o fluido é comprimido até à pressão de descarga (**Estado 2**), durante a qual é injetado lubrificante para reduzir atritos e assegurar a estanquidade interna. Posteriormente, o fluido e o óleo são separados num separador de óleo, e o fluido, agora em vapor de alta pressão e isento de óleo, segue para o condensador (**Estado 3**).

No condensador, o fluido frigorígeno liberta calor para o fluido térmico do lado oposto, ocorrendo a condensação e saída em líquido sub-arrefecido, com temperatura inferior à saturação correspondente à pressão (**Estado 4**). Este líquido passa pela válvula de expansão eletrónica, sofrendo uma queda abrupta de pressão e vaporização parcial, resultando numa mistura bifásica que retorna ao evaporador (**Estado 5**), fechando o ciclo [3]. É importante referir que, dependendo do modo de operação, as bombas de calor podem inverter o ciclo para focar-se no arrefecimento do fluido em vez do aquecimento. A Figura 2.4 apresenta um esquema simplificado do funcionamento da bomba de calor [4].

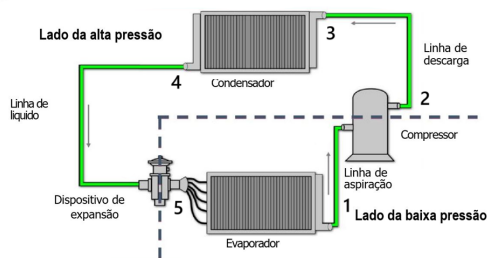
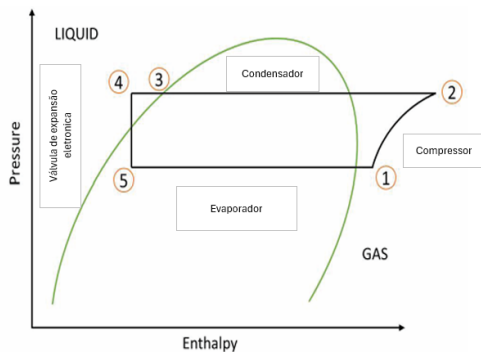


Figura 2.3: Típica curva pressão-entalpia de uma bomba de calor [3]      Figura 2.4: Esquema do funcionamento de uma bomba de calor [4]

### 2.2.3.4 Eficiência

A eficiência de uma bomba de calor é frequentemente avaliada através do COP, um parâmetro que expressa a razão entre a energia térmica útil fornecida (aquecimento ou arrefecimento) e a energia elétrica consumida pelo sistema. Matematicamente, é obtido pela equação 2.2. As bombas de calor necessitam de eletricidade para funcionar, sendo esta energia utilizada para acionar o compressor e permitir o processo. Em condições normais, a potência elétrica consumida representa entre 20 % a 50 % da energia térmica útil fornecida, o que equivale a um Coeficiente de Desempenho (COP) típico entre 2 e 3,5. Em condições climáticas favoráveis, é possível atingir COP superiores, podendo chegar a valores próximos de 6 [31].

$Q_{\text{útil}}$  representa a energia térmica transferida ao/removida do fluido a aquecer/arrefecer e  $W_{\text{elétrica}}$  corresponde à energia elétrica consumida pelo compressor e restantes componentes auxiliares. Este parâmetro fornece uma medida instantânea da eficiência da bomba de calor em condições específicas de funcionamento, como a temperatura exterior e a carga térmica. Contudo, como estas condições variam significativamente ao longo do ano, especialmente em sistemas para climatização, torna-se necessário utilizar indicadores que reflitam o desempenho médio e realista do sistema ao longo de uma estação ou ano completo.

Para esse fim, introduz-se o conceito de **eficiência sazonal**, representado por parâmetros como o Coeficiente de Desempenho Sazonal para aquecimento (SCOP) e a Razão da Eficiência Energética Sazonal para arrefecimento (SEER). Ambos são definidos por normas como a EN 14825 e calculados com base em perfis de carga e temperaturas exteriores típicas de zonas climáticas específicas, proporcionando uma avaliação padronizada e comparável da eficiência durante as épocas de aquecimento ou arrefecimento, respetivamente.

O SCOP pode ser calculado matematicamente como a razão entre a energia térmica total fornecida ao longo da estação de aquecimento ( $Q_{\text{total}}$ ) e o total da energia elétrica consumida no mesmo período ( $W_{\text{total}}$ ). Esta razão está representada na Equação 2.3.

$$COP = \frac{Q_{\text{útil}}}{W_{\text{elétrica}}} \quad (2.2)$$

$$SCOP = \frac{Q_{\text{total}}}{W_{\text{total}}} = \frac{\int_{t_0}^{t_0+\Delta t} Q(t) dt}{\int_{t_0}^{t_0+\Delta t} W(t) dt} \quad (2.3)$$

Outro indicador relevante é o Fator de Desempenho Sazonal (SPF), que tem uma definição análoga ao SCOP, mas cujo cálculo se foca em sistemas reais instalados, ao contrário do SCOP, que resulta de ensaios laboratoriais normalizados. O SPF é calculado a partir de medições reais ao longo do tempo e pode incluir consumos auxiliares do sistema global, como bombas hidráulicas, ventiladores ou sistemas de controlo. Assim, o SPF reflete de forma mais abrangente o desempenho energético de uma instalação específica em contexto operacional real.

Deste modo, enquanto o COP fornece uma indicação pontual da eficiência em condições estáticas, os indicadores sazonais permitem uma análise mais robusta e representativa da performance da bomba de calor ao longo do tempo, sendo fundamentais para o seu dimensionamento, comparação e seleção em projetos [30].

A quantidade de energia térmica transferida instantaneamente por uma bomba de calor pode ser determinada pela Equação 2.4, e a energia térmica total transferida ao longo de um intervalo de tempo  $\Delta t$  pode ser obtida integrando  $Q(t)$  no tempo, como na Equação 2.5 [32].

$$Q(t) = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) [\text{W}] \quad (2.4)$$

$$Q = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} Q(t) dt [\text{W}] \quad (2.5)$$

Onde  $Q(t)$  representa a potência térmica instantânea;  $\dot{m}$  é o caudal mássico do fluido, expressa em kg/s;  $c_p$  corresponde à capacidade calorífica específica do fluido a pressão constante, quantificando a energia necessária para elevar a temperatura de uma unidade de massa do fluido em um grau, com unidades em J/(kg·K); e  $T_{\text{out}}$  e  $T_{\text{in}}$  são, respetivamente, as temperaturas de saída e entrada do fluido, expressas em kelvin [K] ou graus Celsius [°C].

A potência elétrica total consumida no mesmo intervalo de tempo é dada pela Equação 2.6. Com estas duas grandezas, pode-se calcular o **Fator de Desempenho** ( $PF$ ) médio no intervalo  $\Delta t$  pela equação 2.7. Este parâmetro tem a mesma forma do COP e, em condições ideais e estacionárias, pode coincidir com ele. Contudo, o  $PF$  refere-se, geralmente, a um valor médio ao longo do tempo (potencialmente sazonal), podendo incluir variações dinâmicas de carga, consumos auxiliares e paragens [32].

$$W = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} W(t) dt [\text{W}] \quad (2.6)$$

$$PF = \frac{Q}{W} \quad (2.7)$$

A eficiência interna de uma bomba de calor pode ser definida como a razão entre o seu COP real e o COP teórico (ideal), determinado a partir da termodinâmica do ciclo de Carnot, Equação 2.8, sendo o COP teórico (para aquecimento) dado pela Equação 2.1 [32].

$$\eta_{\text{interna}} = \frac{COP_{\text{real}}}{COP_{\text{teórico}}} \quad (2.8)$$

### 2.2.3.5 Novas tecnologias

O setor das bombas de calor tem evoluído rapidamente, incorporando avanços em materiais, controlo inteligente e integração com fontes renováveis. Destacam-se as seguintes inovações [5]:

- **Bombas de calor híbridas:** Combinam a bomba de calor com caldeiras a gás ou outros sistemas, otimizando o consumo energético conforme as condições exteriores.
- **Bombas de calor de alta temperatura:** Permitem operar com temperaturas de fornecimento superiores a 70°C, ampliando a sua aplicação em sistemas de aquecimento existentes e processos industriais.
- **Bombas de calor com fluidos frigorigéneos naturais:** Utilizam fluidos como o CO<sub>2</sub> (R744) e propano (R290), que apresentam baixo impacto ambiental e elevada eficiência. Estes sistemas requerem cuidados específicos devido à alta pressão (CO<sub>2</sub>) ou inflamabilidade (propano).
- **Integração com energias renováveis e controlo inteligente:** Sistemas de gestão avançada e integração com produção fotovoltaica ou solar térmica aumentam a eficiência global e a flexibilidade operacional.
- **Bombas de calor magneto-calóricas:** Utilizam o efeito magneto-calórico, que consiste na variação de temperatura que certos materiais magneto-calóricos sofrem quando expostos a um campo magnético variável. Ao aplicar e remover um campo magnético, estes materiais aquecem e arrefecem, permitindo a transferência de energia térmica sem necessidade de fluidos frigorigéneos tradicionais.

### 2.2.3.6 Tecnologias alternativas

**Caldeira** - As caldeiras industriais são equipamentos usados para produzir vapor ou água quente, empregues em aquecimento de edifícios, processos industriais e geração de energia térmica. Funcionam pela queima de combustíveis ou energia elétrica, transferindo calor para um fluido térmico, geralmente água. Classificam-se em flamotubulares, indicadas para baixa e média pressão, e aquatubulares, adequadas para alta pressão e grandes volumes, além de versões como caldeiras de condensação, biomassa e recuperação de calor.

O rendimento depende do combustível, qualidade da combustão e recuperação de calor, com rendimentos até 94% em modelos modernos a gás natural. Os combustíveis comuns são gás natural, GPL, fuelóleo e biomassa. Em Portugal, regulam-se pela norma EN 15502-1 e pelos Regulamentos (UE) 813/2013 e 811/2013, com inspeção e manutenção certificadas. Apesar da robustez, têm impacto ambiental e eficiência inferior às bombas de calor, cada vez mais utilizadas [33].

**Coletor solar industrial** - Os coletores solares industriais são soluções sustentáveis e eficientes para produção de calor em processos industriais de baixa e média temperatura (até aproximadamente 250°C), contribuindo para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de CO<sub>2</sub>. Dividem-se em coletores planos, adequados até cerca de 100°C, e coletores de concentração, para temperaturas mais elevadas. O rendimento varia entre 50% e 80%, conforme a tecnologia e condições de operação.

Estes sistemas captam a radiação solar para aquecer um fluido térmico, que transfere o calor para o processo através de permutadores. Em Portugal, a instalação segue a norma EN ISO 9806 e o Decreto-Lei n.º 118/2013. Embora importantes para a descarbonização industrial, são frequentemente usados como complemento a outras soluções, como bombas de calor, em instalações térmicas de maior porte [34].

**Recuperação de calor industrial** - A recuperação de calor industrial visa reutilizar energia térmica residual de processos produtivos, aumentando a eficiência energética e reduzindo custos operacionais. Os sistemas comuns compreendem permutadores de calor, caldeiras de recuperação e economizadores, que permitem aproveitar o calor para pré-aquecimento de fluidos, produção de vapor ou aquecimento de água.

O rendimento destes sistemas varia entre 60% e 90% em permutadores dimensionados corretamente, com prazos de retorno do investimento frequentemente inferiores a dois anos. A escolha tecnológica depende da temperatura do fluxo residual e do uso final da energia recuperada. A recuperação de calor integra-se como solução complementar para otimizar a eficiência dos sistemas térmicos industriais, podendo trabalhar em conjunto com bombas de calor para maximizar o aproveitamento energético [35].

### 2.2.3.7 Arrefecimento

No contexto da transição energética e da necessidade de redução de emissões, as unidades de arrefecimento de água destacam-se como uma solução eficiente de controlo térmico em instalações industriais e AVAC. Chiller ou unidade de arrefecimento de água é a designação comercial dada às **bombas de calor** dedicadas apenas à produção de água refrigerada, recorrendo essencialmente ao ciclo termodinâmico de compressão de vapor. Estes equipamentos transferem o calor de um fluido de processo para outro meio, otimizando o desempenho energético dos sistemas e garantindo fiabilidade acrescida [5].

**Normas e regulamentação** - A seleção e operação destes equipamentos encontra-se definida pela EN 14511 (requisitos de ensaio) e EN 14825 (cálculo da eficiência sazonal), estando igualmente sujeita à Diretiva Europeia 2009/125/CE relativa ao eco-design [30].

**Princípio de funcionamento** - A unidade de arrefecimento de água baseia-se num ciclo de compressão de vapor, composto por compressor, separador de óleo, condensador, reservatório de líquido, filtro secador, válvula de expansão eletrónica e evaporador. De maneira simplificada, durante o funcionamento, o fluido frigorigéneo absorve calor do fluido a arrefecer no evaporador e rejeita-o no condensador, promovendo o arrefecimento cíclico do fluido de processo [36].

**Eficiência** - A eficiência das unidades de arrefecimento de água é avaliada principalmente pelo índice EER e SEER, estabelecido na EN 14825, que pondera o desempenho em condições reais e diferentes cargas parciais ao longo da estação de arrefecimento. O EER representa a eficiência instantânea, enquanto o *Integrated Part Load Value (IPLV)* reflete a eficiência média ponderada ao longo do tempo e das cargas parciais típicas [30].

**Novas tecnologias** - A evolução das unidades de arrefecimento de água tem integrado soluções tecnológicas como compressores de velocidade variável, compressores magnéticos, condensadores micro-canal, sistemas multi propósito (produção simultânea de água quente e refrigerada), monitorização remota e controlo inteligente, bem como o uso de fluidos frigorigéneos de baixo Potencial de Aquecimento Global (GWP), respondendo a critérios de sustentabilidade e eficiência crescentes [5].

**Tecnologias alternativas** - Consoante as necessidades do projeto, podem ainda ser considerados sistemas de arrefecimento direto (*free cooling*), sistemas de absorção que recorrem a energia térmica residual, permutadores de calor ar-água ou água-água para temperaturas não críticas, e bombas de calor reversíveis que permitem aquecimento e arrefecimento conforme a necessidade. A opção entre unidades de arrefecimento de água e sistemas alternativos deve basear-se numa análise criteriosa do perfil de carga, disponibilidade de recursos, eficiência energética, sustentabilidade e custos do ciclo de vida da instalação [5].

## 2.3 Distribuição de energia térmica

Esta secção aborda os métodos de controlo da capacidade térmica em sistemas hidráulicos, incluindo tipos de controlo, válvulas de controlo e o seu dimensionamento, bem como válvulas de balanceamento. São também discutidos os diferentes circuitos hidráulicos, sistemas de bombeamento composto e tecnologias de aquecimento industrial a baixa temperatura, fornecendo uma visão integrada para otimização e eficiência energética na distribuição de água industrial.

### 2.3.1 Implementação de bombeamento variável

Antes de considerar a adoção da configuração de caudal variável numa bomba de calor, é essencial analisar a sua viabilidade técnica face ao funcionamento da bomba de calor que tenha sido dimensionada para operar com caudais constantes, especialmente porque esta alteração afeta profundamente o circuito hidráulico central do sistema.

#### 2.3.1.1 Bombas de circulação com caudal fixo

Um sistema equipado com bombas de caudal fixo garante que a bomba de calor opere sempre nas condições hidráulicas para as quais foi dimensionada e testada. Esta abordagem oferece fiabilidade e previsibilidade operacional: a regulação da potência térmica faz-se exclusivamente através do controlo do compressor ou pela alternância no número de compressores em funcionamento (no caso de ter mais que um), mantendo o caudal de água constante. O principal benefício é a segurança e a robustez face a falhas operacionais, embora exista uma desvantagem significativa do ponto de vista energético — as bombas mantêm elevado consumo elétrico independentemente da carga térmica real, conducentes a desperdício de energia em muitos períodos do ano [2].

### 2.3.1.2 Implicações técnicas da implementação de bombas de circulação de caudal variável

A passagem para caudal variável nas bombas do evaporador e do condensador, introduz desafios técnicos consideráveis [5]:

- O  $\Delta T$  do permutador deixa de ser fixo e pode aumentar, levando frequentemente a valores superiores, afetando as temperaturas de trabalho do ciclo.
- O compressor trabalhará com temperaturas de entrada e saída diferentes das projetadas, modificando pressões de condensação/evaporação e podendo alterar o COP de forma imprevisível.
- Existe risco acrescido de congelamento no evaporador (se o caudal descer demasiado) ou de sobreaquecimento/alta pressão no condensador. Estes riscos podem provocar bloqueios automáticos do sistema ou danos severos nos permutadores.
- O controlo do sistema torna-se necessariamente mais complexo, requerendo sensores adicionais ( $\Delta P$ ,  $\Delta T$ , caudalímetros) e um algoritmo de controlo robusto para garantir que todos os parâmetros críticos permanecem dentro dos limites operacionais prescritos pelo fabricante.

### 2.3.1.3 Impacto na eficiência global

O maior interesse da implementação do caudal variável reside na possibilidade de obter significativas poupanças elétricas nas bombas, uma vez que, segundo a lei cúbica, a potência absorvida por uma bomba varia aproximadamente com o cubo da velocidade do motor. Ou seja, uma pequena redução de caudal implica uma grande redução de consumo elétrico. No entanto, o impacto no COP global da bomba de calor é duplo: pode ser benéfico se resultar em temperaturas médias mais favoráveis ao funcionamento do compressor, mas pode também ser negativo se o funcionamento se afastar da janela ótima de projeto. A literatura indica que o balanço global tende a ser positivo apenas se houver um rigoroso controlo de todo o sistema [5].

### 2.3.1.4 Impacto na fiabilidade operacional

A fiabilidade é uma preocupação central. Cada permutador interno exige um caudal mínimo para transferir eficientemente o calor. Uma falha de controlo pode provocar paragens intempestivas do equipamento, bloqueios de segurança e até danos permanentes. Para garantir a fiabilidade mínima, além dos sensores referidos, é geralmente necessário consultar o fabricante da bomba de calor para validação do regime variável nas condições específicas do projeto [5].

### 2.3.1.5 Comparação prática: fixo vs variável

- **Caudal fixo:** garante máxima robustez e fiabilidade, dispensando grandes complexidades de controlo, mas implica consumo elétrico mais elevado nas bombas sempre em funcionamento.
- **Caudal variável:** permite poupanças diretas consideráveis no consumo das bombas e possibilidade de otimização do COP em parte do tempo, exigindo porém um sistema de controlo mais sofisticado, validado pelo fabricante, e envolve riscos adicionais operacionais, além de eventual aumento dos custos de manutenção devido à complexidade acrescida.

A conversão para regime de caudal variável é tecnicamente viável, mas **não é trivial**: exige engenharia cuidada, reforço dos sistemas de controlo, validação integral do fabricante e investimento acrescido em sensores e automação. Só deve ser equacionada se a poupança estimada justificar claramente o aumento de complexidade, risco operativo e custos de manutenção [5].

## 2.3.2 Bombeamento composto

O bombeamento composto, ou sistema primário/secundário, é amplamente utilizado em sistemas AVAC de média e grande escala para otimizar o funcionamento hidráulico. Consiste em separar o circuito em dois subsistemas independentes: o primário, ligado à fonte de calor ou frio (unidades de arrefecimento de água, caldeiras, bombas de calor), e o secundário, ligado às cargas térmicas. Esses circuitos são ligados por uma tubagem chamada ponte neutra ou linha de dissociação, que os desacopla hidráulicamente, permitindo uma operação independente.

A ponte neutra deve ser curta e de diâmetro grande — geralmente igual à maior tubagem do primário e com comprimento cerca de dez vezes esse diâmetro — para minimizar perdas e evitar interferências entre as bombas [5].

O equilíbrio de caudais depende das válvulas de controlo nas cargas. Se o caudal do primário corresponder à soma dos caudais do secundário, não há fluxo na ponte neutra, eliminando recirculações indesejadas e mantendo a temperatura constante na entrada das cargas. Caso contrário, podem ocorrer recirculações na ponte neutra que reduzem o diferencial térmico e a eficiência do sistema [5].

Apesar da evolução das bombas de caudal variável, o bombeamento composto mantém-se vantajoso em grandes instalações. Entre as suas principais vantagens destacam-se a segmentação hidráulica, que assegura o controlo independente dos circuitos primário e secundário, possibilitando a estabilidade do circuito primário e o ajuste dinâmico do caudal no circuito secundário, em função das válvulas de controlo das cargas. O desacoplamento hidráulico é efetuado através da ponte neutra, que previne sobre-pressões no sistema e facilita as operações de diagnóstico e manutenção localizada. Além disso, a configuração proporciona flexibilidade térmica, ao permitir que cada circuito opere com temperaturas diferentes, ajustando a capacidade das cargas térmicas sem interferir no funcionamento ou dimensionamento do gerador [5].

## 2.3.3 Controlo da capacidade térmica em sistemas hidráulicos

O controlo da capacidade térmica em sistemas hidráulicos é realizado, essencialmente, através da regulação do caudal de água ou da diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) que atravessa os permutadores de calor, como é o caso das baterias das unidades de tratamento de ar (UTAs). Existem duas abordagens fundamentais para esta regulação: o controlo do tipo “on/off” e o controlo modulante (ou de capacidade variável) [5].

### 2.3.3.1 Controlo on/off

Esta abordagem é mais comum em instalações de menor escala, onde o edifício pode ser considerado uma única zona térmica. Neste modelo, o gerador de energia térmica é ativado ou desativado com base na leitura de um termóstato ambiente, podendo também recorrer-se a um aquaestato para manter a temperatura de ida ou de retorno da água dentro de determinados limites. Nestes casos, a bomba hidráulica pode funcionar em simultâneo com o gerador térmico ou permanecer em funcionamento contínuo [5].

### 2.3.3.2 Controlo modulante

Em sistemas com múltiplas unidades terminais e requisitos térmicos distintos, o controlo da capacidade térmica torna-se mais sofisticado. A regulação da carga térmica deve iniciar-se ao nível dos dispositivos terminais, recorrendo a **válvulas de controlo**, sendo o gerador térmico ajustado em função da capacidade exigida por essas cargas. Assim, as válvulas de controlo assumem um papel central na gestão do fluxo de água através dos permutadores de calor. Existem dois tipos principais de válvulas de controlo: as de **duas vias** e as de **três vias** (de mistura ou de desvio). Ambas permitem regular a quantidade de água que atravessa a carga térmica, modelando o caudal conforme a variação da carga, sem necessidade de instalar bombas individuais em cada unidade terminal [5].

### 2.3.3.3 Válvulas de controlo

A **válvula de duas vias** regula diretamente o caudal que atravessa a carga. À medida que o atuador fecha a válvula, o caudal diminui de forma contínua, modulando a energia térmica fornecida. Por outro lado, a **válvula de três vias de mistura** possui uma porta comum e duas entradas, permitindo que, conforme a posição do atuador, parte do caudal seja desviada para um bypass, não passando pela carga. Já a **válvula de três vias de desvio** reparte o caudal entre o circuito da carga e o bypass, conforme o atuador se posiciona, sendo esta uma solução mais complexa. Apesar do efeito prático ser semelhante, a resposta hidráulica do sistema diverge[5].

A diferença fundamental entre estes tipos reside no impacto sobre o sistema de distribuição e o gerador térmico. As válvulas de duas vias tornam a carga um ponto de caudal variável, alterando o caudal no sistema conforme a posição da válvula, enquanto o diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) se mantém relativamente constante. Em contrapartida, as válvulas de três vias mantêm o caudal constante, mas provocam variação no  $\Delta T$ . Este princípio é essencial para o correto dimensionamento dos sistemas de controlo e para assegurar a operação eficiente de bombas, unidades de arrefecimento de água e outros equipamentos [5].

A característica de abertura das válvulas também é determinante. Em aplicações proporcionais, a curva ideal é a “**equal percentage**”, na qual pequenas alterações iniciais no curso da válvula resultam em aumentos modestos no caudal; conforme a válvula se abre, o caudal aumenta de forma mais acentuada, garantindo um controlo suave em cargas variáveis. Para os pontos de bypass nas válvulas de três vias, recomenda-se uma curva linear, que permite uma variação previsível e uniforme do caudal desviado em condições parciais [5].

Energeticamente, a escolha entre válvulas de duas ou três vias impacta diretamente a eficiência do sistema. As válvulas de duas vias são geralmente associadas a sistemas de bombagem com velocidade variável, permitindo economias significativas de energia devido à redução do caudal, conforme a lei do cubo da velocidade, que afirma que a potência consumida por um ventilador ou bomba varia proporcionalmente ao cubo da sua velocidade de rotação. Por outro lado, as válvulas de três vias mantêm o caudal constante, resultando num consumo energético praticamente constante, o que pode ser menos eficiente em sistemas de grande porte ou com múltiplas cargas variáveis [5].

As **válvulas tradicionais** dependentes da pressão consistem tipicamente numa válvula de balanceamento manual instalada em série com uma válvula de controlo. Nestes sistemas, o caudal é calculado a partir do diferencial de pressão na válvula de controlo. Esta solução exige ajuste manual, é sensível a variações de pressão e requer manutenção regular para assegurar funcionamento adequado. Em sistemas com cargas variáveis, podem causar desequilíbrios hidráulicos, provocando caudais desajustados nos terminais e perdas de eficiência [37].

Já as **válvulas de controlo independentes da pressão** mantêm o caudal constante mesmo perante variações da pressão diferencial no sistema. Existem versões mecânicas, que combinam uma válvula de controlo com um regulador interno de pressão diferencial, requerendo um intervalo mínimo e máximo de pressão para funcionamento correto. Estas eliminam a necessidade de válvulas de balanceamento, reduzindo custos e manutenção, tornando o sistema menos sensível a alterações hidráulicas e melhorando o conforto térmico. A principal limitação é a necessidade de dispositivos de monitorização de caudal para ajuste. Existem também válvulas eletrónicas independentes da pressão, que integram sensores de caudal, atuadores e controladores, reportando o caudal real ao sistema de gestão técnica central (GTC), dispensando balanço hidráulico manual e permitindo monitorização contínua e deteção de desvios [37].

### 2.3.3.4 Dimensionamento das válvulas de controlo

O dimensionamento correto das válvulas de controlo é fundamental para garantir uma boa eficiência, estabilidade e otimização energética do sistema. O seu comportamento dinâmico depende das características da válvula e da interação com os permutadores térmicos, sistema de bombagem, tipo de controlo (on/off, proporcional, PID, entre outros) e configuração hidráulica (primária, secundária, em série ou paralelo) [5].

Um conceito chave é a autoridade da válvula, que representa a proporção da perda de carga total atribuída à válvula em plena abertura. Valor ideal próximo de 50% promove controlo proporcional linear; valores abaixo de 30% levam a respostas distorcidas e comprometem a regulação térmica [5].

A escolha entre válvulas de duas ou três vias e o tipo de controlo dependem dos objetivos do sistema. O dimensionamento baseia-se no coeficiente de caudal  $C_v$ , que relaciona o caudal com a perda de carga necessária para a transferência térmica. Sistemas com cargas estáticas podem usar controlo proporcional simples, enquanto os com variações rápidas (por exemplo: bombas de velocidade variável, UTAs) requerem controladores PI ou PID, maior autoridade da válvula e sintonização cuidadosa [5].

A introdução de variadores de frequência nas bombas altera a curva do sistema hidráulico, podendo causar instabilidades se a medição da pressão diferencial for pontual. Idealmente, a curva da válvula (normalmente equal-percentage) combinada com a da bateria térmica gera uma resposta global linear em potência térmica, crucial para controlo proporcional eficiente [5].

Em sistemas modernos, variadores de velocidade substituem frequentemente válvulas de controlo ao ajustar diretamente o caudal, reduzindo perdas de carga e assegurando estabilidade térmica com variações típicas de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  a  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Deve-se evitar velocidades abaixo de 30% da nominal para garantir lubrificação adequada. A correta distribuição hidráulica e balanceamento são indispensáveis para evitar desequilíbrios e garantir eficiência, recomendando-se válvulas independentes da pressão nestas instalações [5].

### 2.3.3.5 Válvulas de balanceamento

As válvulas de balanceamento são essenciais em sistemas hidráulicos de AVAC para garantir a distribuição uniforme do fluido térmico entre as zonas do edifício, ajustando o caudal em cada ramal conforme os requisitos de projeto [5].

Existem válvulas estáticas (manuais), que são reguladas durante o comissionamento para fixar a resistência hidráulica, indicadas para cargas estáticas ou pouco variáveis, e válvulas dinâmicas (automáticas), que ajustam o caudal continuamente, mantendo-o constante frente a variações de pressão e operação [5].

Ao contrário das válvulas de controlo, que regulam o caudal conforme a necessidade térmica instantânea, as válvulas de balanceamento asseguram a distribuição constante do caudal de projeto, evitando bombagem excessiva e melhorando a eficiência e conforto térmico em sistemas com múltiplas zonas [5].

## 2.3.4 Sistema industrial de aquecimento a baixa temperatura

O Sistema industrial de aquecimento a baixa temperatura (LTWS) é uma solução difundida em edifícios de serviços, ambientes industriais e sistemas AVAC, que distribui energia térmica para aquecimento de forma eficiente, operando tipicamente com temperaturas de água entre  $82^\circ\text{C}$  e  $116^\circ\text{C}$  e diferencial térmico ( $\Delta T$ ) entre  $11^\circ\text{C}$  e  $55^\circ\text{C}$ .

Um  $\Delta T$  elevado reduz o caudal necessário para transportar a mesma energia, o que diminui o diâmetro das tubagens, reduz a energia consumida pela bombagem e baixa os custos operacionais e de instalação, conforme a Equação 2.4 [5]. Em ambientes não residenciais, aumentar a temperatura de fornecimento pode extrair mais capacidade térmica com menor caudal, mas requer equipamentos mais robustos para suportar as condições mais severas.

A aplicação do bombeamento composto permite segmentar hidráulicamente o sistema, desacoplando os circuitos primário (por exemplo, a 115°C) e secundário (por exemplo, fornecimento a 93°C e retorno a 83°C), mantendo  $\Delta T$  alto no primário para reduzir caudais e custos, enquanto garante um  $\Delta T$  convencional nas cargas.

Equipamentos terminais adaptados a menores caudais e maiores  $\Delta T$  (até 37°C) maximizam o aproveitamento energético e reduzem o consumo de bombagem. Estratégias específicas, como dispor cargas térmicas em série e utilizar válvulas modulantes e bombagem composta, permitem modular fluxos e otimizar a distribuição energética. Por exemplo, baterias ar-água com válvulas de duas vias modulantes demonstram comportamento não linear da resposta térmica em função do caudal, o que pode ser contornado utilizando válvulas “equal percentage”, que melhoram a estabilidade e precisão do controlo, especialmente com bombas secundárias dedicadas [5].

Na Figura 2.5 está demonstrada a relação entre a emissão de calor e o respetivo caudal numa bateria de aquecimento por água quente.

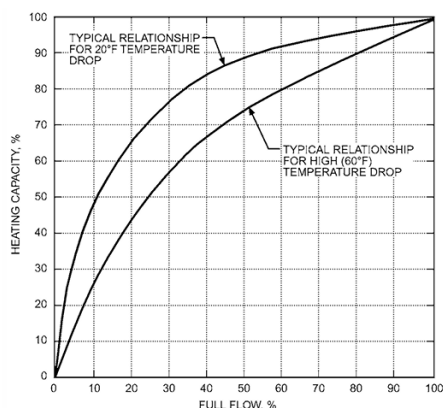


Figura 2.5: Relação entre emissão de calor e caudal numa bateria de aquecimento por água quente [5]

## 2.4 Climatização

Esta secção aborda os princípios da climatização, mais especificamente no rendimento das baterias água-ar e o efeito das condições operacionais no desempenho das mesmas. Uma bateria é um permutador de calor do tipo feixe tubular alhetado, constituído por tubos atravessados por aletas que ampliam a superfície de troca térmica. É também abordada a eficiência para transferir calor das baterias e a integração destes conceitos em sistemas Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) centralizados ar-água.

### 2.4.1 Tratamento térmico de ar através de baterias a água

#### 2.4.1.1 Aquecimento

Sistemas com água quente são amplamente utilizados devido à simplicidade de instalação e baixo custo inicial. Permitem regulação modulante através de válvulas de duas ou três vias, adaptando-se dinamicamente às necessidades térmicas. As baterias são construídas com tubos de cobre e aletas de alumínio, otimizando a transferência de calor. Em sistemas de alta temperatura é essencial garantir a instalação de materiais robustos (como o aço inoxidável) e circuitos auto-ventilantes para evitar a acumulação de ar ou corrosão. Caudais mais elevados oferecem ganhos marginais de capacidade com penalizações energéticas significativas [5].

### 2.4.1.2 Arrefecimento

O arrefecimento de ar em sistemas AVAC é tradicionalmente realizado através de baterias de água refrigerada. O controlo do caudal é feito por válvulas modulantes, respondendo dinamicamente às variações da carga térmica na unidade. Este processo exige o uso de materiais resistentes à corrosão, como aço inoxidável, devido à formação de condensados, sendo indispensável uma rede de drenagem adequada [5].

A distribuição do ar sobre a superfície da bateria tem impacto direto na eficiência do sistema, pelo que é preferível a configuração "*draw-through*", na qual o ventilador se encontra após a bateria, garantindo um fluxo laminar [2].

Em baterias de água refrigerada, quando a temperatura superficial da bateria está abaixo do ponto de orvalho do ar, para além do arrefecimento verifica-se também a desumidificação, com condensação de vapor de água. O desempenho deste processo depende da área de permuta térmica, geometria das aletas e controlo da temperatura do fluido na bateria. O calor proveniente da água condensada é geralmente desprezado devido ao seu impacto térmico ser negligenciável [2].

Velocidades de ar demasiado elevadas reduzem o tempo de contacto e a eficiência da desumidificação, enquanto caudais excessivamente baixos prejudicam o rendimento global do sistema. Desta forma, a operação adequada das baterias de água refrigerada permite não só retirar calor sensível do ar, mas também promover a remoção de humidade, contribuindo para o controlo rigoroso das condições de conforto térmico e higrométrico nos ambientes industriais [5].

### 2.4.1.3 Efeito das condições operacionais sobre o desempenho da bateria

O desempenho de uma bateria de arrefecimento ou aquecimento em sistemas AVAC depende de vários parâmetros construtivos e operacionais, que definem a eficiência da transferência de calor e a capacidade de alterar a temperatura e humidade do ar processado [2].

A área da face, correspondente à secção de passagem do ar, é dos fatores mais relevantes: um aumento da área incrementa a superfície de transferência térmica, permitindo maior remoção de calor e redução simultânea da temperatura e humidade do ar à saída, o que melhora a refrigeração e a eficiência do processo de desumidificação. A temperatura da parede exposta ao fluido frigorígeno também tende a diminuir, aumentando o gradiente de transferência térmica [2].

O número de fileiras de tubos em profundidade prolonga o percurso do ar e multiplica a área de contacto, potenciando ainda mais a redução da temperatura e da humidade do ar à saída. Contudo, o número de fileiras deve ser balanceado face ao diferencial de pressão admissível e à temperatura do fluido frigorígeno, já que um excesso conduz a perdas de carga elevadas e distribuição não uniforme do fluido [2].

O espaçamento das aletas influencia diretamente a área disponível para troca térmica. Espaçamentos mais reduzidos potenciam a transferência de calor, diminuindo a temperatura de superfície e a temperatura/humidade do ar à saída, mas aumentam as perdas de carga, dificultam a circulação do ar e promovem o depósito de partículas, exigindo manutenção frequente [2].

O caudal de ar determina o tempo de contacto e, por consequência, a eficácia da transferência térmica: caudais mais elevados diminuem essa eficácia, elevando a temperatura e a humidade do ar à saída; caudais mais baixos aumentam a eficácia, mas limitam o débito térmico total [2].

A temperatura do fluido frigorígeno é outro fator essencial, fluidos mais frios proporcionam temperaturas de superfície inferiores, facilitando a desumidificação e promovendo mais condensação. O gradiente térmico entre ar e fluido define a capacidade de remoção de calor e humidade.

O comportamento térmico pode estruturar-se em duas fases: uma inicial de troca sensível (arrefecimento sem condensação), seguida por uma fase de transferência latente com condensação do vapor de água [2].

A otimização conjunta destes parâmetros é crucial para garantir máxima eficiência energética, conforto térmico e higrométrico dos espaços, bem como durabilidade e fiabilidade dos sistemas AVAC [2].

### 2.4.2 Regime de temperaturas de funcionamento

A transferência de calor em permutadores do tipo bateria água-ar, como os utilizados nas unidades de tratamento de ar (UTAs), é classicamente descrita pela Equação 2.9 onde  $U$  é o coeficiente global de transferência térmica,  $A$  é a área efetiva onde ocorre a troca térmica e  $\Delta T_{\log}$  a diferença média logarítmica de temperatura. A  $\Delta T_{\log}$  representa a média ponderada das diferenças de temperatura entre os fluidos interno e externo ao longo da bateria, levando em conta a variação não linear dessas temperaturas ao longo do caminho do fluido. Fisicamente, esta expressão reconhece que, durante o processo, as temperaturas de ambas as correntes variam continuamente em sentidos opostos, de modo que a força motriz para a permuta térmica precisa de refletir esta variação espacial. Assim, esta é calculada através da Equação 2.10 onde  $\Delta T_1$  e  $\Delta T_2$  correspondem às diferenças de temperatura entre os fluidos nos extremos do permutador [2].

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\log} \quad [\text{W}] \quad (2.9)$$

$$\Delta T_{\log} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{(T_{\text{entrada } 1} - T_{\text{saída } 2}) - (T_{\text{saída } 1} - T_{\text{entrada } 2})}{\ln\left(\frac{T_{\text{entrada } 1} - T_{\text{saída } 2}}{T_{\text{saída } 1} - T_{\text{entrada } 2}}\right)} \quad [^{\circ}\text{C}]. \quad (2.10)$$

O impacto da  $\Delta T_{\log}$  no desempenho térmico das baterias é relevante, dado que uma redução significativa deste por causa, por exemplo, do aumento da temperatura do ar na saída (provocada pela água quente), conduz a uma diminuição da taxa de transferência de calor para uma dada área e coeficiente global. Em termos práticos, o desempenho térmico da bateria está fortemente condicionado pelo perfil de temperatura desenvolvido pelo fluido durante a sua passagem. Alterações nas condições operacionais, como variações no caudal ou na temperatura da água, modificam os perfis térmicos e, conseqüentemente, influenciam o  $\Delta T_{\log}$ . Por exemplo, um aumento da temperatura de retorno da água implica uma redução da diferença de temperatura na zona final da bateria, diminuindo a média logarítmica e, por conseguinte, o calor transferido, mesmo sem alteração do tamanho da bateria ou do coeficiente de transferência. Por isso, a eficiência e o rendimento da bateria dependem diretamente da manutenção de um diferencial térmico adequado, fator esse a considerar no projeto e na operação [2].

### 2.4.3 Sistemas AVAC centralizados Ar-Água

Estes sistemas utilizam ar e água como fluidos para o transporte de energia térmica. A água é aquecida ou arrefecida e distribuída por tubagens para elementos terminais. A maior parte da carga térmica é satisfeita pela água, em sistemas de dois, três ou quatro tubos, o que permite aquecimento e arrefecimento simultâneos em diferentes zonas. A água refrigerada é produzida geralmente por unidades de arrefecimento de água, enquanto que a água quente pode ser fornecida por caldeiras ou bombas de calor.

Em edifícios amplos, as unidades terminais podem ficar fora do espaço climatizado, distribuindo ar tratado por difusores. O controlo individual de temperatura é possível em cada zona, sendo o controlo da humidade específico viável em sistemas de quatro tubos com baterias independentes [38].

As vantagens incluem a elevada capacidade térmica da água, que reduz o volume das tubagens comparado com condutas de ar, economizando espaço. O caudal de ar primário dimensionado apenas para ventilação elimina o sistema de retorno, otimizando a eficiência energética. O controlo zonal independente e a possibilidade de operar somente o circuito de água em espaços desocupados reduz o consumo [38].

Entre as dificuldades estão a complexidade na mudança entre aquecimento e arrefecimento, a exigência de controle rigoroso de temperatura e humidade, e a necessidade de manutenção frequente das unidades terminais [38].

Estes sistemas são indicados para edifícios com grandes áreas de fachada, cargas térmicas elevadas e múltiplas zonas com necessidades distintas, permitindo aquecimento e arrefecimento simultâneos. O desempenho depende do caudal volumétrico e pressão da bomba, com controle do caudal nas baterias feito por válvulas de três vias (pressão constante) ou duas vias (restrição conforme pressão) [38].

## 2.5 Metrologia como estratégia de controlo e gestão

A metrologia, ciência da medição, desempenha um papel crucial como ferramenta estratégica para o controlo e gestão eficaz dos processos industriais. Medir é fundamental para conhecer, monitorizar e controlar as variáveis que influenciam a qualidade, segurança e eficiência dos sistemas. Sem medições rigorosas, não é possível garantir que os processos se mantenham dentro dos parâmetros desejados nem que as decisões tomadas sejam fiáveis [39].

Este controlo é alcançado por meio de medições precisas, repetíveis e rastreáveis, asseguradas pela correta calibração e manutenção dos instrumentos. A metrologia fornece os dados confiáveis que sustentam sistemas de monitorização contínua, deteção precoce de desvios e ações corretivas rápidas — essenciais para a melhoria contínua e sustentabilidade dos processos [39].

A gestão integrada da metrologia permite minimizar perdas, evitar falhas e reduzir custos operacionais, enquanto fortalece a conformidade com normas e regulamentos. Num contexto industrial, isto traduz-se em maior competitividade, segurança e otimização dos recursos.

Portanto, medir para controlar e monitorizar é uma premissa indispensável para o sucesso dos empreendimentos industriais complexos, evidenciando a metrologia como uma das bases para a excelência operacional e a sustentabilidade ambiental [39].



## 3 Métodos e Aplicação

Neste capítulo são apresentados os métodos, pressupostos e procedimentos adotados para a realização da presente dissertação, mais concretamente, a apresentação e análise energética e económica da empresa, caracterizando o sistema existente, os dados climáticos e operacionais recolhidos, bem como os critérios para atribuição dos regimes de funcionamento das bombas de calor por temperatura exterior.

### 3.1 Apresentação do caso de estudo

A presente dissertação tem como caso de estudo a unidade industrial da empresa Leica, localizada em Vila Nova de Famalicão. Este complexo é um dos principais polos produtivos da marca, abrangendo áreas de produção mecânica, ótica e montagem, e integrando infraestruturas avançadas de climatização e produção térmica, essenciais para garantir elevados padrões de qualidade, conforto e eficiência operacional. Dispõe de equipamentos terminais como unidades de tratamento de ar, sistemas de gestão técnica centralizada e um circuito complexo de distribuição de potência térmica, refletindo as exigências de produção da empresa e a sua aposta em inovação e sustentabilidade.

O estudo desenvolvido visa analisar e otimizar os sistemas de climatização e produção térmica desta instalação, abordando de forma sistemática o levantamento e a caracterização técnica dos equipamentos existentes, a avaliação dos consumos energéticos, a identificação de perdas e ineficiências, bem como a análise das condições ambientais e operacionais que influenciam diretamente o desempenho dos sistemas de AVAC. Com a metodologia aplicada procura-se ainda correlacionar variáveis como os regimes de operação das bombas de calor, a temperatura exterior e a carga térmica necessária fornecer à fábrica, com o intuito de propor outros regimes operacionais mais eficientes, capazes de racionalizar o uso de energia elétrica.

De forma mais precisa e clara, este caso de estudo envolveu inicialmente o levantamento rigoroso das instalações e equipamentos ligados às bombas de calor dedicadas à climatização industrial. Seguiu-se a análise da relação entre a potência térmica exigida pelas necessidades da fábrica ligadas e produzidas por estas bombas de calor e a temperatura exterior ao longo do tempo. Por fim, para cada grau dentro de um intervalo de temperaturas exteriores, foi determinado o regime operacional das bombas de calor que permite produzir uma temperatura de água quente suficiente para satisfazer a potência térmica requerida nessas condições climatéricas, assegurando simultaneamente o menor consumo de potência elétrica possível.

Este caso de estudo destaca-se pela complexidade e dimensão da infraestrutura, permitindo a validação da abordagem multidisciplinar e rigorosa adotada na dissertação, com resultados que visam elevar a competitividade, sustentabilidade e desempenho energético da unidade industrial, em conformidade com as melhores práticas e as exigências atuais de descarbonização do setor.

## 3.2 Caracterização dos sistemas de produção, distribuição e utilização da energia térmica na empresa

Nesta secção é realizada a caracterização detalhada dos sistemas de produção e utilização de potência térmica da empresa, com especial foco nas infraestruturas, equipamentos e circuitos relevantes para a climatização da instalação. É aqui que se apresenta o levantamento sistemático das instalações e ativos, servindo como base essencial para a análise técnica e energética desenvolvida ao longo do trabalho, permitindo compreender o estado atual, identificar oportunidades de melhoria e fundamentar as opções metodológicas adotadas para a otimização. No ANEXO B 5.3.6 está representado o esquema de princípio da central térmica, com a disposição das tubagens, máquinas, depósitos, bombas de circulação e outros componentes pertencentes a esta secção, de maneira a facilitar a compreensão da disposição dos equipamentos estudados e referenciados no presente projeto.

### 3.2.1 Sistemas de produção de água quente

A central térmica da fábrica dispõe de um sistema de produção de água quente destinado ao fornecimento de água aquecida para múltiplos circuitos essenciais, nomeadamente três circuitos de AVAC e dois circuitos para processos industriais.

Para esse efeito a instalação dispõe de três bombas de calor idênticas do tipo água-água, representadas na Figura 3.1.

A bomba de calor designada por *City 1* (referida ao longo do documento como bomba de calor 1) destina-se exclusivamente à produção de água quente a uma temperatura aproximada de 78°C, fornecendo água para todo o processo produtivo que requer essa condição térmica. As outras duas bombas de calor, *City 2* e *City 3* (referidas ao longo do documento como bomba de calor 2 e 3, respetivamente), encontram-se dedicadas à climatização do edifício e à produção de água para alimentar máquinas na área do revestimento. Uma destas bombas de calor também pode dar apoio à bomba de calor *City 1* em caso de emergência.

Considerando que o principal objetivo da presente investigação consiste em determinar a temperatura mínima ideal de saída do condensador das bombas de calor, e tendo em conta que a temperatura produzida pela bomba de calor 1 — fixada nos 78°C para o processo produtivo — não pode ser alterada, a análise foi concentrada unicamente nas bombas de calor 2 e 3. Para além das bombas de calor, também existe uma caldeira de água quente a gás natural com configuração retangular horizontal, apenas utilizada em emergências.

Para obter informações detalhadas sobre as condições de operação das bombas de calor 2 e 3, foi solicitado ao fornecedor a respetiva ficha técnica de instalação [11], que se encontra no ANEXO D 5.3.6. Esta configuração em que as bombas de calor funcionam como fonte principal de aquecimento da água utilizada no sistema fabril está funcional desde o final de 2023/início de 2024. A partir da ficha técnica da instalação, foram extraídas diversas informações técnicas relevantes, as quais se encontram organizadas na Tabela 3.1 [11]. Na Figura 3.2 encontra-se a disposição tanto das bombas de calor como da caldeira no esquema de princípio da central térmica, para facilitar a sua localização e compreensão.

As bombas de calor integram o sistema de produção de água quente, que funciona por circulação direta da água entre o coletor de retorno e o coletor de avanço da instalação, por meio de um sistema de bombeamento composto - circuito primário constante e circuito secundário variável. O circuito primário de cada bomba de calor opera com bombas de caudal constante que transferem a água aquecida para o coletor de avanço, comum a todos os circuitos, por meio de tubagem de distribuição. A distribuição final da água quente aos diferentes cinco circuitos de consumo é realizada através de um conjunto de bombas de circulação com caudal variável, responsáveis por garantir o débito necessário em cada zona, não possuindo sistemas de registo de caudal de água em cada circuito.



Figura 3.1: Bomba de calor Trane City RTSF 100 HSE [3]

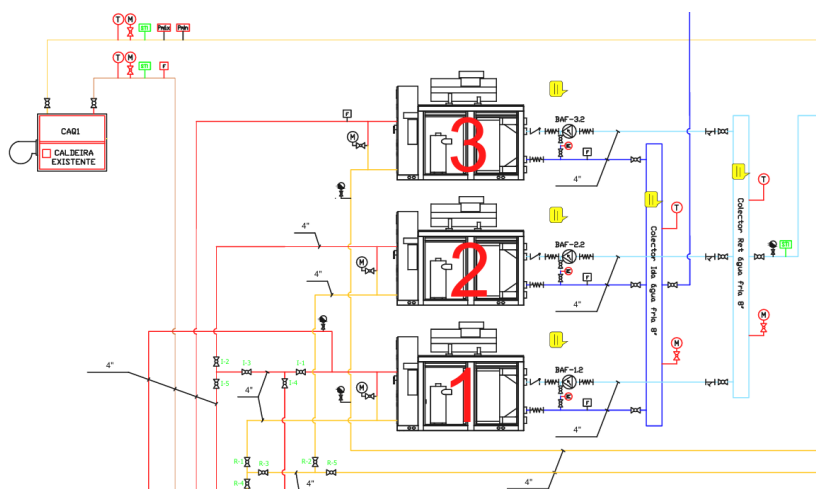


Figura 3.2: Representação dos sistemas de produção de água quente no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]

Tabela 3.1: Características das bombas de calor 2 e 3 de acordo com a ficha de instalação da TRANE [11]

<b>Bomba de Calor</b>	2 e 3
<b>Marca</b>	TRANE
<b>Modelo</b>	RTSF 100 HSE
<b>Tipo</b>	Água-Água
<b>Ano de fabrico</b>	2023
<b>Fluido frigorígeno</b>	R1234ze
$T_{\text{entrada condensador}} [^{\circ}\text{C}]$	56,40
$T_{\text{saída condensador}} [^{\circ}\text{C}]$	60
$T_{\text{entrada evaporador}} [^{\circ}\text{C}]$	12
$T_{\text{saída evaporador}} [^{\circ}\text{C}]$	7
$P_{\text{térmica nominal}} [\text{kW}]$	349,11
$P_{\text{elétrica total absorvida}} [\text{kW}]$	104,84
<b>COP</b>	3,32
<b>SCOP</b>	4,99

Este é o regime de operação das bombas de calor durante todo o ano com exceção da estação de verão, onde passam a produzir água quente apenas a 45°C, dada a menor necessidade de aquecimento.

### 3.2.1.1 Consumo elétrico e custo de operação das bombas de calor 2 e 3

Entre setembro de 2024 e abril de 2025, as bombas de calor 2 e 3 registaram um consumo elétrico total de 186721 kWh. O consumo mensal variou consideravelmente, atingindo máximos na bomba de calor 2, como os 32164 kWh em outubro de 2024 e os 25292 kWh em janeiro de 2025, e mínimos em meses de menor necessidade térmica, como se observa para a bomba de calor 3, com apenas 460 kWh em setembro de 2024. Isto também demonstra que a bomba de calor 3 é preferencialmente menos utilizada do que a 2 [12]. Dentro do consumo mensal registado para estas bombas de calor pode estar incluído o funcionamento em momentos extraordinários para apoio operacional, nomeadamente quando uma das bombas de calor 2 ou 3 foi utilizada para auxiliar a bomba de calor 1. Tal ocorre em situações de ausência temporária da bomba de calor 1, ou sempre que a procura de potência térmica pelo circuito de produção excede a capacidade de apenas uma bomba de calor. Nestes cenários as bombas 2 ou 3 são acionadas, garantindo o fornecimento adequado de energia térmica para a produção.

O custo global associado a este consumo ascendeu a 22407 euros ao longo dos oito meses considerados, considerando um valor indicado pela empresa de 0,12 €/kWh. Esta análise evidencia o impacto que a operação das bombas de calor tem na fatura energética da instalação e reforça a importância das estratégias de otimização tanto ao nível operacional como de gestão do consumo [12].

Os dados mostram que a intensidade de utilização está associada a variações sazonais da procura térmica da fábrica, traduzindo-se em consumos significativamente elevados nos meses de inverno, quando as exigências de climatização são superiores. Desta forma, a monitorização detalhada destes consumos constitui uma base fundamental para a avaliação da eficiência do sistema e para o desenvolvimento de medidas de redução de custos energéticos. Na Tabela 3.2 é possível encontrar o consumo elétrico mensal das bombas de calor 2 e 3, e o respetivo custo [12].

Tabela 3.2: Consumo elétrico e custo de operação das bombas de calor 2 e 3 [12]

Bomba de calor	Ano	Mês	Energia elétrica absorvida [kWh]	Total [kWh]	Custo [€]	
2	2024	9	23316	23776	2853	
3		460				
2		10	32164	32860	3943	
3			696			
2		11	21604	22101	2652	
3			497			
2		12	17276	17946	2154	
3			670			
2		2025	1	25292	28650	3438
3			3358			
2			2	22190	23491	2819
3				1301		
2	3		17902	19122	2295	
3			1220			
2	4		16789	18775	2253	
3			1986			
Total	-		-	186721	186721	22407

### 3.2.2 Sistemas de produção de água refrigerada

A central térmica da fábrica dispõe de um sistema de produção de água refrigerada destinado ao arrefecimento de água para múltiplos circuitos essenciais, nomeadamente três circuitos destinados ao AVAC e dois para processos industriais.

A produção de água gelada é assegurada por quatro chillers. Desses, três são do tipo Ar-Água e um do tipo Água-Água. Os chillers encontram-se configurados em paralelo, com saída de água refrigerada ligada a um coletor comum que distribui o fluido até aos pontos de consumo. O esquema da instalação dos chillers e a distribuição da água refrigerada é semelhante à da água quente, sendo utilizado um sistema com bombeamento composto.

Cada chiller possui um circuito primário independente, com o movimento da água assegurado por uma bomba de circulação constante. Os *Chillers 1, 2 e 3* estão representados na Figura 3.3 e o *Chiller 4* na Figura 3.4.

O circuito primário de cada chiller opera com bombas de caudal constante que transferem a água arrefecida para um coletor de avanço, comum a todos, por meio de tubagem de distribuição. A distribuição final da água refrigerada aos diferentes cinco circuitos é realizada através de um conjunto de bombas de circulação com caudal variável, responsáveis por garantir o débito necessário em cada zona.

A operação da central é orientada para a produção de água a uma temperatura de referência de 7°C, condição que assegura o desempenho adequado dos circuitos que dependem do arrefecimento.

No que respeita ao chiller do tipo Água-Água designado como *Chiller 4*, o arrefecimento da água do lado do condensador é efetuada por uma torre de arrefecimento dedicada. Este equipamento é preferencialmente utilizado durante o período quente, pois a água proveniente da torre dissipa o calor de forma mais eficaz com o aumento da temperatura ambiente. Por contraste, em condições atmosféricas mais frias, típicas da estação de inverno, dá-se prioridade ao funcionamento dos chillers Ar-Água (1, 2 e 3), cuja eficiência energética se revela superior nessas condições [5]. Apresenta-se na Tabela 3.3 o resumo das características dos chillers da instalação, segundo a ficha técnica dos mesmos [1]. Para além disso, na Figura 3.5 apresenta-se a representação e disposição dos chillers no esquema de princípio da central térmica, para facilitar a sua visualização.



Figura 3.3: Unidades de arrefecimento de água 1, 2 e 3, do tipo Ar - Água [1]



Figura 3.4: Unidade de arrefecimento de água 4 [1]

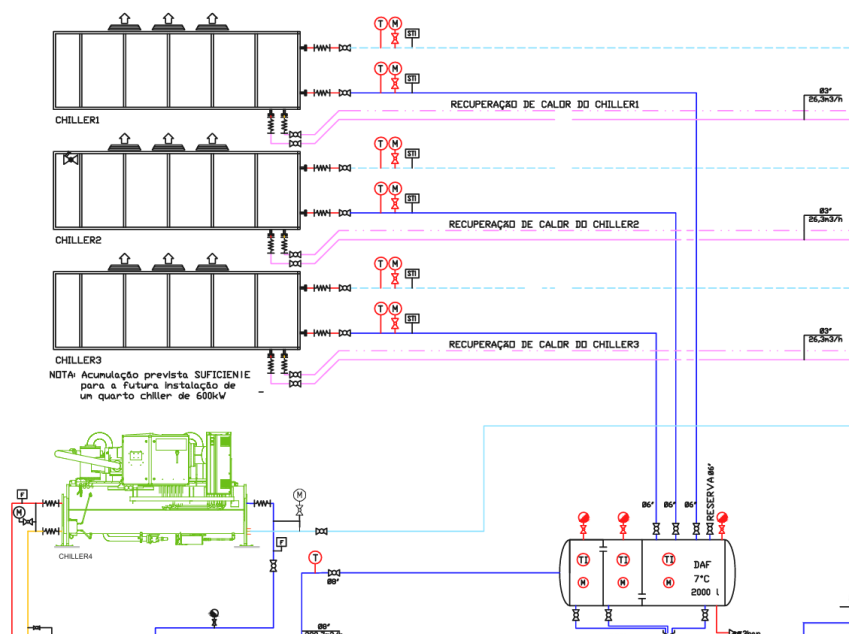


Figura 3.5: Representação dos chillers no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]

Tabela 3.3: Características dos chillers da instalação de acordo com a ficha técnica [1]

Chiller	1, 2 e 3	4
Marca	TRANE	
Modelo	RTAD 165	RTHD 350 HSE
Tipo	Ar-Água	Água-Água
Ano de fabrico	2012	2018
$P_{\text{térmica nominal}}$ [kW]	602,6	1203
$P_{\text{elétrica total absorvida}}$ [kW]	223,1	211
EER	2,7	5,69
SEER	3,4	7,52
Fluido frigorigéneo	R134a	

### 3.2.3 Distribuição de água quente

#### 3.2.3.1 Circuitos de distribuição

Existem quatro coletores de água na central térmica que ligam vários circuitos hidráulicos. Estes coletores são fabricados em tubo de ferro preto, protegidos mecanicamente. Estão equipados com manómetros, termómetros e purgadores automáticos [40]. Na Figura 3.6 e 3.7 estão representados, respetivamente, o esquema de princípio dos coletores de avanço e retorno dos circuitos onde se armazena a água quente e a água refrigerada produzida.

Apesar de não ser possível retirar esta informação apenas visualizando o esquema de princípio da central térmica, atualmente apenas as bombas de calor 2 e 3 estão a enviar e receber água dos coletores de água quente. A bomba de calor 1 está diretamente ligada a um depósito térmico isolado de água quente que, por sua vez, abastece o circuito destinado à produção. Esta bomba de calor também possui ligações diretas aos coletores de água quente, que estão ligados ao circuito que conduz esta água para e do processo produtivo. No entanto, todas as válvulas que permitem estas ligações encontram-se fechadas durante a operação normal, sendo apenas abertas em situações de emergência. Assim, a única via ativa para a circulação de água quente na bomba de calor 1 é através do depósito térmico isolado.

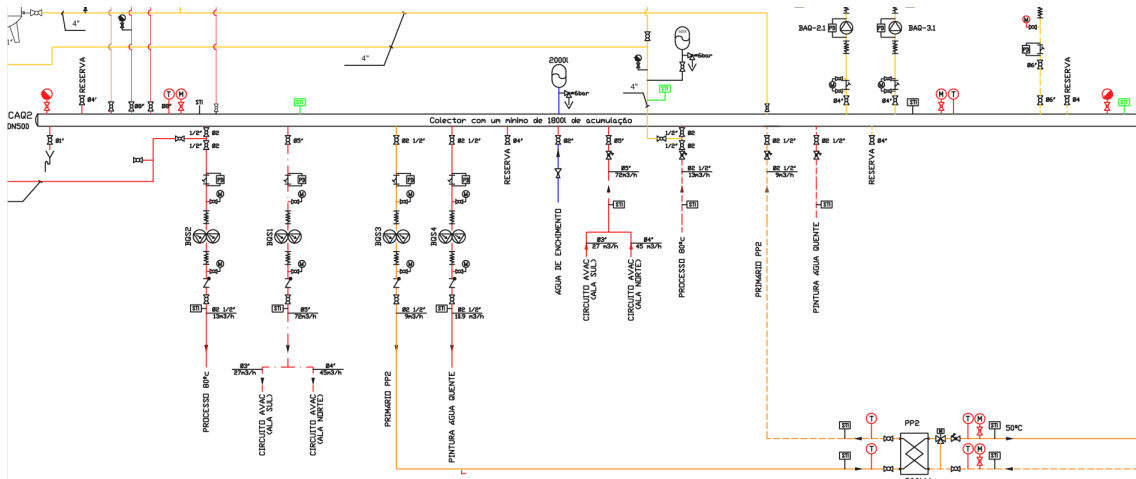


Figura 3.6: Representação dos coletores de água quente de avanço e retorno (representados como apenas um) no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]

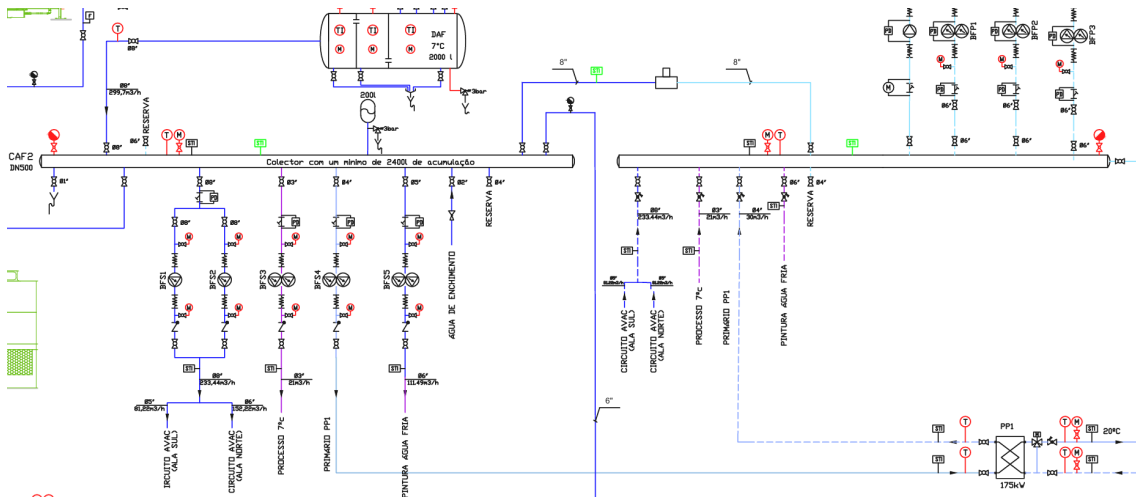


Figura 3.7: Representação dos coletores de água refrigerada de avanço e retorno no esquema de princípio presente no Anexo B 5.3.6 [6]

A rede de distribuição atual é constituída por tubagens de polibutileno. Na fase de construção da nova fábrica não existia previsão exata do consumo de água associado a cada máquina, o que resultou no sobredimensionamento dos equipamentos de bombagem. As redes de água aquecida e arrefecida encontram-se isoladas termicamente. No exterior e na central térmica, estas tubagens são ainda revestidas mecanicamente com chapa de alumínio [40].

A distribuição da água aquecida pelas bombas de calor 2 e 3, sob gestão dos coletores de avanço e retorno, está organizada por quatro circuitos principais:

1. **AVAC Norte** - Responsável por encaminhar a água quente para as unidades de tratamento de ar localizadas na zona norte da fábrica, suportando o sistema de climatização nessa área.
2. **AVAC Sul** - Cumpre a mesma função para as unidades presentes na zona sul, garantindo uma distribuição eficiente para essa secção do edifício.
3. **AVAC Pintura** - Destina-se a alimentar as unidades de tratamento de ar da área exclusiva de pintura, assegurando as condições térmicas e ambientais específicas necessárias a esse processo..
4. **Revestimento** - Este circuito transfere potência térmica da água aquecida, através do permutador de calor *PP2*, para uma linha de processo que exige temperaturas mais baixas. A água entra geralmente a cerca de 60°C do lado quente do permutador e é arrefecida para aproximadamente 40°C na saída do outro circuito do permutador, antes de ser utilizada para aquecer as máquinas APS (pulverização por plasma atmosférico).

### 3.2.3.2 Válvulas

Foram instaladas válvulas ao longo da rede de distribuição para possibilitar o seccionamento da mesma e o isolamento dos equipamentos, facilitando as operações de manutenção e resposta a avarias. As válvulas de retenção encontram-se montadas a jusante de cada bomba de circulação.

As válvulas de equilíbrio estático e dinâmico garantem o correto balanceamento e equilíbrio hidráulico da instalação, contando com tomadas de pressão diferencial do tipo "TA" instaladas em vários pontos do sistema.

Adicionalmente, existem válvulas de enchimento automático para assegurar o completo enchimento da instalação e a reposição contínua de água.

Em todas as UTAs e UTANs existe uma válvula no circuito quente e frio destinada ao balanceamento hidráulico, bem como uma válvula de controlo de duas vias, instalada sobre um atuador que permite que a GTC regule de forma precisa a abertura ou fecho da mesma, controlando assim a quantidade de água que atravessa cada bateria [40].

### 3.2.4 Sistemas de climatização

A fábrica dispõe de um controlo climático rigoroso, especialmente nas áreas de produção, devido às exigências de qualidade. Para o acondicionamento do ar de insuflação são utilizadas Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN). Os principais componentes que constituem estes equipamentos incluem filtros de ar, baterias de água quente e refrigerada, ventiladores e, em alguns casos, humidificadores. Dependendo se o equipamento tem recuperação de calor, estes também podem possuir permutadores de calor Ar-Ar. Na Figura 3.8 apresenta-se uma UTA exemplo presente na fábrica, *UTA Optica 1*, retirada da GTC, onde se realiza todo o seu controlo [7].

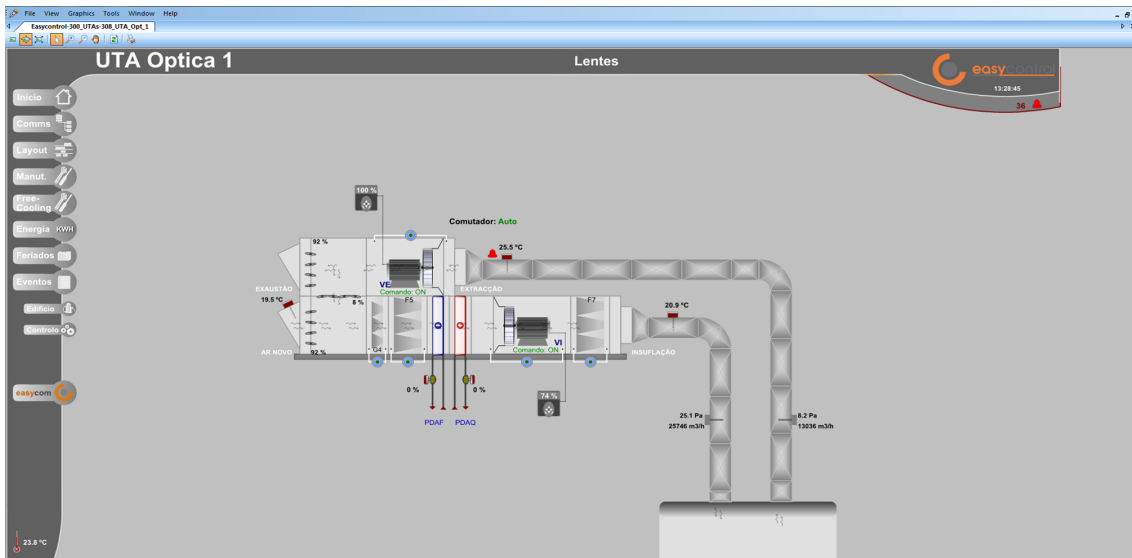


Figura 3.8: *UTA Optica 1*, retirada da GTC [7]

A instalação é constituída por 24 equipamentos de climatização, distribuídos em:

- 10 UTAs que apenas reusam o ar de retorno (sem permutador de calor);
- 4 UTAs com recuperadores de calor;
- 9 UTANs, sendo que 3 possuem recuperação de calor;
- 1 *rooftop*.

Destes, apenas o *rooftop* não é alimentado pelo circuito de água quente produzida pelas bombas de calor 2 e 3, pelo que não é considerado na análise.

Os equipamentos AVAC ligados a este circuito estão identificados na Tabela 3.4, onde se detalham algumas características dos mesmos e respetivos espaços climatizados. De entre as UTAs e UTANs, 19 são da marca *Wesper* e as restantes 4 da *EVAC*. O sistema hidráulico responsável pelo fornecimento de água a estes equipamentos — tanto para aquecimento como para arrefecimento — está dividido em dois circuitos principais, designados por “AVAC Norte” e “AVAC Sul”. Na Tabela 3.4, as UTAs estão apresentadas por ordem de proximidade à central térmica no circuito, de cima para baixo. O permutador "PP4" realiza a transferência de calor entre o fim do circuito "AVAC Norte" e o circuito de água que alimenta as UTAs dos espaços da Investigação e Desenvolvimento (I&D) e o Serviço Técnico.

Tabela 3.4: Circuitos AVAC e respetivas UTAs/URCs [7]

Circuito	Tipo / Espaço	Marca	$Q_{\text{nominal}}$ da bateria quente [kW]	%mínima de ar novo	$\dot{v}_{\text{insuflado}}$ [ $m^3/s$ ]
AVAC Norte	UTAN Galvânica	Wesper	-	-	-
	UTAN Areamento		73,44	100	1,470
	UTAN Polimento		141,9	100	3,131
	UTA Mecânica 2	EVAC	25,2	0	1,667
	UTA Mecânica	Wesper	380	10	20,126
	UTAN Máquinas 2		**	100	2,236
	UTA Centragem		64,3	30	2,409
	UTA Colagem		33,9	30	2,444
	UTA Revestimento 2		53,4	7	10,071
	UTA Revestimento 1		53,4	7	10,071
	UTAN Máquinas 1	**	100	2,236	
	UTA Ótica 3	EVAC	17,47	0	0,972
	UTA Ótica 2	Wesper	158,7	15	7,14
	UTA Ótica 1		158,7	15	7,14
URC 3	14,7		100	0,504	
Permutador "PP4"	UTA I&D	EVAC	15,97	30	0,778
	UTA Serviço Técnico		17,07	20	0,778
AVAC Sul	UTA Montagem Sul	Wesper	174,3	20	11,502
	UTA Montagem Norte		145,1	20	11,502
	UTA Cantina		55	20	2,743
	UTAN Cozinha		37	100	0,687
	URC 1		7,2	100	0,504
	URC 2		10,8	100	0,552

1

Existe uma diminuição da utilização destes equipamentos a partir das 14 horas do sábado, correspondente à redução dos turnos laborais ao longo do fim de semana até à madrugada de segunda-feira. No ANEXO C 5.3.6 apresentam-se desenhos da planta da fábrica onde se ilustra a distribuição das tubagens de água quente e refrigerada dos circuitos *AVAC Norte* e *AVAC Sul*, incluindo as linhas de avanço e retorno desde a central térmica até aos diversos equipamentos. Importa referir que o desenho da distribuição das tubagens não se encontra totalmente atualizado, não contemplando a totalidade das UTAs presentes na instalação. Contudo, fornece uma visão geral pertinente sobre a configuração e arranjo das tubagens no sistema. No ANEXO F 5.3.6 estão todas as fichas técnicas disponíveis das UTAs e UTANs da fábrica. Para além destes equipamentos que climatizam praticamente toda a fábrica, a zona da pintura tem um conjunto de UTAs e UTANs próprio, com um circuito de água quente e refrigerada dedicados a aquecer/arrefecer as baterias destes equipamentos, ajudando a climatizar e tratar o ar que entra nesse espaço. Não foi possível obter nenhum tipo de fichas técnicas desses equipamentos ou registos na GTC.

### 3.2.5 Gestão técnica centralizada da climatização

A Gestão Técnica Centralizada (GTC) da climatização é um sistema fundamental para o controlo, monitorização e operação integrada das principais infraestruturas térmicas e de climatização do edifício industrial. Esta plataforma permite não só o acompanhamento em tempo real do funcionamento dos equipamentos — como unidades de tratamento de ar (UTAs e UTANs), bombas de calor, ventiladores e permutadores — como também a atuação sobre os mesmos para garantir o cumprimento dos requisitos de conforto, eficiência energética e segurança operacional.

<sup>1</sup>\*Não foi possível encontrar na fábrica a ficha técnica da UTAN da Galvânica. Também não foi possível contactar o responsável pela instalação do equipamento pois a empresa já não existe.

\*\*Equipamento não possui bateria de água quente (aquecimento).

O sistema GTC da empresa organiza-se em dois núcleos distintos: um dedicado ao comando e monitorização das unidades geradoras de água quente e refrigerada (nomeadamente as bombas de calor e chillers) - GTC da TRANE - e outro responsável pela gestão dos agentes terminais e dos circuitos de climatização e distribuição térmica no edifício - *Easycontrol TAC Vista Workstation*. A GTC afeta os horários de funcionamento, define os setpoints de temperatura e determina que equipamentos operem em função das necessidades e condições registadas. Permite também o registo e consulta de dados operacionais, como temperaturas, pressões dos refrigerantes nos equipamentos, caudais volumétricos, estados operacionais e regimes de utilização, cruciais para avaliações técnicas e para a otimização dos sistemas [7].

A recolha de dados através da GTC é realizada por um conjunto diversificado de sensores e atuadores distribuídos estrategicamente pela instalação. Estes dispositivos medem variáveis físicas como temperatura do ar e da água, caudais volumétricos, percentagem de ar novo, entalpias dos fluxos, funcionamento dos ventiladores e estado de abertura das válvulas modulantes instaladas sobre atuadores elétricos. A metrologia e a correta calibração destes elementos são determinantes para a fiabilidade e robustez dos dados disponíveis, pelo que se adotam procedimentos de validação, verificação e, sempre que necessário, calibração local dos instrumentos — nomeadamente através da comparação com termómetros portáteis fiáveis [7].

Contudo, o sistema atualmente instalado apresenta limitações que condicionam a análise e o controlo avançado. Destaca-se a ausência da monitorização detalhada e registo em algumas áreas críticas — como toda a zona de climatização da área pintura — a inexistência de registo de caudais reais individualizados nas várias UTAs/UTANs e circuitos principais, e a escassez de medidores de temperatura em locais estratégicos do percurso hidráulico. Estas ausências obrigam à utilização de dados nominais de projeto e estimativas indiretas, reduzindo a precisão das análises [7].

Além disso, a atual GTC da empresa é classificada como Classe C, o que limita o potencial de automação, controlo dinâmico e integração multidisciplinar dos sistemas. Esta limitação compromete a implementação de estratégias adaptativas, diagnósticos automáticos e funcionalidades preditivas que permitiriam maior eficiência operacional e potencial de poupança energética [41].

Em síntese, a GTC da empresa constitui o eixo central de supervisão e comando dos sistemas térmicos, agregando informação essencial para a gestão e análise energética. Apesar das suas atuais limitações — principalmente na cobertura e detalhe do registo e monitorização de valores — esta permite extrair variáveis fundamentais e justificar as análises desenvolvidas [37].

### 3.3 Análise das condições de utilização da energia térmica

#### 3.3.1 Regimes de produção de energia térmica das bombas de calor 2 e 3

Foram definidas as condições de funcionamento a serem analisadas, ou seja, os possíveis novos regimes das bombas de calor 2 e 3. Foram consideradas diferentes opções para a temperatura de saída da bomba de calor e entrada nas baterias das diferentes unidades de tratamento de ar, assumindo que estas se mantêm sensivelmente idênticas devido ao bom isolamento térmico das tubagens, dada a inexistência de um termómetro de temperatura na entrada da água quente em cada bateria de cada UTA e UTAN. Os valores analisados estão presentes na Tabela 3.5. A diferença máxima de temperaturas entre a entrada e a saída do condensador do modelo das bombas de calor avaliadas é de 15°C [8].

Tabela 3.5: Possíveis regimes de entrada e saída de temperatura do condensador das bombas de calor 2 e 3 avaliados e considerados para implementação [8]

$\Delta T / T_{\text{produção de água quente}} [^{\circ}\text{C}]$	45	50	55	60
5	40	45	50	55
10	35	40	45	50
15	30	35	40	45

Em resumo, para cada UTA e UTAN existente na fábrica, estudaram-se doze cenários distintos, acrescidos da situação atual, para efeitos comparativos. A determinação da temperatura mínima de produção de água quente pelas bombas de calor teve em consideração as necessidades e limitações técnicas dos vários equipamentos alimentados pelo sistema térmico central. Em particular, o valor de  $45^{\circ}\text{C}$  foi identificado como o limite inferior de temperatura de produção de água quente ponderado, derivando da exigência do *Permutador PP2*, cuja função é garantir a disponibilidade de água quente para processos produtivos na área do revestimento que requerem uma temperatura de operação de  $40^{\circ}\text{C}$ . Esta margem garante não só a efetividade térmica do permutador, mas também previne qualquer comprometimento na eficiência ou qualidade do processo produtivo que dele depende.

Foi então solicitado ao fornecedor um conjunto mais completo de informações técnicas para os diferentes regimes de funcionamento das bombas de calor a serem estudados referidos acima em 3.3.3, nomeadamente para os regimes de carga parcial de 25%, 50%, 75% e 100% [11]. Estas informações incluem a potência térmica de aquecimento que as bombas de calor são capazes de produzir, as temperaturas de entrada e saída e os caudais que circulam tanto no condensador como no evaporador, a potência elétrica absorvida e o coeficiente de desempenho (COP) correspondente a cada um desses regimes. As tabelas contendo estes dados, fornecidas pelo fabricante para 2 situações: alimentação das bombas de calor com bombas de circulação de água constante (atual) e variável, encontram-se disponíveis no ANEXO D 5.3.6, servindo de base para as análises e estimativas efetuadas ao longo deste estudo.

### 3.3.2 Estimativa do caudal de água que atravessa o condensador das bombas de calor 2 e 3

Foi estimado o caudal das bombas de circulação constante que alimentam os condensadores das bombas de calor 2 e 3, com o objetivo de verificar se os valores atualmente em serviço coincidem com os especificados na ficha técnica da instalação, presente no ANEXO D 5.3.6 [8]. Validando-se desta forma se a potência térmica nominal indicada pelo fabricante ainda corresponde à realidade operacional, assegurando a conformidade do funcionamento com os parâmetros de projeto.

Inicialmente, foi identificado o modelo e a referência da bomba de calor em questão — designada na empresa por "*BAQ 2.1*" no caso da bomba de circulação que alimenta o condensador da bomba de calor 2, e "*BAQ 3.1*" para o condensador da bomba de calor 3. Ambas as bombas de circulação são idênticas e operam ao mesmo caudal quando ligadas. Para compreender o comportamento hidráulico da bomba de circulação, consultou-se a tabela característica da mesma, que relaciona a altura manométrica ( $H$ ) com o caudal volumétrico ( $\dot{v}$ ) [13]. Esta tabela e a ficha técnica do modelo encontram-se incluídas no ANEXO E 5.3.6. Além disso, mediu-se a diferença de pressão entre a entrada e saída da bomba de circulação, utilizando barómetros expressos em bar. Com esta diferença de pressão e conhecendo-se a densidade  $\rho$  da água e a aceleração da gravidade  $g$ , calculou-se a altura manométrica da bomba de circulação através da Equação 3.1:

$$H_m = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{água}} \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (3.1)$$

onde  $\Delta P$  é a diferença de pressão entre a entrada e a saída em pascal ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ),  $\rho_{\text{água}} = 983,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  e  $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ .

Com a tabela da bomba de circulação foi traçada a curva característica  $H - \dot{v}$ , e desta foi retirado o polinómio que a representa. Com ele, foi possível calcular o caudal volumétrico  $\dot{v}$  em  $m^3/h$  para a  $H$  calculada, permitindo assim determinar o caudal mássico correspondente para a operação da bomba. Este caudal representa o volume de água que a bomba desloca para o condensador da bomba de calor nas condições de operação atuais. Na Tabela 3.6 encontram-se as propriedades de operação destas bombas de circulação.

Tabela 3.6: Propriedades de operação das bombas de circulação *BAQ 2.1* e *BAQ 3.1* [13]

Propriedades	Valor
$\rho$ [ $kg/m^3$ ]	983,20
$P_{\text{antes da bomba}}$ [bar]	5,50
$P_{\text{após da bomba}}$ [bar]	3,90
$\Delta P$ [bar]	1,60
$H_m$ [m]	16,59
$\dot{v}$ [ $m^3/h$ ]	85,10
$\dot{m}$ [kg/s]	23,24

Observando a Tabela 3.6 e a ficha de instalação das bombas de calor 2 e 3 conclui-se que esta continua a operar com o mesmo caudal dimensionado na instalação das bombas de calor.

### 3.3.3 Condições de operação das bombas de calor 2 e 3 em diferentes regimes

A análise das condições de operação das bombas de calor 2 e 3, tendo por referência o manual técnico da Trane [8], permite constatar que, para uma produção de água quente a  $60^\circ C$  e com temperatura de saída do evaporador na ordem dos  $12^\circ C$ , as máquinas operam na gama designada por *City Booster*, conforme ilustrado na Figura 3.9. Este modo de funcionamento caracteriza-se pela otimização da eficiência para a produção de água quente a temperaturas elevadas, entre  $50^\circ C$  e  $80^\circ C$ , sendo especialmente indicado para aplicações industriais de elevado consumo térmico.

Os três principais modos de operação deste modelo de bombas de calor podem ser resumidos da seguinte forma [8]:

- **City Comfort:** destinado a aplicações de conforto térmico, com otimização da eficiência para aquecimento até  $50^\circ C$  ou processos industriais a temperaturas positivas;
- **City Process:** orientado para processos industriais que exigem temperaturas negativas, assegurando segurança e sustentabilidade ( $GWP < 1$ );
- **City Booster:** vocacionado para a produção eficiente de água quente a temperaturas elevadas (entre  $50^\circ C$  e  $80^\circ C$ ), promovendo a transição para soluções renováveis de aquecimento.

A observação do *Operating Map* na Figura 3.10 revela que, para valores de temperatura de água à saída do evaporador em torno dos  $12^\circ C$  (regime atual), ocorre a ativação do arrefecedor de óleo auxiliar do compressor (AOC) a partir de aproximadamente  $55^\circ C$  de temperatura de água aquecida no condensador. Quando as bombas de calor operam com o AOC ligado, esta absorve mais energia elétrica e diminui a sua eficácia [8].

Por contraste, para temperaturas de produção de água quente até 50°C no condensador, a bomba de calor opera no regime conhecido como *Low Vi* (LoVi), que representa a zona onde a unidade funciona com baixa razão volumétrica interna no compressor. Isto significa que a relação entre o volume de sucção e descarga está ajustada para otimizar a eficiência, resultando num menor consumo elétrico e numa maior eficiência global do sistema. Deste modo, o objetivo central da presente dissertação passa por averiguar a viabilidade de redução da temperatura de produção de água quente por parte das bombas de calor 2 e 3 para, no mínimo, 50°C, de modo a maximizar a eficiência do sistema e reduzir o consumo energético. Caso tal não seja tecnicamente possível, pretende-se aferir a temperatura mínima de produção, de modo a não ativar o arrefecedor de óleo auxiliar, ou seja, para valores de produção de água quente menores que 55°C [8].

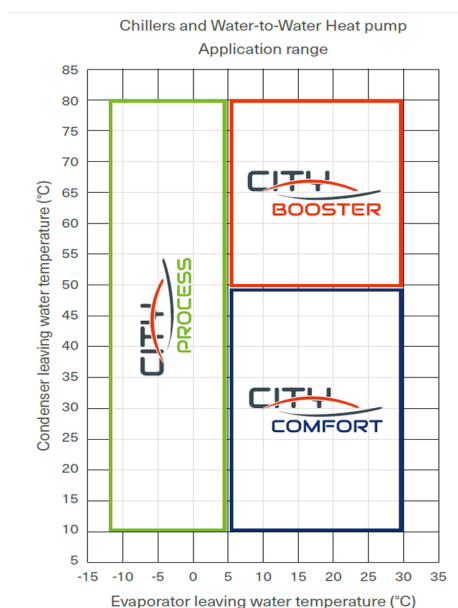


Figura 3.9: Gama de aplicações da bomba de calor [8]

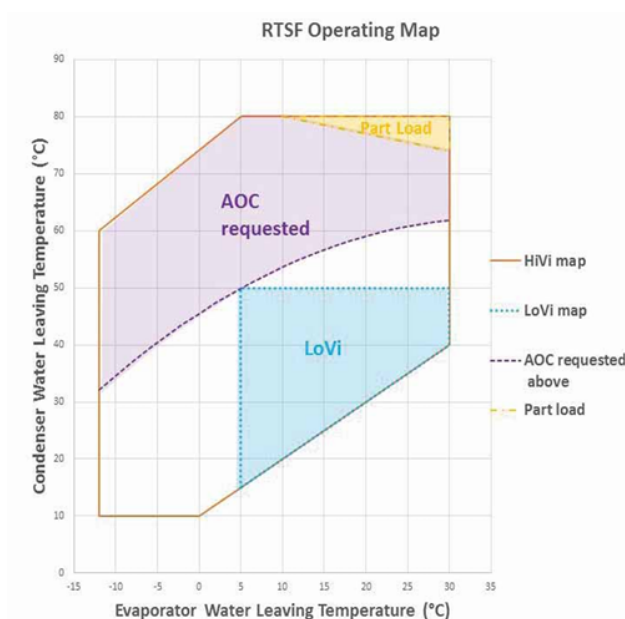


Figura 3.10: Intervalo de operação [8]

### 3.3.3.1 Estimativa da evolução das variáveis operacionais das bombas de calor 2 e 3 em função da percentagem de carga parcial

Tendo como dados iniciais retirados da ficha técnica apenas para operação a 100% da carga, procedeu-se à estimativa das variáveis necessárias para o estudo nos regimes de carga parcial de 75%, 50% e 25% da carga nominal. Para isso, utilizou-se a informação fornecida pelo fabricante que apresenta o desempenho da bomba de calor com temperatura de entrada no condensador a 55°C e temperatura de saída a 60°C, que é o regime mais próximo do atual, presente no ANEXO D 5.3.6 na Tabela 3. Nas tabelas 3.7 e 3.8 os valores sombreados a bege representam os fornecidos pela Trane.

**Potência elétrica absorvida** - Para o cálculo da potência elétrica absorvida estimada dependendo da carga parcial, dividiu-se os valores de energia elétrica a 75%, 50% e 25% do regime 55°C/60°C pela sua potência elétrica absorvida nominal, determinando-se assim coeficientes de conversão. Posteriormente, multiplicaram-se estes coeficientes pela potência elétrica absorvida da bomba de calor a 100% no regime atual (56,4°C/60°C), obtendo-se a estimativa do consumo para cada carga parcial admitindo-se que, por serem semelhantes, ambos os regimes têm a mesma evolução do potencial elétrico face a percentagem de carga.

Tabela 3.7: Valores da potência elétrica absorvida pelas bombas de calor 2 e 3 [9]

% de carga	$P_{elétrica}$ [kW] – Regime 55°C/60°C	Coefficiente <sub>1</sub> = $\frac{P_{elétrica} \times}{103,69}$	$P_{elétrica}$ [kW] – Regime atual Coef1 × 104,84
100	103,69	1,00	104,84
75	77,99	0,75	78,85
50	57,04	0,55	57,67
25	32,50	0,31	32,86

**Potência térmica produzida** - As potências térmicas para as diferentes percentagens de carga foram retiradas simplesmente multiplicando a potência térmica nominal dada na ficha de instalação das bombas de calor 2 e 3 pela respetiva percentagem de carga. Com estas estimativas também foi possível determinar o COP atual nas várias percentagens de carga das bombas de calor avaliadas. Na Tabela 3.8 encontram-se os resultados para as condições atuais de operação.

Tabela 3.8: Valores da potência térmica e COP das bombas de calor 2 e 3 [9]

% de carga	$P_{térmica}$ [kW]	COP
100	349,11	3,33
75	261,83	3,32
50	174,56	3,03
25	87,28	2,66

### 3.3.4 Estimativa da potência térmica requerida

Para determinar a possibilidade de redução da temperatura de saída do condensador das bombas de calor 2 e 3, foi efetuado um estudo detalhado à instalação, com identificação e análise dos principais consumidores de água quente produzida por estas unidades. Numa fase inicial, procedeu-se à observação e levantamento local de todos os pontos e circuitos onde existe consumo de potência térmica proveniente das referidas bombas de calor. Este diagnóstico é fundamental, uma vez que, para se poder aferir o eventual decréscimo admissível da temperatura de produção, importa antes conhecer o valor total de potência térmica ( $Q_{total}$ ) que as bombas de calor devem garantir para suprir as necessidades da fábrica. Da inspeção realizada à instalação, apurou-se que o consumo total de potência térmica satisfeita pelas bombas de calor 2 e 3 está associado às parcelas da Equação 3.2, que representam cada uma os circuitos de distribuição de água quente mencionados em 3.2.3.1.

$$Q_{total, 2,3} = Q_{AVAC \text{ Norte/Sul}} + Q_{Permutadores} + Q_{AVAC \text{ Pintura}} [W] \quad (3.2)$$

onde:

- $Q_{AVAC \text{ Norte/Sul}}$  refere-se ao conjunto dos circuitos de climatização de ar (AVAC) das zonas Norte e Sul;
- $Q_{Permutadores}$  corresponde à soma da potência térmica utilizada pelo permutador de placas  $PP2$  e o permutador de placas  $PP4$ ;
- $Q_{AVAC \text{ Pintura}}$  representa o consumo de potência térmica do circuito dedicado ao processo de climatização dos espaços da pintura.

Dado que na altura da realização deste levantamento a GTC da empresa apenas dispunha de registos a partir de setembro de 2024, e considerando que o período de maior exigência no consumo de água quente para climatização ocorre justamente a partir deste mês, optou-se por selecionar como amostra o intervalo entre setembro de 2024 e o final de abril de 2025. Assim, garante-se a análise abrange toda a época de aquecimento definida para Portugal continental [42]. Reforça-se que, a partir de junho e até ao final de agosto, as bombas de calor são apenas utilizadas para a produção de água a 45 °C, conforme já referido em 3.2.1, pelo que este período não se considera relevante para o presente estudo. Mais detalhadamente, o primeiro intervalo de tempo onde foram retirados e calculados dados para a análise foi na data: 01/09/2024 - 00:50h. A partir desse foram extraídas e analisadas em intervalos de 1 em 1 hora até: 06/05/2025 - 09:50h.

### 3.3.4.1 Estimativa da potência térmica requerida para a climatização da empresa através dos circuitos AVAC Norte e Sul

O procedimento de cálculo do consumo térmico associado aos circuitos AVAC Norte/Sul envolveu oito etapas fundamentais.

**Aquisição e tratamento de dados operacionais das UTAs e das bombas de calor via GTC** - Numa primeira fase, foram extraídos da GTC os registos dos dados operacionais de todas as UTAs e das bombas de calor relacionadas. Para cada UTA foram recolhidas as seguintes variáveis:  $T_{\text{extração}}$ , intervalo horário de funcionamento (on/off/standby),  $T_{\text{setpoint}}$  para cada modo operativo (normal/standby),  $T_{\text{insuflação}}$ , caudal volumétrico dos ventiladores de insuflação ( $\dot{v}_{\text{insuflação}}$ ), percentagem mínima de ar novo admitido ( $\%_{\text{min de ar novo}}$ ), bem como a entalpia ( $H$ ) dos fluxos de extração, ar novo e insuflação.

A recolha e tratamento destes dados operacionais assentam numa abordagem metrológica rigorosa, reconhecendo que a fiabilidade da informação depende da correta calibração e manutenção dos sensores e instrumentos de medição distribuídos pela instalação. Cada instrumento de medição da GTC está sujeito a erros inerentes, cuja magnitude foi considerada e minimizada durante o tratamento dos dados, garantindo que as análises subsequentes se baseiem em informações rigorosas e representativas do funcionamento real da instalação.

A  $T_{\text{exterior}}$  adotada correspondeu à medida da sonda de temperatura geral da fábrica, optou-se por atribuir este valor como referência para o ar novo em todas as UTAs, assegurando assim representatividade e mitigando o erro potencial decorrente de eventuais descalibrações ou avarias em sondas específicas de cada unidade. Para ter a certeza que esta sonda estava calibrada, mediu-se com um termómetro móvel localmente a  $T_{\text{exterior}}$ , ao lado da dita sonda.

**Levantamento e análise das características técnicas das UTAs e UTANs** - Numa segunda etapa, procedeu-se à recolha das fichas técnicas de todas as UTAs e UTANs instaladas, de modo a obter informação detalhada acerca das características das baterias e dos recuperadores de calor eventualmente existentes em cada equipamento.

**Classificação dos equipamentos em função do modo de funcionamento e gestão dos caudais de ar** - A determinação da energia térmica fornecida pela bateria de aquecimento, na qual circula a água destinada ao condicionamento do ar, exige o conhecimento do caudal mássico de ar ( $\dot{m}_{\text{ar}}$ ), do calor específico do ar ( $c_{p_{\text{ar}}} \approx 1005\text{J}/(\text{kgK})$ ) e da variação de temperatura ( $\Delta T$ ), de acordo com a Equação 2.4. O parâmetro  $\Delta T$  corresponde à diferença entre a temperatura do ar imediatamente antes e depois da bateria de aquecimento.

Para simplificar os cálculos sem comprometer a precisão dos resultados, considerou-se como equivalentes  $T_{\text{antes da bateria}}$  e  $T_{\text{exterior}}$  no caso das UTANs sem recuperador de calor. Esta aproximação baseia-se na análise técnica detalhada dos desenhos construtivos e esquemas hidráulicos dos equipamentos, que indicam não existir qualquer elemento ou processo suscetível de provocar alterações significativas entre estas temperaturas. De forma semelhante,  $T_{\text{após a bateria}}$  foi considerada igual à  $T_{\text{insuflação}}$ , dado que as diferenças térmicas reais entre estes pontos são desprezíveis dentro do contexto operacional da instalação.

Por fim, considerou-se também que  $T_{\text{extraída}}$  é igual a  $T_{\text{reciclado}}$ , assumindo que o ar recolhido do ambiente interior e reintroduzido no sistema mantém a mesma condição térmica. Esta hipótese simplificadora baseia-se na ausência de processos significativos de troca térmica entre a extração e a recirculação. Estas simplificações permitem reduzir a complexidade dos cálculos, mantendo a rigorosidade física necessária para a correta avaliação da energia térmica das UTAs e UTANs.

**Estimativa da potência térmica das UTAs sem recuperador de calor do ar extraído em função da temperatura do ar exterior -** Neste grupo enquadram-se as UTAs que, sempre que termodinamicamente favorável, efetuam a reutilização parcial do ar retirado do espaço, misturando-o diretamente com ar novo exterior, antes desta mistura atravessar a bateria de aquecimento. A identificação das UTAs que operam com este regime foi efetuada com base na sua configuração técnica, sendo estas a UTA da Cantina; da Ótica 1 e 2; da Colagem; da Centragem e da Mecânica. A Figura 3.11 ilustra os diferentes fluxos de ar possíveis no interior deste tipo de UTA, apresentando-os de forma esquemática para facilitar a compreensão e a visualização dos circuitos de insuflação, recirculação e extração de ar. Esta representação permite clarificar a forma como o ar é gerido e tratado dentro do sistema, evidenciando as etapas de mistura, condicionamento e eventual renovação do ar [7].

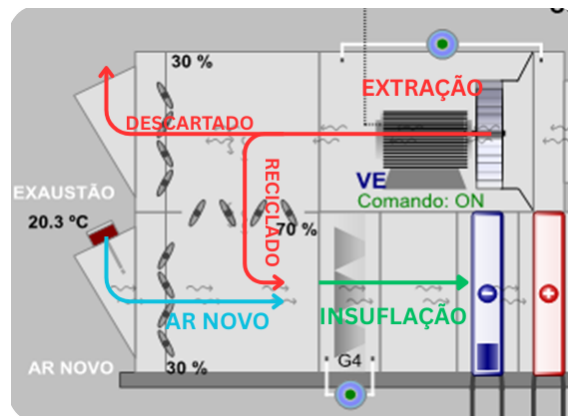


Figura 3.11: Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTA sem recuperador de calor [7]

Para cada intervalo temporal, foram recolhidos da GTC os valores de  $T_{\text{extração}}$  do espaço,  $T_{\text{exterior}}$  e  $T_{\text{insuflação}}$ .

O primeiro passo consistiu na definição da  $T_{\text{setpoint}}$  para cada momento, correspondendo esta ao valor de referência desejado para o ambiente climatizado (a temperatura alvo da sala) configurado na GTC. Para tal, analisou-se o horário de funcionamento das UTAs, distinguindo os períodos em estado *On*, *Off* e *Standby*, cruzando estes com a respetiva  $T_{\text{setpoint}}$  associada.

Em seguida, tornou-se necessário determinar a percentagem de ar novo admitido em cada instante. Não estando disponível a informação programática dos *dampers*, deliberou-se — em articulação com o orientador — assumir que o sistema opera sempre com prioridade para a eficiência energética, respeitando a percentagem mínima de ar novo de cada espaço configurada na GTC. Para sistematizar a seleção da percentagem de ar novo e de ar recirculado em função das condições de  $T_{\text{exterior}}$ ,  $T_{\text{setpoint}}$  e  $T_{\text{extraída}}$ , foram definidas 13 situações operacionais possíveis, considerando todas as combinações entre estas três temperaturas. Tendo por base estas condições, foi desenvolvido um algoritmo em *Python* para automatizar a escolha da proporção ótima de ar novo, respeitando sempre o requisito mínimo. Este código encontra-se documentado no APÊNDICE A 5.3.6 . A seguinte lista descreve as 13 condições para uma %<sub>mínima</sub> de ar novo referente à UTA da Mecânica (como exemplo), onde %<sub>mínima</sub> de ar novo = 10%. Apesar da lista apresentada ser sobre esta UTA, as condições são iguais para todas as outras, apenas mudando as % mínimas de ar novo.

1.  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{extraída}} < T_{\text{setpoint}}$   
**% Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.**  
 O ar extraído está mais quente que o ar novo, mas ainda abaixo do setpoint, pelo que se opta por reutilizar.
2.  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}} < T_{\text{extraída}}$   
**% Ar Novo: 10–100%, % Ar Recirculado: 0–90%.**  
 Depende de qual entre  $T_{\text{exterior}}$  e  $T_{\text{extraída}}$  está mais próximo do setpoint, utilizando-se maior percentagem do ar que estiver mais próximo.
3.  $T_{\text{extraída}} < T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}}$   
**% Ar Novo: 100%, % Ar Recirculado: 0%.**  
 O ar novo está mais quente que o ar extraído, pelo que é o utilizado, apesar de ainda estar abaixo do setpoint.
4.  $T_{\text{extraída}} < T_{\text{setpoint}} < T_{\text{exterior}}$   
**% Ar Novo: 10–100%, % Ar Recirculado: 0–90%.**  
 Como no ponto 2, depende da proximidade dos valores de temperatura ao setpoint.
5.  $T_{\text{setpoint}} < T_{\text{exterior}} < T_{\text{extraída}}$   
**% Ar Novo: 100%, % Ar Recirculado: 0%.**  
 Ambos os valores estão acima do setpoint, pelo que se utiliza o ar menos quente (neste caso, o ar novo).
6.  $T_{\text{setpoint}} < T_{\text{extraída}} < T_{\text{exterior}}$   
**% Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.**  
 O ar extraído é menos quente, pelo que se opta por reutilizar.
7.  $T_{\text{exterior}} = T_{\text{extraída}} < T_{\text{setpoint}}$   
**% Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.**  
 Ambos os valores estão frios, razão pela qual se recorre à reciclagem para poupar os filtros, dado necessitar de menos filtragem.
8.  $T_{\text{exterior}} = T_{\text{extraída}} > T_{\text{setpoint}}$   
**% Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.**  
 Ambos estão quentes, pelo que se deve reutilizar mais para poupar filtragem do ar.
9.  $T_{\text{exterior}} = T_{\text{setpoint}} < T_{\text{extraída}}$   
**% Ar Novo: 100%, % Ar Recirculado: 0%.**  
 O ar novo já apresenta a temperatura adequada, pelo que se evita usar o ar extraído mais quente.
10.  $T_{\text{exterior}} = T_{\text{setpoint}} > T_{\text{extraída}}$   
**% Ar Novo: 100%, % Ar Recirculado: 0%.**  
 O ar extraído está mais frio, mas para manter o setpoint, o ar novo é privilegiado.

11.  $T_{\text{extraída}} = T_{\text{setpoint}} < T_{\text{exterior}}$   
 % Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.  
 O ar novo é mais quente, mas o ar extraído já está na temperatura desejada, evitando-se assim o sobreaquecimento.
12.  $T_{\text{extraída}} = T_{\text{setpoint}} > T_{\text{exterior}}$   
 % Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.  
 O ar extraído está na temperatura certa, enquanto o ar novo é mais frio, motivando uma maior reciclagem.
13.  $T_{\text{exterior}} = T_{\text{extraída}} = T_{\text{setpoint}}$   
 % Ar Novo: 10%, % Ar Recirculado: 90%.  
 Ambas as temperaturas são ideais, pelo que se mantém o mínimo obrigatório de ar novo para renovação, poupando o maior uso dos filtros.

Posteriormente, calcularam-se os caudais volumétricos de ar novo e de ar recirculado, multiplicando a percentagem de ar novo e ar recirculado obtidas anteriormente pelo caudal total de insuflação constante do ventilador retirado da GTC. Para cada corrente de ar, determinou-se a respetiva massa volúmica ( $\rho$ ) aplicando a Equação 3.3.

$$\rho = \frac{101325}{R_{\text{ar}} \cdot T} [\text{kg/m}^3] \quad (3.3)$$

com  $R_{\text{ar}} = 287,05 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  e  $T$  expresso em Kelvin (considerando como  $T$  a  $T_{\text{ar novo}} = T_{\text{exterior}}$  ou a  $T_{\text{extração}}$ , conforme aplicável). Multiplicando  $\rho$  pelo respetivo  $\dot{v} [\text{m}^3/\text{s}]$ , obteve-se o caudal mássico ( $\dot{m} [\text{kg/s}]$ ) de ar novo e de ar recirculado para cada intervalo.

De seguida, calculou-se a temperatura resultante da mistura de ar ( $T_{\text{antes da bateria}}$ ) conforme a Equação 3.4:

$$T_{\text{antes da bateria}} = \frac{\dot{m}_{\text{ar novo}} \cdot (T_{\text{exterior}} + 273,15) + \dot{m}_{\text{recirculado}} \cdot (T_{\text{extraída}} + 273,15)}{\dot{m}_{\text{ar novo}} + \dot{m}_{\text{recirculado}}} - 273,15 [^{\circ}\text{C}] \quad (3.4)$$

Finalmente, aplicou-se a Equação 2.4 para calcular a potência térmica ( $Q_{\text{UTA sem rec.}} [\text{W}]$ ), considerando o caudal mássico total obtido ( $\dot{m}_{\text{total}} = \rho_{\text{total}} \cdot \dot{v}_{\text{total}}$ ) com  $\rho_{\text{total}}$  calculado usando a  $T_{\text{insuflação}}$  na Equação 3.3.  $\Delta T = T_{\text{insuflação}} - T_{\text{antes da bateria}}$ .

**Estimativa da potência térmica das UTAs com recuperador de calor do ar extraído em função da temperatura do ar exterior** - Este grupo inclui as UTAs que, sempre que termodinamicamente vantajoso, realizam a reutilização parcial do ar extraído do espaço interior, misturando-o com ar novo exterior antes da passagem pela bateria de aquecimento. Adicionalmente, quando a reciclagem não é energeticamente favorável, mas  $T_{\text{extraída}}$  se aproxima mais do valor de  $T_{\text{setpoint}}$  do que a  $T_{\text{exterior}}$ , o ar extraído passa por um recuperador de calor, cedendo parte da sua potência térmica ao ar novo que está a entrar na UTA, através do permutador Ar-Ar. A identificação das UTAs que operam segundo este regime foi realizada com base na configuração técnica dos equipamentos, correspondendo às seguintes unidades: UTA Ótica 3; Mecânica 2; I&D e Serviço Técnico. A Figura 3.12 ilustra os diferentes fluxos de ar possíveis no interior deste tipo de UTA, apresentando-os de forma esquemática para facilitar a compreensão e a visualização dos circuitos de insuflação, recirculação e extração de ar. Esta representação permite clarificar a forma como o ar é gerido e tratado dentro do sistema, evidenciando as etapas de mistura, condicionamento e eventual renovação do ar [7].

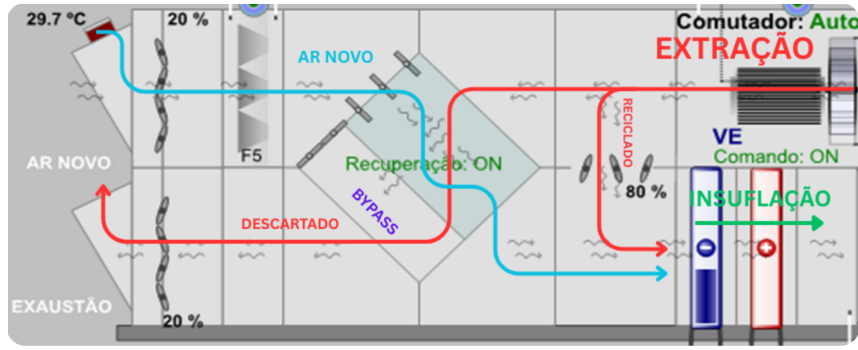


Figura 3.12: Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTA com recuperador de calor [7]

$T_{\text{extraída}}$  e  $T_{\text{exterior}}$  foram obtidas diretamente da GTC, enquanto a  $T_{\text{setpoint}}$  foi calculada conforme o método previamente descrito em 3.3.4.1. A  $\%_{\text{min de ar novo}}$  foi determinada segundo as 13 condições presentes no procedimento também já referido anteriormente em 3.3.4.1. Em equipamentos sem valor definido para a percentagem mínima de ar novo, quando energeticamente favorável, foi admitido o aproveitamento total do ar recirculado (100%).

Para decidir se o recuperador de calor deve estar ativo ou se o ar novo deveria passar pelo *bypass*, foi desenvolvido um código em *Python* que avaliou as condições para cada intervalo temporal, com base nos seguintes critérios:

De acordo com as fichas técnicas dos equipamentos, o recuperador apresenta diferentes rendimentos conforme o modo de operação — aquecimento ou arrefecimento — e  $T_{\text{exterior}}$ . A primeira etapa consiste em definir se o objetivo do recuperador é aquecer ou arrefecer o ar novo admitido, selecionando-se o respetivo modo operacional. Se  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}}$ , o recuperador funciona em modo aquecimento. Dentro deste modo, por exemplo, se  $T_{\text{exterior}} < 0^{\circ}\text{C}$ , o rendimento é de 78%, caso contrário é de 67%. Foi assumindo que os recuperadores se encontram devidamente mantidos e em condições normais de funcionamento. Para a definição do modo de operação das UTAs, aplicam-se as seguintes condições:

- Se  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}}$  e  $T_{\text{extraída}} > T_{\text{exterior}}$ , então existe recuperação de calor (modo de aquecimento) e o recuperador é ativado, sendo em seguida calculada a sua eficiência, dependendo de  $T_{\text{exterior}}$ .
- Se  $T_{\text{exterior}} > T_{\text{setpoint}}$  e  $T_{\text{extraída}} < T_{\text{exterior}}$ , indica que está em funcionamento o modo arrefecimento, onde o recuperador retira calor do ar exterior para fornecer ar mais fresco à saída da UTA, sendo em seguida calculada a sua eficiência, dependendo de  $T_{\text{exterior}}$ .
- Caso nenhuma das condições anteriores se verifique — ou seja,  $T_{\text{exterior}} > T_{\text{setpoint}}$  com  $T_{\text{extraída}} > T_{\text{exterior}}$ , ou  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}}$  com  $T_{\text{extraída}} < T_{\text{exterior}}$  — o recuperador permanece desligado e o ar novo passa diretamente pelo *bypass*.

O código *Python* que descreve este algoritmo e procede à análise destas condições para cada intervalo temporal encontra-se disponível no APÊNDICE A 5.3.6. Com base nas condições definidas anteriormente, calcula-se a  $T_{\text{após o recuperador}}$  segundo a Equação 3.5:

$$T_{\text{após o recuperador}} = T_{\text{exterior}} + \frac{\eta_{\text{permutador}}}{100} (T_{\text{extraída}} - T_{\text{exterior}}) [^{\circ}\text{C}] \quad (3.5)$$

onde  $\eta_{\text{permutador}}$  é o rendimento do recuperador. Caso o ar novo passe pelo *bypass*, aplica-se:

$$T_{\text{após o bypass}} = T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}] \quad (3.6)$$

O ventilador de insuflação pode, assim, fornecer três correntes de ar distintas misturadas: ar recirculado, ar novo a passar pelo recuperador e ar novo a passar pelo bypass. Os respetivos caudais volumétricos são determinados por:

$$\dot{v}_{\text{recuperador}} = \dot{v}_{\text{bypass}} = \dot{v}_{\text{total}} \times \frac{\% \text{ar novo}}{100} [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.7)$$

$$\dot{v}_{\text{recirculado}} = \dot{v}_{\text{total}} - \dot{v}_{\text{recuperador}} - \dot{v}_{\text{bypass}} [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.8)$$

As massas volúmicas ( $\rho$ ) do ar dos diferentes casos são calculadas pela Equação 3.3. Os caudais mássicos ( $\dot{m}$ ) correspondentes a cada corrente de ar são obtidos multiplicando os respetivos caudais volumétricos pelo respetivo valor de  $\rho$ . Com estes valores, é possível determinar a  $T_{\text{antes}}$  da bateria. Considerando o estado do recuperador:

- Se o recuperador estiver desligado:

$$T_{\text{antes da bateria}} = \frac{\dot{m}_{\text{bypass}} \cdot T_{\text{exterior}} + \dot{m}_{\text{recirculado}} \cdot T_{\text{extraída}}}{\dot{m}_{\text{bypass}} + \dot{m}_{\text{recirculado}}} [^{\circ}\text{C}] \quad (3.9)$$

- Se o recuperador estiver ligado:

$$T_{\text{antes da bateria}} = \frac{\dot{m}_{\text{recuperador}} \cdot T_{\text{após o recuperador}} + \dot{m}_{\text{recirculado}} \cdot T_{\text{extraída}}}{\dot{m}_{\text{recuperador}} + \dot{m}_{\text{recirculado}}} [^{\circ}\text{C}] \quad (3.10)$$

Finalmente com  $T_{\text{antes}}$  da bateria,  $T_{\text{insuflação}}$ ,  $\rho$  do ar na bateria calculada para  $T_{\text{insuflação}}$  e o  $\dot{v}_{\text{total}}$  de insuflação calcula-se a potência térmica das UTAs com recuperador de calor ( $Q_{\text{UTA com rec.}} [\text{W}]$ ) recorrendo à equação 2.4.

**Estimativa da potência térmica das UTAs que realizam o controlo da humidade em função da temperatura do ar exterior-** As quatro UTAs restantes — designadamente a UTA da Montagem Norte, Montagem Sul, Revestimento 1 e Revestimento 2 — climatizam espaços de produção nos quais o controlo da humidade é essencial. Para considerar o calor total transferido pela água quente na bateria para o ar, incluindo tanto o calor sensível como o calor latente, recorreu-se à utilização da entalpia para o cálculo da potência térmica em cada intervalo de tempo. Estes equipamentos estão equipados com sondas que medem a entalpia do ar extraído do espaço, a do ar de insuflação e a do ar novo/exterior.

Inicialmente, determinou-se a percentagem de ar novo presente no fluxo de insuflação em cada instante, seguindo o mesmo método aplicado às UTAs anteriores. A entalpia antes da bateria foi calculada pela Equação 3.11:

$$H_{\text{antes da bateria}} = \frac{\% \text{ar novo}}{100} \times H_{\text{exterior}} + \frac{\% \text{ar recirculado}}{100} \times H_{\text{extraído}} [\text{J}] \quad (3.11)$$

O caudal mássico de ar ( $\dot{m}$ ) foi obtido conforme os procedimentos já descritos em 3.3.4.1, sendo que o caudal volumétrico do ventilador de insuflação é constante.

Para determinar o modo de operação, verificou-se a relação entre a entalpia de insuflação e a entalpia antes da bateria: se  $H_{\text{insuflação}} > H_{\text{antes da bateria}}$ , significa que o sistema está a aquecer o ar, caso contrário, ocorre arrefecimento.

A potência térmica total transferida para o ar ( $Q_{\text{UTA com hum.}}$ ), que contempla o calor sensível e o calor latente, foi então calculada através da Equação 3.12:

$$Q_{\text{UTA com hum.}} = \dot{m} \times (H_{\text{insuflação}} - H_{\text{antes da bateria}}) [\text{W}] \quad (3.12)$$

**Estimativa da potência térmica das UTANs sem recuperador de calor do ar extraído em função da temperatura do ar exterior** - As UTANs deste grupo operam com a totalidade do ar extraído dirigida para o exterior e utilizam 100% de ar novo no circuito de insuflação. A identificação das UTANs que funcionam segundo este regime baseou-se na configuração técnica dos equipamentos, correspondendo às seguintes unidades: UTAN da Cozinha, Galvânica, Areamento, Máquinas 1, Máquinas 2 e Polimento. Importa referir que as UTANs das Máquinas 1 e 2 dispõem apenas de baterias de arrefecimento, por onde circula água refrigerada, não consumindo, assim, potência térmica produzida pelas bombas de calor, pelo que estas unidades foram excluídas da análise. A Figura 3.13 ilustra os diferentes fluxos de ar possíveis no interior deste tipo de UTAN, apresentando-os de forma esquemática para facilitar a compreensão e a visualização dos circuitos de insuflação e extração de ar. Esta representação permite clarificar a forma como o ar é gerido e tratado dentro do sistema, evidenciando as etapas de mistura e condicionamento do ar [7].

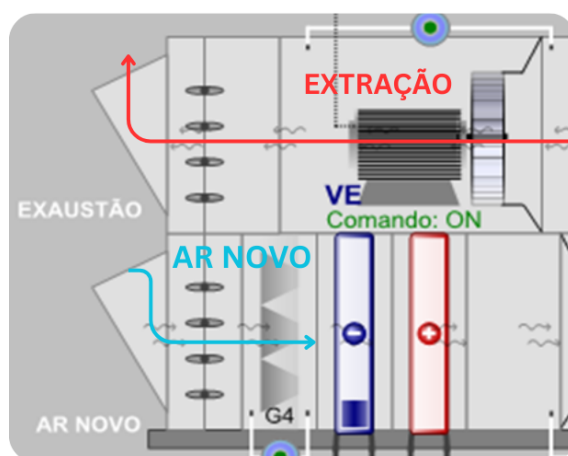


Figura 3.13: Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTAN sem recuperador de calor [7]

$T_{\text{exterior}}$  foi obtida através da GTC. Sendo o sistema alimentado exclusivamente por ar novo, considerou-se que a  $T_{\text{antes da bateria}} = T_{\text{exterior}}$ . Com o valor do  $T_{\text{setpoint}}$  determinado segundo o método previamente descrito em 3.3.4.1 e  $\rho$  do ar na bateria calculado conforme o procedimento anterior, procedeu-se ao cálculo da potência térmica ( $Q_{\text{UTAN sem rec. [W]}}$ ) fornecida, aplicando a equação 2.4.

**Estimativa da potência térmica das UTANs com recuperador de calor do ar extraído em função da temperatura do ar exterior** - As UTANs operam com a totalidade do ar extraído enviada para o exterior e utilizam 100% de ar novo no seu circuito de insuflação. Contudo, quando ocorre uma condição energeticamente favorável — nomeadamente, se  $T_{\text{exterior}} < T_{\text{setpoint}}$  e  $T_{\text{extraída}} > T_{\text{exterior}}$ , ou se  $T_{\text{exterior}} > T_{\text{setpoint}}$  e  $T_{\text{extraída}} < T_{\text{exterior}}$  — o recuperador de calor é ativado para transferir potência térmica entre o ar extraído e o ar novo. A identificação das UTANs que operam segundo este regime foi realizada com base na configuração técnica dos equipamentos, correspondendo às seguintes unidades: URC 1, 2 e 3. A Figura 3.14 ilustra os diferentes fluxos de ar possíveis no interior deste tipo de UTAN, apresentando-os de forma esquemática para facilitar a compreensão e a visualização dos circuitos de insuflação e extração de ar. Esta representação permite clarificar a forma como o ar é gerido e tratado dentro do sistema, evidenciando as etapas de mistura e condicionamento do ar [7].

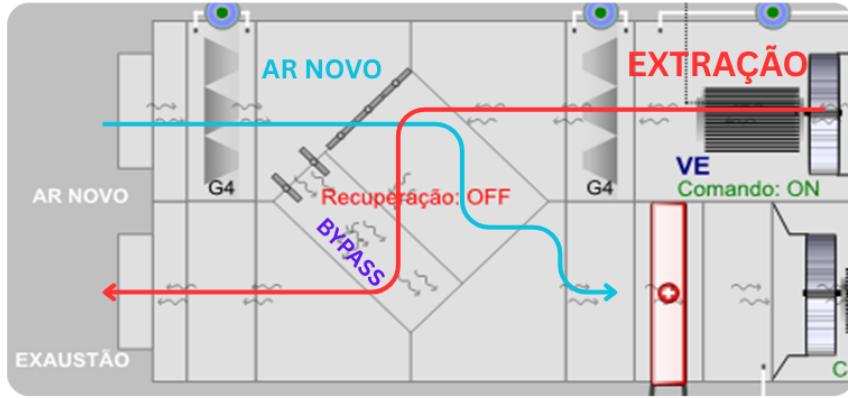


Figura 3.14: Diferentes fluxos de ar possíveis no interior de uma UTAN com recuperador de calor [7]

As temperaturas  $T_{\text{extraída}}$  e  $T_{\text{exterior}}$  foram obtidas a partir da GTC, enquanto  $T_{\text{setpoint}}$  foi determinado pelo método previamente apresentado para os outros equipamentos em 3.3.4.1. O rendimento do recuperador de calor foi retirado da respetiva ficha técnica, assumindo-se que o equipamento se encontra devidamente mantido e em condições normais de funcionamento.

A temperatura do ar imediatamente antes da bateria de aquecimento foi calculada conforme a Equação 3.13:

$$T_{\text{antes da bateria}} = T_{\text{exterior}} + \frac{\eta_{\text{recuperador}}}{100} (T_{\text{extraída}} - T_{\text{exterior}}) [^{\circ}\text{C}] \quad (3.13)$$

quando o recuperador está ligado.

Caso o recuperador não seja utilizado e o ar novo passe pelo bypass, aplica-se:

$$T_{\text{antes da bateria}} = T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}] \quad (3.14)$$

Posteriormente, calculou-se  $\rho_{\text{do ar}}$  na bateria seguindo o procedimento usado nas outras unidades para determinar os parâmetros termodinâmicos adequados. Finalmente, para cada intervalo temporal, calculou-se a potência térmica fornecida pela bateria de água quente ao ar insuflado ( $Q_{\text{UTAN com rec.}} [\text{W}]$ ) sempre que requerido, utilizando a equação 2.4.

Por fim, tornou-se possível calcular  $Q_{\text{AVAC Norte/Sul}}$  para cada intervalo de tempo, utilizando a Equação 3.15:

$$Q_{\text{AVAC Norte/Sul}} = Q_{\text{UTA sem rec.}} + Q_{\text{UTA com rec.}} + Q_{\text{UTAN com rec.}} + Q_{\text{UTAN sem rec.}} + Q_{\text{UTA com hum.}} [\text{W}] \quad (3.15)$$

**Estimativa da potência térmica a remover através das baterias de água refrigerada do circuito AVAC Norte e Sul em função da temperatura do ar exterior** - Graças à disponibilidade dos dados relativos ao funcionamento dos sistemas de arrefecimento, foi possível também calcular a potência térmica que deve ser removida pelas UTAs e UTANs do circuito AVAC Norte e Sul, para cada grau de temperatura exterior. Esta abordagem permite identificar, para cada condição climática, o valor médio de potência térmica a extrair dos espaços pelas unidades de tratamento de ar novo avaliadas, otimizando assim o dimensionamento e a operação dos sistemas de refrigeração, e garantindo o conforto climático nos espaços servidos por estas unidades. Estes resultados estão presentes no APÊNDICE B 5.3.6 e não são mencionados na estrutura principal da dissertação porque não contribuem para o objetivo da mesma.

### 3.3.4.2 Estimativa da potência térmica requerida pelos permutadores de calor do processo produtivo

As bombas de calor 2 e 3 alimentam dois permutadores de calor instalados na fábrica.

**Estimativa da potência térmica requerida pelo permutador *PP2* em função da temperatura do ar exterior** - O permutador *PP2* destina-se a transferir potência térmica da água aquecida, proveniente do coletor de avanço (mantida pelas bombas de calor), para uma linha de processo com requisitos de temperatura mais baixos. Neste sistema, a água entra tipicamente a cerca de  $60^{\circ}\text{C}$  do lado quente do permutador, sendo posteriormente aquecida até aproximadamente  $40^{\circ}\text{C}$  no lado de saída, antes de ser encaminhada para a zona do revestimento, onde serve para aquecer as máquinas APS (pulverização de plasma atmosférico). No ANEXO E 5.3.6 encontra-se a ficha técnica do equipamento.

Este permutador encontra-se instalado no interior da sala da central térmica, ambiente caracterizado por temperaturas relativamente elevadas e estáveis, o que torna desprezíveis as perdas térmicas para o ambiente, independentemente da temperatura exterior. Aquando da construção original da fábrica, o permutador foi dimensionado para operar com água proveniente de duas caldeiras em regime de entrada a  $80^{\circ}\text{C}$ , aquecendo a água do circuito oposto a  $50^{\circ}\text{C}$ . Com a substituição pelas bombas de calor, tal como já anteriormente referido, a temperatura de produção de água quente diminuiu, alterando assim as condições reais de funcionamento do permutador.

Com base nos registos históricos extraídos da GTC, foi possível obter a  $T_{\text{entrada}}$  e a  $T_{\text{saída}}$  da água no circuito aquecido pelo permutador — únicas temperaturas com registo de temperatura disponíveis na GTC.

O caudal da água circulante através do permutador varia consoante as necessidades térmicas do processo. Não existe, contudo, qualquer medidor de caudal ou sistema de monitorização que permita obter o histórico efetivamente direcionado para o permutador. Por forma a garantir uma abordagem conservadora nos cálculos, de modo a assegurar que a potência térmica instalada é suficiente para suprir todas as necessidades produtivas, considerou-se para efeitos de cálculo um caudal constante igual ao valor de projeto, correspondente ao dimensionamento inicial do equipamento,  $\dot{v} = 21[\text{m}^3/\text{h}]$ , que pode ser conferido no esquema de princípio da central térmica, presente no ANEXO B 5.3.6. Este caudal corresponde ao do circuito aquecido pelo permutador.

$T_{\text{saída}}$  nesta linha está atualmente programada para sair a  $40^{\circ}\text{C}$ . Utilizando os valores de temperatura de entrada e saída ( $\Delta T$ ), juntamente com o calor específico da água ( $c_p = 4,180 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ), o caudal volumétrico fixado e a massa volúmica da água considerada igual a  $983,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , foi determinado  $\dot{m}$  e calculou-se a potência térmica transmitida em cada intervalo de tempo ( $Q_{\text{Permutador, PP2}}$ ) recorrendo à Equação 2.4.

**Estimativa da potência térmica requerida pelo permutador *PP4* em função da temperatura do ar exterior** - O permutador *PP4*, atualmente em operação, é considerado fundamentalmente uma fonte de perda térmica no circuito. Localizado ao ar livre, este equipamento foi originalmente instalado devido à aquisição das UTAs do I&D e do Serviço Técnico, as quais foram dimensionadas para funcionar com água quente a cerca de  $45^{\circ}\text{C}$ , ao invés dos  $80^{\circ}\text{C}$  anteriormente fornecidos por duas caldeiras. Para salvaguardar a integridade destas UTAs, foi colocado um permutador capaz de reduzir a temperatura da água de  $80^{\circ}\text{C}$  para  $60^{\circ}\text{C}$ , valor considerado seguro e compatível com as características construtivas das baterias das UTAs. No ANEXO E 5.3.6 encontra-se a ficha técnica do equipamento.

Contudo, após a implementação das bombas de calor, que passaram a produzir água quente a  $60^{\circ}\text{C}$ , a presença deste permutador tornou-se dispensável, encontrando-se atualmente a operar num regime em que a água entra e sai do permutador sensivelmente à mesma temperatura, estando a aquecer o outro circuito a uma temperatura próxima dos 60 graus, sendo por isso apenas responsável por perdas para o exterior. Apesar de estas perdas serem praticamente insignificantes para a escala global da avaliação térmica, para garantir o rigor físico requerido, foi realizada uma estimativa da dissipação térmica para o exterior, em função da temperatura ambiente.

Para tal, foi solicitado ao fornecedor a quantificação da potência dissipada, tendo este indicado um valor de 15 W para uma temperatura exterior de 25°C. Face à ausência de mais informação específica, procedeu-se ao estudo do comportamento linear da dissipação térmica para diferentes valores de temperatura exterior. O primeiro passo consistiu na determinação do produto do coeficiente global de transferência de calor pela área do permutador ( $UA$ ) nas condições referidas, recorrendo à relação indicada acima pelo fornecedor. Admitiu-se, por simplificação e para garantir conservadorismo, que a água chega ao permutador a 60°C e que o valor de  $UA$  se mantém constante para os diversos valores de temperatura exterior avaliados.

A partir deste pressuposto, foi calculada a potência térmica dissipada ( $Q_{\text{Permutador, PP4}}$ ) para cada valor de temperatura exterior, recorrendo à equação do coeficiente global de transferência linear de calor  $Q = U \times A \times \Delta T$ . A Figura 3.15 representa a evolução linear da potência dissipada pelo permutador, em função da temperatura exterior [9].

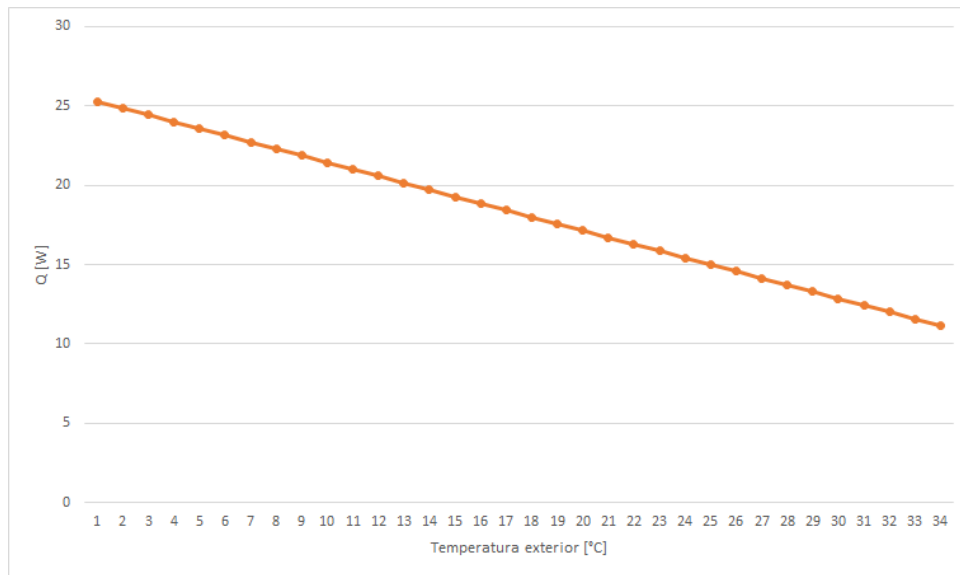


Figura 3.15: Evolução linear da potência térmica dissipada pelo Permutador  $PP4$ , em função de  $T_{\text{exterior}}$  [9]

Para determinar a potência térmica efetivamente dissipada a cada intervalo temporal avaliado ( $Q_{\text{Permutador, PP4}}$ ), foi realizada uma interpolação linear em função da temperatura exterior registada pela GTC em cada momento. Por exemplo, para uma temperatura exterior de 17,69°C, medida no intervalo de 01/09/2024 - 00:50:45h, aplicou-se a Equação 3.16:

$$Q_{17,69} = \frac{17,69 - 17}{18 - 17} \times (Q_{18} - Q_{17}) + Q_{17}[\text{W}] \quad (3.16)$$

Por fim, tornou-se possível calcular  $Q_{\text{Permutadores}}$  para cada intervalo de tempo:

$$Q_{\text{Permutadores}} = Q_{\text{Permutador, PP2}} + Q_{\text{Permutador, PP4}}[\text{W}]$$

### 3.3.4.3 Estimativa da potência térmica requerida pela climatização do espaço dedicado à pintura

A área da produção da pintura possui um conjunto de UTAs dedicadas exclusivamente à climatização e controlo de humidade dessas salas. No entanto, não existe qualquer tipo de documentação relativamente a estes equipamentos, inexistindo fichas técnicas e estando os mesmos fora do âmbito de registo e controlo da GTC.

Consequentemente, a GTC não disponibiliza informação sobre a temperatura de chegada e caudal ao coletor de retorno após passagem pelo circuito destas UTAs, nem dados relativos sobre a temperatura de extração, insuflação ou entalpia do ar processado por estes equipamentos.

Face a este constrangimento, optou-se por proceder a uma estimativa das necessidades térmicas máximas atribuídas, em conjunto, a estas UTAs — tratando o circuito associado à pintura como um todo, em vez de analisar equipamento a equipamento. Dada a inexistência de registo histórico quer do caudal, quer da temperatura de retorno ao coletor, foi assumida esta abordagem global e conservadora.

A partir da análise do esquema de princípio da central térmica, disponível no ANEXO B 5.3.6, foi possível identificar o caudal de projeto dimensionado para a tubagem alimentada pela bomba de circulação variável que transporta a água aquecida até às UTAs da pintura, sendo este  $\dot{v} = 10,9 \text{ m}^3/\text{h}$ . Com este valor e considerando a densidade da água, determinou-se  $\dot{m}$ , admitindo-se de forma conservadora que a bomba de circulação opera sempre com um caudal constante, igual ao nominal.

Dada a ausência de registos na GTC, admitiu-se que a  $T_{\text{saída AVAC Pintura}}$  é igual à  $T_{\text{coletor de retorno}}$  — parâmetro do qual existe histórico na GTC. Desta forma, definiu-se que o  $\Delta T_{\text{Pintura}} = T_{\text{coletor de avanço}} - T_{\text{coletor de retorno}}$ . Com estes dados, a potência térmica do circuito integral de AVAC dedicado à Pintura ( $Q_{\text{AVAC Pintura}}$ ) foi calculada para cada intervalo de tempo considerado, de acordo com a Equação 2.4.

### 3.3.4.4 Repartição da potência térmica produzida pelas bombas de calor 2 e 3

Após o cálculo individual da potência térmica necessária para a climatização dos vários subsistemas da fábrica —  $Q_{\text{AVAC Norte/Sul}}$ ,  $Q_{\text{Permutadores}}$  e  $Q_{\text{AVAC Pintura}}$  — tornou-se possível determinar a potência térmica horária total requerida às bombas de calor 2 e 3,  $Q_{\text{total}, 2,3}$ , através da aplicação da Equação 3.2 para cada intervalo temporal considerado.

Em cada intervalo de tempo, somaram-se os valores de potência térmica calculados para todas as UTAs e UTANs, permutadores PP2 e PP4, e para o sistema AVAC da zona da pintura, obtendo assim um valor horário integral de potência térmica  $Q_{\text{total}}$ . Esta potência foi associada à temperatura exterior correspondente ao horário em que foi calculada, permitindo traçar um perfil dinâmico das necessidades térmicas multizonas em função das variações da temperatura ambiente.

Para tal, agruparam-se todos os valores de  $Q_{\text{total}, 2,3}$  cuja temperatura exterior associada estivesse compreendida entre cada dois graus inteiros, por exemplo, de  $4^\circ\text{C}$  (inclusive) a  $5^\circ\text{C}$  (exclusivamente). Deste modo, calcula-se  $Q_{\text{médio}, 2,3}$  para  $T_{\text{exterior}} = 4^\circ\text{C}$  como sendo a média de todas as potências registadas para temperaturas exteriores nesse intervalo. Para além do valor médio, foi calculado também os valores máximo e mínimo de potência térmica para cada grau.

Finalmente foi realizada a média da potência térmica necessária para a climatização dos vários subsistemas da fábrica —  $Q_{\text{AVAC Norte/Sul}}$ ,  $Q_{\text{Permutadores}}$  e  $Q_{\text{AVAC Pintura}}$  — de maneira a obter a percentagem que cada subsistema consome face ao consumo total da potência térmica produzida pelas bombas de calor. Estas percentagens estão presentes no gráfico da Figura 3.16.

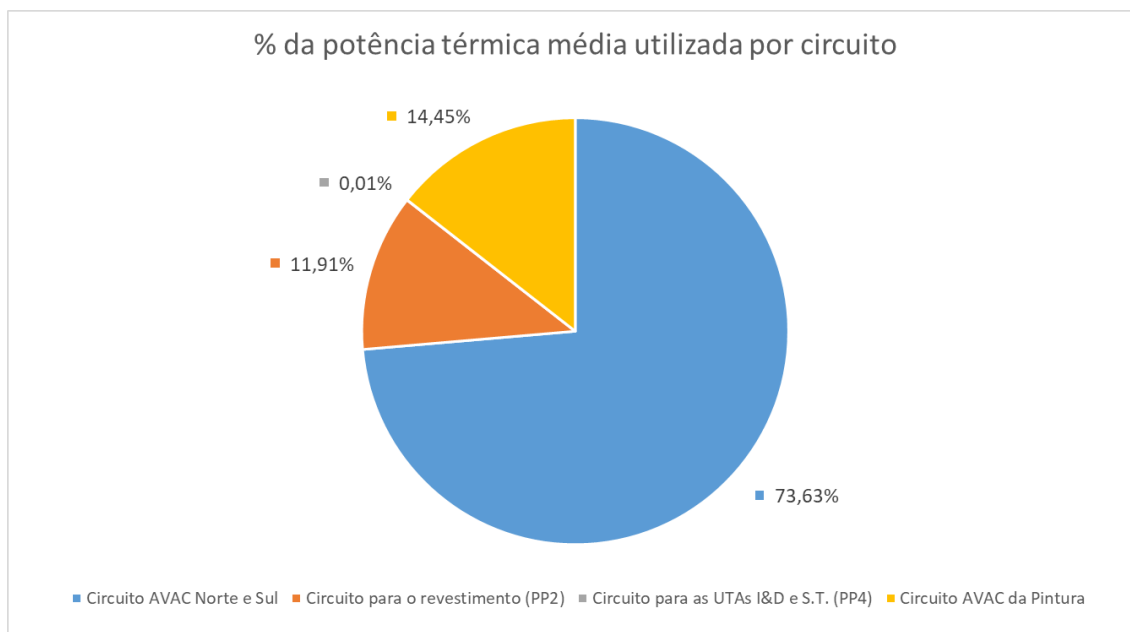


Figura 3.16: Percentagem da potência térmica utilizada por circuito [%] [9]

### 3.4 Análise do clima onde a fábrica se localiza

A análise do clima de Vila Nova de Famalicão assenta na avaliação da relevância térmica que cada intervalo de temperatura representa para o sistema de climatização da fábrica. Esta focou-se em encontrar as temperaturas exteriores mais comuns e que repetidamente determinam as necessidades térmicas da instalação, uma vez que a frequência com que ocorrem essas temperaturas acarreta uma maior repetição das condições térmicas internas e, conseqüentemente, maior impacto no consumo e desempenho do sistema.

A média de potência térmica produzida pelas bombas de calor 2 e 3 que se encontra disponível no gráfico da Figura 3.16, revela que os circuitos AVAC Norte e Sul respondem por 73,63% da energia térmica utilizada, alimentando as unidades de tratamento de ar responsáveis pelo aquecimento deste através das baterias. Para além disso, o circuito AVAC Pintura representa também uma fração significativa (14,45%) do consumo térmico total. Em conjunto, estes dois circuitos implicam cerca de 88% da potência térmica produzida, evidenciando que a climatização dos espaços produtivos é o principal consumidor de potência térmica das bombas de calor 2 e 3. Esta dependência da climatização face às condições exteriores justifica a avaliação da temperatura exterior, de modo a otimizar a resposta térmica para as condições reais de funcionamento, garantindo uma maior eficiência energética e conforto térmico adequado.

#### 3.4.1 Análise anual das temperaturas exteriores

Para fundamentar esta avaliação, foi obtido no site do DGEG o ficheiro Excel "*Climas SCE – Portuguese Climate Data for Building Simulation*" [14], que contém informação climática histórica de certos anos meteorológicos de todos os concelhos portugueses. Paralelamente, analisaram-se também os registos da temperatura exterior medidos pelas sondas instaladas na empresa. Ambos os conjuntos de dados apresentam medições horárias da temperatura, sendo que o ficheiro do DGEG foi feito em 2016 e refere-se ao ano climático típico, não correspondendo a dados atuais.

Desta base de dados extraiu-se a informação relativa a Vila Nova de Famalicão, situada a 94 metros de altitude acima do nível do mar, altitude esta aferida no próprio terreno da empresa através de um altímetro. A série da temperatura exterior da empresa abrange o intervalo temporal entre setembro de 2024 e os primeiros dias de maio de 2025.

## Métodos e Aplicação

Foi calculada a percentagem de ocorrência de cada grau registado em ambas as amostras e aplicada a recomendação não escrita do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), que estipula que, em locais onde a exigência climática é elevada, devem ser consideradas apenas as temperaturas exteriores cuja incidência seja igual ou superior a 1% do total do período estudado [42].

Analisando os dados extraídos, verifica-se que as temperaturas com incidência igual ou superior a 1% situam-se no intervalo entre 5°C e 29°C. Para os dados registados na empresa, as temperaturas variaram entre 1°C e 34°C, mas as que apresentam incidência superior ou igual a 1% situam-se no intervalo entre 5°C e 24°C. Estes dados estão demonstrados na Tabela 3.9, sendo os valores sombreados a verde os com incidência maior ou igual a 1%, e a vermelho os restantes valores de ocorrência. Por precaução, visando antecipar condições futuras potencialmente mais quentes devido ao aquecimento global, foi também considerada uma análise adicional para situações com temperaturas na ordem dos 30°C.

Tabela 3.9: Percentagem de ocorrência de cada grau de temperatura exterior estudado [9][14]

<b>T<sub>exterior</sub> [°C]</b>	<b>% de ocorrência (Empresa)</b>	<b>% de ocorrência (DGEG)</b>
1	0,0337	0,0228
2	0,1347	0,0342
3	0,3031	0,0571
4	0,5726	0,3196
5	1,4483	1,1758
6	1,8356	2,2146
7	2,3409	3,1849
8	3,0482	3,9155
9	4,9006	4,4635
10	5,3553	4,8630
11	7,1405	5,6050
12	7,9488	6,0274
13	9,1950	6,1301
14	8,9087	6,0274
15	8,4540	6,5753
16	6,2479	5,8904
17	6,9552	5,5023
18	6,1637	5,1027
19	5,5237	4,6461
20	3,8902	4,4635
21	2,2061	3,8699
22	1,7009	3,5959
23	1,5662	2,8311
24	0,9936	2,4315
25	0,9094	2,0776
26	0,7747	1,9521
27	0,4715	1,9635
28	0,3537	1,6667
29	0,2526	1,4612
30	0,1516	0,8790
31	0,0674	0,5708
32	0,0674	0,3425
33	0,0337	0,1370
34	0,0505	0,0000

### 3.4.2 Análise sazonal das temperaturas exteriores

De forma a facilitar a implementação das medidas de otimização das bombas de calor — nomeadamente a alteração do  $\Delta T$  e do setpoint da temperatura de saída do condensador — considerou-se que estas definições deveriam ser ajustadas manualmente por um operador, dado que a GTC não permite a modelação nem a alteração automática destes parâmetros. Para minimizar o esforço operacional e reduzir a probabilidade de erros humanos, optou-se por definir apenas quatro momentos ao longo do ano onde estas alterações seriam efetuadas, correspondendo ao início de cada estação meteorológica.

Com base no ficheiro Excel disponibilizado pela DGEG, os dados foram segmentados em quatro intervalos temporais correspondentes às estações do ano: Verão, a partir do dia 172 (21/06) até ao dia 265 (22/09); Outono, do dia 266 (23/09) ao dia 354 (20/12); Inverno, do dia 355 (21/12) ao dia 79 (20/03); e Primavera, do dia 80 (21/03) ao dia 171 (20/06).

Para cada um destes períodos, procedeu-se à medição da percentagem de ocorrência de cada valor de temperatura. Atendendo a que as necessidades de aquecimento para climatização — e, por conseguinte, o maior uso das bombas de calor 2 e 3 — ocorrem nos períodos de temperaturas exteriores mais baixas, foi selecionado o valor mais baixo de temperatura em cada estação que apresenta uma ocorrência igual ou superior a 1%. Esta escolha fundamenta-se na hipótese de que, se as bombas de calor conseguirem satisfazer as necessidades térmicas correspondentes a essa menor temperatura exterior, então terão capacidade suficiente para as restantes condições menos exigentes dentro da mesma estação.

Assim, as temperaturas exteriores mínimas de cada estação, com incidência igual ou superior a 1%, foram:

- **Verão:** 13°C
- **Outono:** 6°C
- **Inverno:** 4°C
- **Primavera:** 7°C

Combinando esta análise sazonal com as avaliações anuais anteriores, adotou-se o intervalo entre 4°C e 30°C como o conjunto representativo de temperaturas exteriores relevantes para o estudo e otimização do sistema térmico da fábrica.

### 3.4.3 Análise mensal das temperaturas exteriores

Para que seja possível realizar uma avaliação comparativa precisa dos diferentes regimes operacionais propostos para as bombas de calor, tornou-se necessário quantificar de forma rigorosa a frequência de ocorrência de cada valor de temperatura exterior ao longo do período de análise. Esta caracterização é fundamental, uma vez que o impacto energético de cada regime está diretamente dependente do número de horas que é efetivamente solicitado.

A base de dados utilizada corresponde aos registos horários de temperatura exterior medidos no local, abrangendo o período de setembro de 2024 a abril de 2025. Para cada grau de temperatura dentro do intervalo considerado (4°C a 30°C), foi contabilizado o número exato de vezes em que esse valor se verificou em cada um dos meses analisados. Esses resultados estão expressos na Tabela 3.10.

Este processamento estatístico permitiu construir uma matriz de frequência mensal por grau de  $T_{exterior}$ , que serviu de suporte para o cálculo mensal e anual do consumo e dos custos energéticos para cada cenário alternativo, demonstrado no capítulo dos Resultados. Desta forma, cada regime estudado foi ponderado com base na distribuição real das necessidades térmicas ao longo do tempo, garantindo que as conclusões refletissem com o máximo de rigor o perfil climatérico e operacional do caso de estudo.

A análise da frequência de cada grau revela ainda padrões sazonais, permitindo, para além da avaliação energética, uma melhor fundamentação do planeamento de operação e da eventual estratégia de manutenção ou de otimização do sistema de climatização.

Tabela 3.10: Número de vezes por mês de ocorrência de cada grau de temperatura exterior estudado [9]

$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
4	0	0	0	12	8	12	2	0
5	0	0	0	33	19	21	13	0
6	0	0	0	44	33	23	9	0
7	0	0	0	53	27	30	18	11
8	0	2	4	56	37	25	36	21
9	2	10	3	78	49	51	67	31
10	3	18	13	56	54	42	105	27
11	2	16	38	65	85	82	82	46
12	11	15	32	74	83	97	73	77
13	28	21	60	70	106	94	70	75
14	38	37	79	70	95	64	59	62
15	48	35	81	60	93	46	55	66
16	56	37	100	31	22	41	33	42
17	76	90	88	19	13	27	28	62
18	72	127	76	13	1	9	30	31
19	88	135	33	1	0	5	25	34
20	50	91	44	0	0	3	10	29
21	43	35	20	0	0	0	7	19
22	35	23	19	0	0	0	4	17
23	39	20	16	0	0	0	3	15
24	28	9	11	0	0	0	4	7
25	28	12	3	0	0	0	2	9
26	26	7	0	0	0	0	2	11
27	14	4	0	0	0	0	2	8
28	11	1	0	0	0	0	2	7
29	8	0	0	0	0	0	2	5
30	3	0	0	0	0	0	0	6

### 3.5 Estimativa da eficiência da permuta de calor entre fluidos através das baterias água-ar

Embora, teoricamente, pela Equação 2.4 seja possível transferir a potência térmica da água diretamente para o ar através da bateria, a realidade apresenta algumas limitações. Ao diminuir a temperatura de entrada da água na bateria, esta aproxima-se da temperatura do ar na UTA, reduzindo o  $\Delta T$  entre os dois meios e, conseqüentemente, tornando a bateria menos eficiente na permuta de calor. A Equação 2.4 expressa a potência térmica que a água liberta ao passar pela bateria, porém a transferência efetiva de calor entre a água e o ar é representada pela Equação 2.9, onde  $UA$  é o produto do coeficiente global de transferência de calor pela área da bateria e  $\Delta T_{\text{ln}}$  é a diferença média logarítmica de temperatura entre a água e o ar. O processo de transferência de calor na bateria envolve várias etapas sequenciais: inicialmente ocorre convecção entre a água e as superfícies internas da bateria, seguida de condução térmica através dos componentes sólidos que a constituem, e finalmente, convecção da superfície exterior da bateria para o ar que a atravessa [2].

As baterias de água de todas as UTAs e UTANs, exceto as dos serviços de I&D e Serviço Técnico, foram dimensionadas para operar com água a entrar na bateria a cerca de  $80^{\circ}\text{C}$  e a sair, no regime de  $\Delta T$  máximo, a  $60^{\circ}\text{C}$ , refletindo o regime existente à data da instalação, quando a água quente era produzida por caldeiras a essa temperatura. As UTAs do I&D e do Serviço Técnico — equipamentos mais recentes — foram projetadas para um regime inferior, com temperatura de entrada da água na bateria em torno dos  $45^{\circ}\text{C}$  e temperatura de saída de aproximadamente  $40^{\circ}\text{C}$ .

Para facilitar a compreensão, considere-se um exemplo em que a temperatura do ar antes da bateria é de  $10^{\circ}\text{C}$  e a temperatura do ar insuflado, após a bateria, é de  $20^{\circ}\text{C}$ . Se a água entrar na bateria a  $80^{\circ}\text{C}$  e sair a  $60^{\circ}\text{C}$ , a diferença média logarítmica de temperatura ( $\Delta T_{\text{ln}}$ ) entre os fluidos é calculada pela Equação 3.17:

$$\Delta T_{\text{ln}} = \frac{(T_{\text{entrada água}} - T_{\text{saída ar}}) - (T_{\text{saída água}} - T_{\text{entrada ar}})}{\ln \left( \frac{T_{\text{entrada água}} - T_{\text{saída ar}}}{T_{\text{saída água}} - T_{\text{entrada ar}}} \right)} = 54,85^{\circ}\text{C}. \quad (3.17)$$

Nas mesmas condições de aquecimento do ar (ou seja, de 10°C para 20°C), mas com a água a entrar a 60°C e a sair a 56,4°C — valores atuais de setpoint das bombas de calor onde o  $\Delta T$  é máximo, assumidos por falta de registos de temperatura em cada UTA — o  $\Delta T_{in}$  reduz-se para 43,12°C. Esta diminuição traduz uma redução significativa da potência térmica efetivamente transferida da água para o ar.

Como o objetivo desta dissertação é analisar a temperatura mínima de entrada de água na bateria (isto é, a temperatura mínima de produção das bombas de calor 2 e 3), sabendo que o respetivo  $\Delta T$  máximo da bomba de calor é de 15°C [8] — menor do que o  $\Delta T$  máximo de 20°C usado para o dimensionamento das UTAs e UTANs dimensionadas para serem alimentadas por uma caldeira — esta redução da potência térmica efetiva transmitida entre os fluidos tenderá a aumentar, influenciando diretamente o desempenho do sistema.

Dado o impacto da diminuição da diferença de temperaturas sobre a transferência de potência térmica entre a água e o ar, tornou-se essencial averiguar se a potência efetivamente transferida pela bateria em cada intervalo de tempo é suficiente — isto é, se  $Q_{\text{água} \rightarrow \text{ar}}$  é maior ou igual à potência térmica necessária para aquecer o ar e permitir que atinja a temperatura de insuflação definida. Para tal, a abordagem metodológica contemplou os seguintes passos principais:

1. Foram definidas as condições de funcionamento a ser testadas, ou seja, os possíveis novos regimes das bombas de calor 2 e 3. Foram consideradas diferentes opções para a temperatura de saída da bomba de calor (e entrada na bateria), assumindo que estas se mantêm sensivelmente idênticas devido ao bom isolamento térmico das tubagens. Os valores analisados já foram mencionados e estão presentes na Tabela 3.5, acrescentando a avaliação do regime atual.
2. É importante notar que as UTAs do I&D e do Serviço Técnico foram especificamente dimensionadas para operar com temperatura de entrada de água quente na bateria de 45°C e  $\Delta T$  de 5°C, devido a terem sido instaladas mais recentemente. Ao funcionar com  $\Delta T$  de 10 ou 15°C e temperatura de entrada igual ou superior a 45°C — como ocorre nesta avaliação — as baterias destas unidades tenderão a transferir mais calor ao ar, devido ao aumento do  $\Delta T_{in}$ . Adicionalmente, foi considerado que a operação destas UTAs com temperatura de entrada até 60°C (situação em que já operam atualmente) não compromete a sua integridade ou vida útil, mantendo-se dentro dos limites de projeto sem risco de dano mecânico.
3. Para cada hora do intervalo temporal estudado (de setembro de 2024 a abril de 2025), foram avaliados quais os intervalos que devem ser considerados, tendo em conta o valor da temperatura exterior registada. Conforme estabelecido anteriormente em 3.4, apenas as horas correspondentes a temperaturas exteriores compreendidas entre 4°C e 30°C foram incluídas na análise, considerando-se ainda os valores entre 30°C e 31°C (não inclusive).
4. Procedeu-se à pesquisa e análise da ficha técnica de uma das baterias de água presentes nas UTAs da fábrica. Esta bateria é representativa do universo estudado, dado que todas as restantes unidades partilham o mesmo fabricante e foram instaladas na mesma época, garantindo a homogeneidade dos equipamentos considerados. Na referida ficha técnica, presente no ANEXO F 5.3.6, identificou-se uma tabela que apresenta os coeficientes de correção aplicáveis às potências térmicas, calculados pelo próprio fabricante para diferentes condições de entrada e saída de água e ar. No contexto da presente análise, admitiu-se, por falta de informação mais específica, que estes coeficientes podem ser utilizados para todas as baterias da instalação. A Tabela 3.11 representa a encontrada no catálogo [15].

Tabela 3.11: Coeficientes de correção da potência calorífica das baterias de água [15]

		Temperatura de entrada e saída da água na bateria [°C]									
		45/40	50/30 e 50/45	60/40	65/45	70/50	75/55	80/60	85/65	90/70	95/75
Temperatura de entrada do ar na bateria [°C]	-15	0,8	0,87	1	1,07	1,15	1,23	1,3	1,38	1,45	1,52
	-10	0,73	0,8	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3	1,38	1,45
	-5	0,67	0,73	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3	1,38
	0	0,6	0,67	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3
	5	0,53	0,6	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23
	10	0,47	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15
	15	0,49	0,47	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07
	20	0,33	0,49	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1
	25	0,27	0,33	0,39	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92
	30	0,2	0,27	0,31	0,39	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84

No entanto, a tabela disponibilizada pelo fabricante contempla apenas coeficientes de correção para alguns regimes de funcionamento estudados, nomeadamente para temperaturas de entrada e saída de água na bateria nos intervalos de 45/40°C e 50/45°C. Tal limitação resulta do facto de estas baterias terem sido inicialmente projetadas para operar com água produzida por caldeiras, a temperaturas superiores a 60°C e com diferenças de temperatura entre a entrada e a saída da bateria maiores que 15°C, sendo este o foco dos ensaios realizados pelo fabricante.

Para os restantes cenários previstos na avaliação, foi necessário recorrer a métodos de interpolação e extrapolação com base nas relações observadas na tabela original do fabricante. Estas relações foram calculadas e validadas através de um código desenvolvido em *Python*, que se encontra descrito no APÊNDICE A 5.3.6. A Tabela 3.12 apresenta os resultados deste código, sendo os seus valores teoricamente corretos e consistentes, podendo, portanto, ser considerada adequada à realidade dos equipamentos instalados e utilizada nos cálculos subsequentes. A cinzento estão representados os valores obtidos diretamente da Tabela 3.11 sem qualquer tipo de interpolação ou extrapolação, a amarelo são os regimes obtidos através de extrapolação e a azul os obtidos através de interpolação.

Tabela 3.12: Coeficientes de correção da permuta de calor para diferentes regimes de água e temperaturas de entrada de ar [9]

		Temperatura de entrada e saída da água na bateria [°C]													
		45/40	45/35	45/30	45/25	50/45	50/40	50/35	55/50	55/45	55/40	60/55	60/50	60/45	60/56
Temperatura de entrada do ar na bateria [°C]	-5	0,67	0,669	0,672	0,675	0,73	0,726	0,727	0,806	0,791	0,781	0,884	0,869	0,853	0,887
	0	0,6	0,603	0,61	0,614	0,67	0,658	0,659	0,738	0,722	0,709	0,813	0,796	0,777	0,817
	5	0,53	0,535	0,546	0,552	0,6	0,585	0,588	0,669	0,651	0,637	0,743	0,724	0,704	0,747
	10	0,47	0,483	0,486	0,491	0,53	0,522	0,524	0,599	0,576	0,563	0,675	0,654	0,63	0,679
	15	0,49	0,452	0,442	0,443	0,47	0,49	0,485	0,544	0,518	0,504	0,61	0,588	0,557	0,613
	20	0,33	0,367	0,397	0,393	0,49	0,425	0,433	0,496	0,479	0,446	0,542	0,52	0,486	0,545
	25	0,27	0,275	0,295	0,306	0,33	0,324	0,328	0,411	0,383	0,362	0,467	0,444	0,412	0,47
	30	0,2	0,203	0,214	0,219	0,27	0,251	0,252	0,329	0,304	0,283	0,389	0,368	0,34	0,392

- Após a obtenção dos coeficientes de correção para os regimes de funcionamento a avaliar, estes foram atribuídos a cada intervalo temporal considerado para cada UTA ou UTAN avaliada. Esta atribuição baseou-se na correspondência entre o valor da temperatura do ar antes de passar pela bateria da Tabela 3.12 (especificamente os valores de -5°C, 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C e 30°C) e a temperatura antes da bateria calculada anteriormente em 3.3.4.1 para cada intervalo de tempo. Por exemplo se uma  $T_{\text{antes da bateria}} = 16,8^{\circ}\text{C}$ , então o coeficiente desse intervalo de tempo encontra-se na linha da tabela onde  $T_{\text{entrada ar}} = 15^{\circ}\text{C}$ , dado que é o valor tabelado mais próximo do pretendido. Além disso, a seleção do coeficiente também teve em consideração as temperaturas de entrada e saída da água de cada regime em análise.

6. Recorrendo ao coeficiente de correção selecionado, procedeu-se ao cálculo da potência térmica transferível pela bateria para cada intervalo de tempo. De acordo com a ficha técnica do fabricante [15], esta potência é obtida multiplicando-se a potência térmica nominal ( $Q_{\text{nominal}}$ ), para a qual a bateria foi dimensionada, pelo coeficiente de correção correspondente ao novo regime de operação, conforme a Equação 3.18.

$$Q_{\text{água} \rightarrow \text{ar}} = Q_{\text{nominal}} \times (\text{coeficiente de correção})[\text{W}] \quad (3.18)$$

7. Efetuou-se a comparação entre a potência térmica transferível calculada ( $Q_{\text{água} \rightarrow \text{ar}}$ ) e a potência térmica necessária ( $Q_{\text{necessária}}$ ) previamente determinada para cada intervalo de tempo de cada UTA/UTAN em 3.3.4.1, avaliando se  $(Q_{\text{necessária}} - Q_{\text{água} \rightarrow \text{ar}})/Q_{\text{necessária}} * 100 \geq 10\%$ . De modo a contemplar as incertezas associadas às medições das sondas e às hipóteses adotadas, atribuiu-se também o estatuto de "funcional" às situações em que a potência térmica transferível é até 10% inferior à potência térmica necessária. Esta margem de tolerância justifica-se por vários fatores: a imprecisão nas leituras das sondas e demais medições, o desconhecimento do método específico de captação de ar novo adotado pelos *dampers* das UTAs e UTANs (tendo-se assumido que operam com prioridade de otimização energética através das 13 condições definidas em 3.3.4.1) e, finalmente, o erro inerente aos processos de interpolação e extrapolação dos coeficientes utilizados a partir da tabela original do fabricante.
8. Procedeu-se a uma análise quantitativa para cada UTA e UTAN, calculando-se a percentagem de tempo em que a potência térmica necessária excedeu em mais de 10% a potência térmica transferível pela bateria, para cada regime avaliado. Se para um dado regime essa percentagem ultrapassa os 10% do tempo total, significando que durante mais de 10% do período a bateria não conseguiu elevar suficientemente a temperatura do ar para cumprir com as exigências de climatização, então o referido regime foi considerado inválido para operação nesse equipamento. A escolha da tolerância de 10% baseia-se em boas práticas reconhecidas na área de AVAC, que ensinam que sistemas de climatização devem assegurar a estabilidade térmica na esmagadora maioria do tempo, admitindo-se pequenas margens para variações devido a fatores externos ou operacionais, sem comprometer a qualidade geral do ambiente interno. Esta margem equilibra rigidez e realismo prático, permitindo algum grau de flexibilidade operacional sem perda significativa de desempenho [27].
9. Dado que nem todos os espaços climatizados possuem a mesma relevância para o desempenho global da fábrica, foram acordados com a empresa dois métodos distintos para ponderar a importância relativa das diferentes UTAs e UTANs no cálculo da percentagem global de instantes em que  $(Q_{\text{necessária}} - Q_{\text{água} \rightarrow \text{ar}})/Q_{\text{necessário}} * 100 \geq 10\%$ . Este procedimento visou evitar que unidades responsáveis por zonas menos críticas pudessem desproporcionalmente influenciar o resultado final da avaliação, em detrimento daquelas que afetam diretamente a qualidade do processo produtivo.

O **primeiro critério**, considerado crítico, baseou-se na relevância funcional do espaço climatizado: as UTAs que condicionam zonas cuja temperatura exerce influência direta no processo produtivo e no conforto dos operadores foram atribuídas o valor 1, enquanto as restantes receberam o valor 0.

O **segundo critério** considerou a potência térmica dimensionada das baterias associadas a cada UTA, partindo do pressuposto não rigoroso de que uma maior potência está correlacionada com um maior volume de espaço climatizado e número de ocupantes, refletindo assim maior importância prática. Foi atribuído o valor 0 à UTA com a menor potência instalada, 1 há que detém a maior potência, e os demais equipamentos receberam valores interpolados linearmente entre 0 e 1. Na Tabela 3.13 está representado os coeficientes/classificações atribuídas a cada equipamento para cada um dos critérios.

Posteriormente, calculou-se a média ponderada da percentagem de falhas para cada critério e regime de operação. Por conservadorismo, é considerado o critério que apresenta a maior percentagem de não aceitação, garantindo uma avaliação rigorosa e segura da aptidão dos regimes estudados para todos os equipamentos da instalação.

Tabela 3.13: Classificações atribuídas a cada equipamento [9]

Equipamento	Critério 1	Critério 2
URC 1	0	0
URC 2	0	0,009656652
URC 3	0	0,020118026
Mecânica 2	0	0,048283262
Ótica 3	1	0,027548283
Cantina	0	0,128218884
Centragem	1	0,153165236
Colagem	1	0,071620172
Mecânica	1	1
Montagem Norte	1	0,369903433
Montagem Sul	1	0,448229614
Ótica 1	1	0,40638412
Ótica 2	1	0,40638412
Revestimento 1	1	0,123927039
Revestimento 2	1	0,123927039
Areamento	1	0,179682403
Cozinha	0	0,079935622
Polimento	1	0,361319742

### 3.6 Proposta de alteração do regime de funcionamento das bombas de calor

Tendo sido determinado o valor da potência térmica média necessária ( $Q_{\text{necessária}}$ ) para satisfazer as necessidades de climatização em cada grau de temperatura exterior em 3.3.4.4, e dispondo dos diferentes regimes e respetivas propriedades de operação das bombas de calor fornecidas pelo fabricante (Tabelas no ANEXO D 5.3.6), **procedeu-se à avaliação do regime ideal para cada cenário de temperatura exterior**. O objetivo principal desta análise foi garantir, para cada grau avaliado, duas condições essenciais: **(1)** que a potência térmica gerada pelas bombas de calor seja superior à necessária ( $Q_{\text{produzida}} > Q_{\text{necessária}}$ ) e **(2)** que o regime selecionado resulte no menor consumo elétrico possível.

Para assegurar o rigor e a exaustividade da análise, foi desenvolvido e utilizado um algoritmo em Python — cujo código integral está disponível no APÊNDICE A 5.3.6 — que executa a avaliação para cada grau de temperatura exterior, cruzando o valor de potência térmica requerida com as tabelas de propriedades de funcionamento das bombas de calor para os vários regimes estudados.

Importa referir que, na presente análise, apenas foram considerados regimes de funcionamento previamente validados, cujos cálculos encontram-se detalhados em 3.5. Esta opção resulta diretamente da influência crítica que o regime operacional das bombas de calor exerce sobre a capacidade efetiva das baterias das UTAs e UTANs para transferirem calor. A adoção deste filtro na análise assegura que, para cada grau de temperatura exterior, apenas são propostos regimes que respeitam os limites técnicos e funcionais do sistema.

Isto evita situações em que a bomba de calor, apesar de ser capaz de gerar  $Q_{\text{produzida}}$  suficiente, não garante que a transferência efetiva desse calor para o ar, por intermédio das baterias, seja realizada com eficiência suficiente para satisfazer os requisitos de climatização da instalação. Deste modo, a metodologia adotada salvaguarda o desempenho real do sistema, assegurando o correto abastecimento térmico e evitando sub dimensionamentos ou ineficiências provenientes de escolhas de regimes que não sejam, na prática, compatíveis com a instalação.

Desta forma, foi possível atribuir, de forma automatizada e otimizada, o regime mais eficiente e adequado para cada faixa de temperatura exterior, garantindo sempre o compromisso entre a cobertura das necessidades térmicas e a eficiência energética.

### 3.6.1 Análise comparativa entre usar o bombeamento constante e variável

O estudo desenvolvido baseia-se numa metodologia de natureza comparativa, cujo objetivo central é avaliar diferentes cenários de operação da produção de água quente (cenário atual versus propostas de otimização), estimando as respetivas poupanças energéticas e económicas. De modo a tornar a análise mais completa, foi avaliada a hipótese de alterar o bombeamento constante que alimenta água para o evaporador e condensador das bombas de calor 2 e 3 por um bombeamento realizado por bombas de circulação com caudal variável, dado que este modelo de bomba de calor suporta essa opção.

Para garantir comparabilidade entre as alternativas de bombeamento constante e variável adotou-se a hipótese de “disponibilidade contínua” das bombas de calor ao longo dos períodos analisados, considerando a sua operação permanente sempre que necessário. Esta abordagem permite eliminar o efeito do ciclo real de funcionamento (*duty-cycle*), proporcionando uma comparação isenta das incertezas associadas à alternância real do ligar/desligar em campo. Dado não representar o consumo energético real, os consumos e custos obtidos não devem ser tomados como os reais de cada modo de operação, mas sim apenas para efeitos comparativos para a análise.

É fundamental referir que esta hipótese, embora não traduza o consumo real absoluto medido em ambiente fabril, assegura condições laboratoriais idênticas para todos os regimes, tornando robusta a avaliação relativa das poupanças. Em qualquer caso, a aquisição de registos experimentais reais permitirá, numa fase posterior, calibrar e validar a estimativa absoluta do consumo.

O processo de cálculo foi estruturado por mês (de setembro a abril), tendo-se determinado, para cada  $T_{\text{exterior}}$  observada durante o mês, a  $P_{\text{elétrica}}$  absorvida pela bomba de calor, multiplicando-se esta potência pela frequência de ocorrência da temperatura em questão. Esta frequência de ocorrência de temperaturas por mês foi obtida em 3.4.3 e está presente na Tabela 3.10.

Estes consumos foram depois valorizados economicamente tendo em conta o preço unitário da energia elétrica (€/kWh). Para cada mês, e para cada regime (atual, bombeamento constante e variável), obteve-se assim o custo mensal total. Finalmente, a poupança relativa percentual e o diferencial absoluto de custo (poupança), foram determinados para cada mês e para o período total.

Posteriormente multiplicaram-se os valores reais de energia elétrica consumida mensalmente pelas bombas de calor 2 e 3, representados na Tabela 3.2, pelos valores médios mensais de poupança relativa percentual, obtendo-se uma estimativa do quanto as bombas teriam consumido na vida real se operassem no novo regime otimizado.

### 3.6.2 Estimativa da nova energia elétrica absorvida pelas bombas de circulação com o novo regime de caudal bombeado para as bombas de calor 2 e 3

Para estimar o impacto das alterações de caudal nas bombas de circulação do sistema de aquecimento, foi utilizada a **lei de afinidade das bombas de circulação**. Esta lei estabelece que, para sistemas cuja curva característica segue  $H \propto \dot{v}^2$  (típica de perdas em tubagens e válvulas), a potência hidráulica necessária para operar a bomba varia aproximadamente com o cubo do caudal:

$$P_{\text{bomba}} \propto \dot{v}^3$$

[43].

A aplicação prática desta relação assume as seguintes hipóteses explícitas [43]:

1. A curva hidráulica do sistema obedece à relação clássica  $H \propto \dot{v}^2$ , típica para redes de distribuição com predominância de perdas quadráticas e sistemas fechados de circulação.
2. As alterações de caudal resultam de mudanças na rotação/velocidade do impulso do fluido, mantendo a geometria e configuração hidráulica do circuito inalterada.
3. Não foram incluídas neste cálculo variações na eficiência da bomba e do motor ( $\eta_{\text{pump}}$ ,  $\eta_{\text{motor}}$ ), nem perdas associadas a variadores, podendo estes fatores reforçar ou atenuar os resultados estimados.
4. O tempo de operação considerado mantém-se constante, ou seja, o número de horas de funcionamento não se altera.

O seu procedimento foca-se nos seguintes passos [43]:

Primeiro, determina-se a razão entre o caudal novo e o caudal antigo da bomba de circulação através da Equação 3.19:

$$r_c = \frac{\dot{v}_{\text{novo}}}{\dot{v}_{\text{atual}}} \quad (3.19)$$

Depois, segundo a lei de afinidade, a potência elétrica absorvida pela bomba de circulação varia com o cubo da razão de caudais, como demonstra a Equação 3.20:

$$\frac{P_{\text{novo}}}{P_{\text{atual}}} = r_c^3 \quad (3.20)$$

Para calcular a percentagem de redução da potência elétrica absorvida, utiliza-se a Equação 3.21:

$$\text{Redução} = (1 - r_c^3) \times 100\% \quad (3.21)$$

Para calcular a percentagem de aumento da potência elétrica absorvida, utiliza-se a Equação 3.22:

$$\text{Aumento} = (r_c^3 - 1) \times 100\% \quad (3.22)$$

## 4 Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos na análise da produção térmica da fábrica em função da temperatura exterior, avaliando os custos operacionais atuais e dos novos regimes propostos. Inclui a avaliação e atribuição dos regimes ótimos para cada grau de temperatura exterior, bem como a comparação detalhada entre os regimes de bombeamento constante e variável, culminando na recomendação da solução mais viável.

### 4.1 Potência térmica de aquecimento estimada em função da temperatura exterior

Como foi realizado em 3.3.4.4, o gráfico da Figura 4.1 e a Tabela 4.1 mostram a potência térmica média por grau de temperatura exterior. O gráfico também mostra a potência térmica máxima e mínima porém estas métricas revelaram-se incoerentes e pouco representativas, devido à grande dispersão dos dados e ao elevado número de amostras, pelo que não foram consideradas para efeitos de dimensionamento nem de validação final.

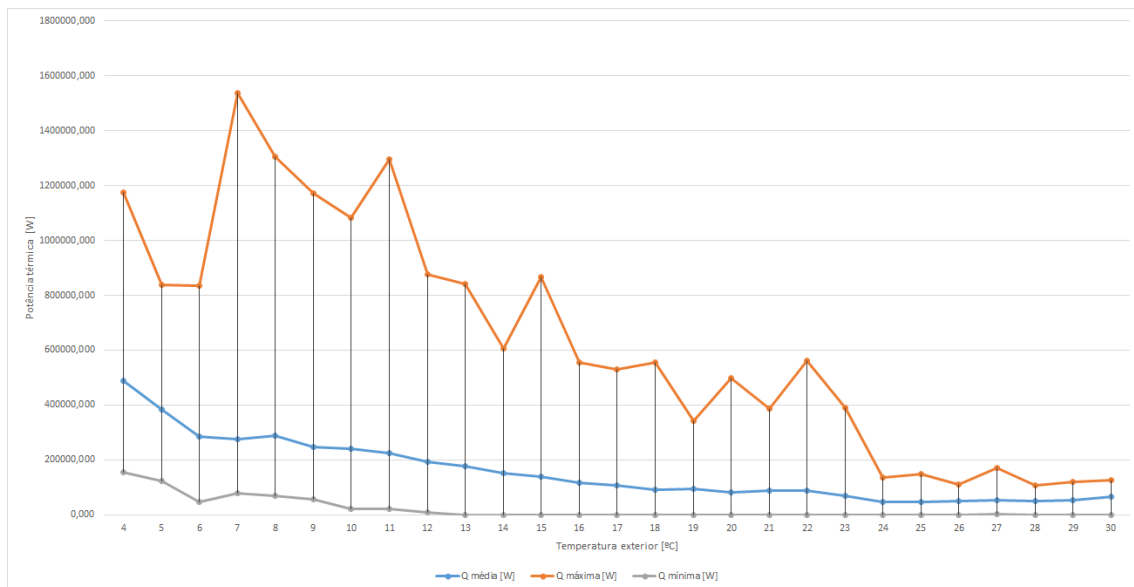


Figura 4.1:  $Q_{\text{média}}$  necessária,  $Q_{\text{máxima}}$  necessária e  $Q_{\text{mínima}}$  necessária de aquecimento da fábrica em função da temperatura exterior [9]

Tabela 4.1:  $Q_{\text{média necessária}}$  de aquecimento da fábrica em função da temperatura exterior [9]

$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	$Q_{\text{média necessária}} [\text{W}]$
4	489797
5	385274
6	284190
7	274252
8	287663
9	248421
10	241186
11	226333
12	194355
13	176572
14	152783
15	137862
16	115995
17	108932
18	93019
19	93212
20	82035
21	88717
22	89885
23	70432
24	46954
25	47778
26	49157
27	53147
28	50794
29	52007
30	64782

Analisando a Figura 4.1, observa-se claramente uma tendência decrescente da potência térmica média necessária à medida que a temperatura exterior aumenta, especialmente nas temperaturas mais baixas. Para temperaturas entre  $4^{\circ}\text{C}$  e  $11^{\circ}\text{C}$ , as necessidades térmicas são significativamente superiores, ultrapassando os 200 kW. Este facto confirma a **forte dependência entre a carga térmica requerida e a temperatura exterior**, evidenciando que os sistemas de climatização são submetidos a esforços mais intensos nos períodos mais frios.

Quando a temperatura exterior ultrapassa os  $17^{\circ}\text{C}$ ,  $Q_{\text{média necessária}}$  tende a estabilizar em valores bastante inferiores, abaixo dos 100 kW, com maior variabilidade nos valores individuais, o que pode resultar de fatores internos específicos do processo produtivo, ocupação ou ganhos térmicos associados a cada intervalo.

Apesar da tendência global da diminuição das necessidades de potência térmica média à medida que a temperatura exterior aumenta, ocorrem pontualmente valores mais elevados para determinados intervalos de temperatura exterior superior, por exemplo para  $30^{\circ}\text{C}$ . Estes desvios podem ser justificados pelo contributo das UTAs responsáveis pelo controlo da humidade do ar. Estes sistemas, ao realizarem processos de humidificação ou desumidificação, podem requerer potência térmica adicional, pois para adicionar ou retirar humidade ao ar ambiente implica frequentemente utilizar sistemas de aquecimento, independentemente da temperatura exterior.

Por exemplo, muitas vezes ao condensar vapor de água (diminuir a humidade presente no ar), a temperatura do ar torna-se demasiado baixa para ser insuflada, o que faz com que a bateria de aquecimento seja usada para elevar a temperatura para uma mais adequada.

Em síntese, a análise confirma que **a temperatura exterior é o fator dominante na determinação da potência de aquecimento necessária, sobretudo nos períodos de maior frio, mas não é o único influenciador do balanço térmico geral**. Fatores internos da fábrica e o funcionamento das UTAs em regime de controlo de humidade podem, em determinados períodos, aumentar a necessidade de potência térmica, o que reforça a importância de uma monitorização e dimensionamento rigorosos do sistema de climatização.

## 4.2 Valores de operação das bombas de calor em função da temperatura exterior no regime atual

Para cada temperatura exterior, calculou-se a percentagem de produção das bombas de calor 2 e 3 necessária para cobrir  $Q_{\text{necessária}}$ . Sabendo que a potência térmica nominal produzida por cada bomba de calor nas condições atuais (temperaturas de entrada e saída no condensador de 56,4°C e 60°C, respetivamente) é  $Q_{\text{máxima}} = 349,11$  [kW], definiu-se a percentagem de uso da bomba de calor com a Equação 4.1 .

$$\%_{\text{uso da bomba}} = \frac{Q_{\text{necessária}}}{349,11} \times 100. \quad (4.1)$$

Como existem duas bombas de calor idênticas dedicadas ao circuito, a percentagem máxima de uso pode atingir os 200%, correspondendo à operação simultânea das duas bombas de calor em condições nominais. Esta percentagem de uso das bombas face a potência térmica média a produzir para cada grau de temperatura exterior considerado está presente no gráfico da Figura 4.2. A partir dos dados da Tabela 3.7 e da associação da percentagem de uso a cada temperatura exterior, estimou-se a potência elétrica absorvida pelo sistema através do polinómio de terceiro grau, presente na Equação simplificada 4.2, obtido a partir dos valores da Tabela 3.7.

$$P_{\text{elétrica}} = 9 \times 10^{-5} \times (\% \text{ de carga})^3 - 0,0164 \times (\% \text{ de carga})^2 + 1,8287 \times (\% \text{ de carga}) - 4,014 \text{ [kW]} \quad (4.2)$$

Permitindo assim estimar a potência elétrica absorvida pelo conjunto das bombas de calor para cada temperatura exterior considerada. No APÊNDICE C 5.3.6 encontra-se o gráfico que relaciona a percentagem de carga das bombas de calor com o seu consumo elétrico, baseado neste polinómio. Convém referir que esta potência elétrica absorvida é a da bomba de calor, não incluindo mais nenhuma potência absorvida, como as bombas de circulação.

Com os valores de  $Q_{\text{média necessária}}$  e  $P_{\text{elétrica absorvida}}$  estimados, calculou-se o COP das bombas de calor a operar nas condições atuais para cada grau.

Para simplificar e uniformizar o cálculo do custo de operação da bomba de calor em função da temperatura exterior, considerou-se que, para cada grau de temperatura exterior analisado, as bombas de calor permanecem em funcionamento durante uma hora, a uma percentagem de carga ajustada à necessidade térmica desse ponto.

Por exemplo, quando a temperatura exterior é igual a 4°C, é necessário fornecer uma potência térmica de  $Q = 489,796$  kW, sendo a potência elétrica absorvida correspondente  $P_{\text{elétrica}} = 153,777$  kW, a energia elétrica consumida nesse cenário é assumida como  $E_{\text{elétrica}} = 153,777$  kWh para essa hora de funcionamento. O custo é então obtido multiplicando esta energia elétrica de referência pelo valor unitário do kWh. Este critério foi adotado para possibilitar comparações diretas entre o regime atual e os restantes regimes alternativos avaliados, permitindo uma análise consistente e objetiva do impacto operacional e económico de cada solução, mesmo sabendo que, na operação real, o perfil temporal de funcionamento apresenta variações. O valor indicado pela empresa referente ao custo de cada kWh ronda os 0,12 €. Na Tabela 4.2 é possível observar as condições e custos atuais de operação da bomba de calor para cada grau de  $T_{\text{exterior}}$ .

## Resultados e Discussão

Como se verifica na Tabela 3.8, operar a bomba de calor numa faixa de carga entre 75% e 100% revela-se mais vantajoso, uma vez que é neste intervalo que se observam os valores de COP mais elevados. Deste modo, sempre que a análise à potência térmica média a fornecer para cada grau de temperatura exterior indicar a necessidade de utilização de mais do que 100% da capacidade de uma bomba de calor — ou seja, quando é exigida a operação de duas bombas de calor em simultâneo — admitiu-se que uma delas opera nas condições nominais (100% de carga), beneficiando do respetivo COP. Desta forma, garante-se que o sistema opera de forma eficiente, maximizando o desempenho térmico sempre que é necessário recorrer ao funcionamento simultâneo de duas bombas de calor.

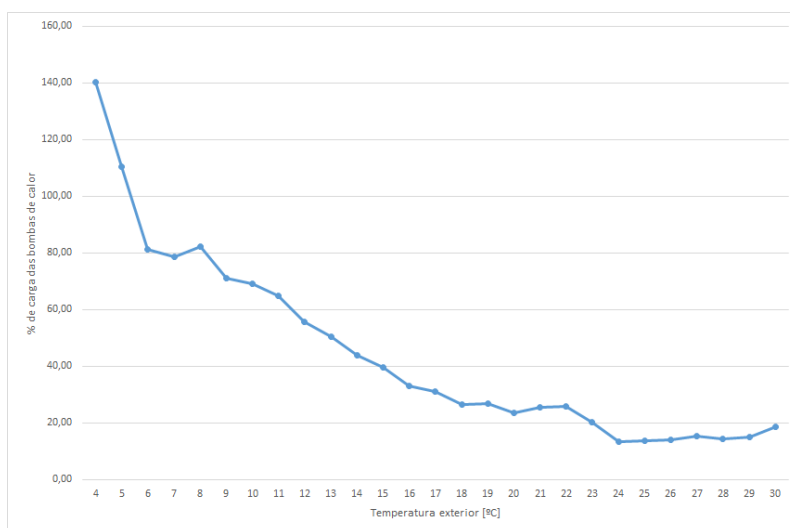


Figura 4.2: Percentagem de carga das bombas de calor face a potência térmica média a produzir para cada grau de temperatura exterior considerado [9]

Tabela 4.2: Condições e custos atuais de operação da bomba de calor em função da  $T_{\text{exterior}}$  [9]

$T_{\text{exterior}}$ [°C]	Regime	$\dot{v}_{\text{condensador}}$ [L/s]	$\dot{v}_{\text{evaporador}}$ [L/s]	% de carga das bombas	Estratégia	$P_{\text{elétrica absorvida}}$ [kW]	COP	Custo [€]
4	$T_{\text{saída condensador}} = 60\text{ °C}$ $\Delta T = 3,60\text{ °C}$	23,64	11,73	140,30	2 bombas	153,78	3,19	18,45
5				110,36		118,11	3,26	14,17
6				81,40		84,72	3,36	10,17
7				78,56		82,07	3,34	9,85
8				82,40		85,67	3,36	10,28
9				71,16		75,50	3,29	9,06
10				69,09		73,73	3,27	8,85
11				64,83		70,14	3,23	8,42
12				55,67		62,49	3,11	7,50
13				50,58		58,17	3,04	6,98
14				43,76	52,15	2,93	6,26	
15				39,49	48,17	2,86	5,78	
16				33,23	41,94	2,77	5,03	
17				31,20	39,81	2,74	4,78	
18				26,65	34,77	2,68	4,17	
19				26,70	34,83	2,68	4,18	
20				23,50	31,07	2,64	3,73	
21				25,41	33,34	2,66	4,00	
22				25,75	33,73	2,66	4,05	
23				20,18	26,94	2,61	3,23	
24				13,45	17,83	2,63	2,14	
25				13,69	18,17	2,63	2,18	
26				14,08	18,74	2,62	2,25	
27				15,22	20,34	2,61	2,44	
28				14,55	19,40	2,62	2,33	
29				14,90	19,89	2,62	2,39	
30				18,56	24,85	2,61	2,98	

Com o aumento da temperatura exterior verifica-se uma redução significativa na percentagem de utilização das bombas de calor para atender à potência térmica necessária, refletindo a menor necessidade de aquecimento face às condições exteriores estarem menos frias. Essa redução na carga está acompanhada de uma diminuição da potência elétrica absorvida pelas bombas de calor. Entretanto, observa-se também um decréscimo significativo do COP à medida que a temperatura exterior aumenta a partir dos 12°C, o que indica que, apesar do menor esforço requerido para aquecimento, a bomba de calor opera em regimes menos eficientes com temperaturas exteriores mais elevadas. Este resultado destaca que a eficiência energética não depende unicamente da carga térmica a suprir, mas também das condições operacionais específicas da bomba de calor ao longo do ano.

No que respeita ao custo associado, tal como a potência elétrica absorvida, vai diminuindo progressivamente conforme a temperatura exterior sobe, o que representa um reduzido gasto operacional significativo em períodos mais quentes.

### 4.3 Avaliação dos possíveis regimes de operação

Esta secção apresenta os resultados obtidos referentes à avaliação dos regimes operacionais das bombas de calor 2 e 3, conforme descrito em 3.5, que possibilitaram identificar quais os regimes que podem ser considerados viáveis para aplicação na prática.

Devido ao significativo volume de dados, que implicaria a inclusão de 18 tabelas individuais — uma para cada equipamento avaliado — as quais evidenciam a percentagem do tempo em que cada UTA não consegue satisfazer as necessidades térmicas do espaço que climatiza, optou-se por apresentar apenas a Tabela 4.3. Esta representa a média ponderada pelo "Critério 1" (Tabela 3.13) de todas as percentagens obtidas para os equipamentos, consolidando a informação de modo a facilitar a interpretação geral dos resultados. Este critério foi o selecionado pois era o que apresentava resultados mais conservadores. As tabelas específicas de cada equipamento encontram-se devidamente incluídas no APÊNDICE D 5.3.6.

Dos 18 equipamentos avaliados, seis revelaram ter uma elevada percentagem de tempo em que não conseguem alcançar ou suprimir integralmente as necessidades de aquecimento com as condições atuais. Estes equipamentos são: a UTA *URC 1 e 2*, as UTAs de *Revestimento 1 e 2*, a UTA da *Mecânica 2* e a UTA da *Ótica 3*. Após discussão com o orientador da empresa, foi referido que as UTAs da *Mecânica 2* e *Ótica 3* estão atualmente a climatizar áreas significativamente maiores do que aquelas para as quais foram originalmente dimensionadas, o que justifica o elevado índice de insuficiência térmica observado.

Adicionalmente, foi mencionado que, de forma geral, a empresa nunca enfrenta problemas de frio, mesmo nos períodos de pico do inverno, especialmente nos espaços do revestimento, que por natureza do processo produtivo geram calor residual suficiente para diminuir ou mesmo eliminar a necessidade de aquecimento adicional. Esta circunstância sugere uma possível falha na sonda encarregada de medir a entalpia nas UTAs do revestimento.

Quanto às UTAs *URC 1 e 2*, que climatizam espaços considerados de menor importância para o processo produtivo (Critério 1 = 0) e que possuem potências térmicas nominais das baterias inferiores às restantes unidades (segundo o Critério 2), conclui-se que a sua influência na média ponderada e, portanto, na dedução da percentagem geral, é desprezível.

Finalmente, embora a UTAN da Galvânica não tenha sido avaliada dado o ausente da sua ficha técnica, sabe-se que esta possui duas baterias de aquecimento e que historicamente não há queixas relacionadas com falta de aquecimento nos seus espaços climatizados. Assim, pode-se presumir razoavelmente que a UTAN da Galvânica opera adequadamente em todos os regimes aplicáveis.

Tabela 4.3: Percentagem de tempo em que as UTAs/UTANs não estão a cumprir as necessidades de aquecimento [9]

	$T_{\text{entrada na bateria}} [^{\circ}\text{C}]$	45	50	55	60
$\Delta T$	3,6	-	-	-	6,48
	5	10,50	7,59	7,28	6,52
	10	9,64	8,37	7,58	6,84
	15	8,99	8,25	7,98	7,38

Apenas a condição de  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$  para uma temperatura de entrada na bateria de  $45^{\circ}\text{C}$  apresenta um valor mensurável de incumprimento (10,5%), indicando que este regime de configuração para as bombas de calor é insuficiente para os requisitos de aquecimento, tornando-se inválido.

À medida que  $T_{\text{entrada na bateria}}$  incrementa para 50, 55 e  $60^{\circ}\text{C}$ , verifica-se uma redução consistente na percentagem de tempo em que as UTAs falham em suprir as necessidades de aquecimento. Isto é fisicamente coerente, dado que temperaturas de entrada mais elevadas permitem um  $\Delta T_{\text{in}}$  maior e, por conseguinte, maior capacidade térmica para transferência ao ar, de acordo com a Equação 2.9 e comprovado em 3.5.

Observa-se que, de maneira geral, para valores mais elevados de  $\Delta T$ , o incumprimento aumenta ligeiramente para certos regimes e diminui para outros, não sendo possível retirar conclusões lineares sobre o seu efeito na eficácia em garantir a suficiência térmica da instalação.

## 4.4 Regimes de operação recomendados para as bombas de calor 2 e 3

Com base nos regimes possíveis previamente avaliados e na  $Q_{\text{média necessária}}$  para cada grau de temperatura exterior, recorreu-se ao algoritmo em *Python* apresentado no APÊNDICE A 5.3.6 para determinar, de forma otimizada, o melhor regime de produção de água quente e respetivo  $\Delta T$  no condensador para cada cenário. O objetivo metodológico passou por identificar a combinação que garantisse uma potência térmica produzida superior à necessidade de aquecimento identificada, recorrendo ao mínimo possível de energia elétrica.

### 4.4.1 Bombeamento constante

Os resultados obtidos assumem como premissa o funcionamento das bombas de circulação de água a vazão constante, conforme praticado atualmente na instalação. Na Tabela 4.4 estão indicados os regimes ótimos encontrados pelo algoritmo para cada grau de temperatura exterior, evidenciando para cada caso, o regime ideal de operação.

De acordo com as informações do fornecedor, quando as bombas de calor estão equipadas com bombas de circulação constante, a operar com uma temperatura de produção de água quente de  $45^{\circ}\text{C}$  e uma diferença de temperatura máxima  $\Delta T_{\text{máximo}} = 15 [^{\circ}\text{C}]$ , só conseguem funcionar efetivamente numa faixa entre 50% da carga até às condições nominais. Como esta bomba não é capaz de operar em toda a gama necessária de percentagens de carga previstas para o sistema, este regime de operação foi excluído da análise, visto que não garante um funcionamento adequado em todas as condições analisadas.

Para cada temperatura exterior do novo regime, calculou-se a percentagem de produção das bombas de calor 2 e 3 necessária para cobrir  $Q_{\text{necessária}}$ . Sabendo que a potência térmica produzida por cada bomba de calor nas condições novas a 100% de capacidade é  $Q_{\text{nominal}} = 389,61[\text{kW}]$  (ver no ANEXO D 5.3.6 na Tabela 3), definiu-se a percentagem de uso da bomba de calor com a Equação 4.1, substituindo 349,11 kW pelos 389,61 kW. Como existem duas bombas de calor idênticas dedicadas ao circuito, a percentagem máxima de uso pode atingir os 200%, correspondendo à operação simultânea das duas bombas de calor à sua energia nominal máxima.

Tabela 4.4: Regime ótimo de operação em função da temperatura exterior - bombeamento constante [9]

$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	Regime	$\dot{v}_{\text{condensador}} [L/s]$	$\dot{v}_{\text{evaporador}} [L/s]$	$Q_{\text{necessária}} [kW]$	$Q_{\text{máxima produzida}} [kW]$	% de uso para cobrir $Q_{\text{necessária}} [kW]$	Estratégia	
4				489,80	583,18	125,71	2 bombas	
5				385,27	389,61	98,89		
6				284,19	291,59	72,94		
7				274,25	291,59	70,39		
8				287,66	291,59	73,83		
9				248,42	291,59	63,76		
10				241,19	291,59	61,90		
11				226,33	291,59	58,09		
12				194,35	194,47	49,88		
13				176,57	194,47	45,32		
14				152,78	194,47	39,21		
15				137,86	194,47	35,38		
16				116,00	194,47	29,77		
17	$T_{\text{saida condensador}} = 45^{\circ}\text{C}$	9,33	14,81	108,93	194,47	27,96		1 bomba
18	$\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$			93,02	97,33	23,87		
19				93,21	97,33	23,92		
20				82,03	97,33	21,06		
21				88,72	97,33	22,77		
22				89,88	97,33	23,07		
23				70,43	97,33	18,08		
24				46,95	97,33	12,05		
25				47,78	97,33	12,26		
26				49,16	97,33	12,62		
27				53,15	97,33	13,64		
28				50,79	97,33	13,04		
29				52,01	97,33	13,35		
30				64,78	97,33	16,63		

Para cada grau de temperatura exterior, foi estimada a potência elétrica absorvida pelas bombas de calor recorrendo ao polinómio de terceiro grau apresentado na Equação simplificada 4.3, cuja dedução foi realizada a partir dos dados experimentais fornecidos pela Trane presentes na Tabela 3 no ANEXO D 5.3.6 para a estratégia de bombeamento constante. Este polinómio permite modelar com realismo a evolução da potência elétrica absorvida com a carga parcial. Este valor representa exclusivamente a potência elétrica absorvida pelas bombas de calor, não considerando os restantes acessórios do sistema, como as bombas de circulação auxiliares. No APÊNDICE C 5.3.6 encontra-se o gráfico resultante da aplicação do polinómio.

$$P_{\text{elétrica absorvida}} = 4 \times 10^{-5} \times (\% \text{ de carga})^3 - 0,005 \times (\% \text{ de carga})^2 + 0,9097 \times (\% \text{ de carga}) + 2,89 \text{ [kW]} \quad (4.3)$$

Com os valores de  $Q_{\text{necessária}}$  e de  $P_{\text{elétrica absorvida}}$  para cada grau de temperatura exterior, procedeu-se ao cálculo do COP para as novas condições de operação. A Tabela 4.5 apresenta todas as condições comparativas e o custo de operação para cada grau de temperatura exterior, considerando o preço unitário de 0,12€/kWh. Destaca-se que esta abordagem, ao comparar diretamente o regime atual com o regime proposto, permite avaliar o potencial de eficiência energética do sistema. A energia elétrica absorvida foi estimada da mesma forma que em 4.2.

Tabela 4.5: Tabela comparativa entre o regime atual e o proposto - bombeamento constante [9]

$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	Regime atual			Novo regime - bombeamento constante			Diferença de regimes			
	$P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	COP	Custo [€]	$P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	COP	Custo [€]	$\Delta P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	$\Delta \text{COP}$	% Diminuição da potência elétrica	$\Delta \text{Custo} [\text{€}]$
4	153,78	3,185	18,453	103,47	4,73	12,42	50,31	1,55	32,72	6,04
5	118,11	3,262	14,173	78,79	4,89	9,46	39,32	1,63	33,29	4,72
6	84,72	3,355	10,166	56,59	5,02	6,79	28,13	1,67	33,20	3,38
7	82,06	3,342	9,848	54,68	5,02	6,56	27,38	1,67	33,37	3,29
8	85,67	3,358	10,280	57,27	5,02	6,87	28,40	1,67	33,15	3,41
9	75,50	3,290	9,060	49,87	4,98	5,98	25,63	1,69	33,94	3,08
10	73,72	3,271	8,847	48,56	4,97	5,83	25,17	1,70	34,14	3,02
11	70,14	3,227	8,416	45,89	4,93	5,51	24,24	1,70	34,57	2,91
12	62,49	3,110	7,499	40,27	4,83	4,83	22,22	1,72	35,56	2,67
13	58,17	3,035	6,980	37,18	4,75	4,46	20,99	1,71	36,09	2,52
14	52,15	2,930	6,258	33,03	4,63	3,96	19,13	1,70	36,67	2,30
15	48,17	2,862	5,780	30,40	4,54	3,65	17,77	1,67	36,90	2,13
16	41,94	2,765	5,033	26,48	4,38	3,18	15,47	1,62	36,87	1,86
17	39,81	2,736	4,778	25,19	4,32	3,02	14,62	1,59	36,73	1,75
18	34,77	2,675	4,173	22,24	4,18	2,67	12,53	1,51	36,04	1,50
19	34,83	2,676	4,180	22,28	4,18	2,67	12,56	1,51	36,05	1,51
20	31,07	2,640	3,728	20,16	4,07	2,42	10,91	1,43	35,13	1,31
21	33,34	2,661	4,001	21,43	4,14	2,57	11,92	1,48	35,74	1,43
22	33,73	2,664	4,048	21,65	4,15	2,60	12,09	1,49	35,82	1,45
23	26,94	2,614	3,233	17,91	3,93	2,15	9,04	1,32	33,54	1,08
24	17,83	2,633	2,140	13,19	3,56	1,58	4,65	0,93	26,05	0,56
25	18,17	2,629	2,181	13,36	3,58	1,60	4,81	0,95	26,49	0,58
26	18,74	2,624	2,248	13,64	3,60	1,64	5,09	0,98	27,19	0,61
27	20,34	2,613	2,441	14,46	3,68	1,73	5,89	1,06	28,93	0,71
28	19,40	2,618	2,328	13,98	3,63	1,68	5,42	1,02	27,95	0,65
29	19,89	2,615	2,386	14,22	3,66	1,71	5,66	1,04	28,47	0,68
30	24,85	2,607	2,982	16,79	3,86	2,02	8,05	1,25	32,41	0,97

A análise detalhada da Tabela 4.5 que demonstra as diferenças entre as condições atuais e as do novo regime proposto revela diferenças significativas em termos de desempenho energético e económico. O novo regime, estudado para cada grau de temperatura exterior, demonstra um aumento do COP e uma redução considerável da potência energética absorvida/custo para todos os graus de temperatura analisados. Por exemplo, para temperaturas exteriores de 4°C, a potência elétrica absorvida reduz de 153.78 kW para 103.47 kW, com uma diminuição do custo relativo igual, de aproximadamente 33%. Esta tendência é fortemente mantida para praticamente todas as faixas de temperatura exterior, com reduções percentuais geralmente superiores a 30% ao longo do espectro, sendo mais acentuadas nos períodos mais frios.

A análise dos valores nas colunas de diferença confirma que o novo regime não só reduz custos, mas também racionaliza o uso da potência elétrica absorvida, contribuindo para a sustentabilidade da instalação fabril e para o cumprimento das metas de eficiência energética industrial.

#### 4.4.2 Bombeamento variável

Os resultados obtidos assumem como premissa o funcionamento das bombas de circulação de água que alimentam o condensador e evaporador das bombas de calor com vazão variável. Na Tabela 4.6 é discriminado o regime ótimo encontrado pelo algoritmo para cada grau de temperatura exterior, evidenciando, o regime ideal de operação.

Para cada temperatura exterior do novo regime, calculou-se a percentagem de produção das bombas de calor 2 e 3 necessária para cobrir  $Q_{\text{necessária}}$ . Sabendo que a potência térmica produzida por cada bomba de calor nas condições nominais é  $Q_{\text{máxima}} = 391,02[\text{kW}]$  (ver no ANEXO D 5.3.6 na Tabela 4), definiu-se a percentagem de uso da bomba de calor com a Equação 4.1, substituindo 349,11 kW pelos 391,02 kW. Como existem duas bombas de calor idênticas dedicadas ao circuito, a percentagem máxima de uso pode atingir os 200%, correspondendo à operação simultânea das duas bombas de calor à sua energia térmica nominal máxima.

Tabela 4.6: Regime ótimo de operação em função da temperatura exterior - bombeamento variável [9]

$T_{exterior}[^{\circ}C]$	Regime	$\dot{v}_{condensador}[L/s]$	$\dot{v}_{evaporador}[L/s]$	$Q_{necessária}[kW]$	$Q_{máxima\ produzida}[kW]$	% de uso para cobrir $Q_{necessária}[kW]$	Estratégia	
4	4,69	4,69	11,33	489,80	586,68	125,26	2 bombas	
5				385,27	391,02	98,53		
6		4,69	11,33	284,19	293,34	72,68		
7				274,25	293,34	70,14		
8				287,66	293,34	73,57		
9				248,42	293,34	63,53		
10				241,19	293,34	61,68		
11				226,33	293,34	57,88		
12				194,35	195,52	49,70		
13				176,57	195,52	45,16		
14				152,78	195,52	39,07		
15				137,86	195,52	35,26		
16		116,00	195,52	29,66				
17		3,13	7,51	108,93	195,52	27,86		1 bomba
18				93,02	195,52	23,79		
19				93,21	195,52	23,84		
20	82,03			195,52	20,98			
21	88,72			195,52	22,69			
22	89,88			195,52	22,99			
23	70,43			195,52	18,01			
24	46,95			195,52	12,01			
25	47,78			195,52	12,22			
26	49,16			195,52	12,57			
27	53,15			195,52	13,59			
28	50,79			195,52	12,99			
29	52,01			195,52	13,30			
30	64,78			195,52	16,57			

Para cada grau de temperatura exterior, foi estimada a potência elétrica absorvida pelas bombas de calor recorrendo ao polinómio de terceiro grau apresentado na Equação simplificada 4.4, cuja dedução foi realizada a partir dos dados experimentais fornecidos pela Trane presentes na Tabela 4 no ANEXO D 5.3.6 para a estratégia de bombeamento variável. Este polinómio permite modelar com realismo a evolução da potência elétrica absorvida com a carga parcial. Este valor representa exclusivamente a potência elétrica absorvida pelas bombas de calor, não considerando os restantes acessórios do sistema, como as bombas de circulação auxiliares. No APÊNDICE C 5.3.6 encontra-se o gráfico resultante da aplicação do polinómio.

$$P_{elétrica\ absorvida} = 0,0028 \times (\%de\ carga)^2 + 0,3792 \times (\%de\ carga) + 13,22[kW] \quad (4.4)$$

Com os valores de  $Q_{necessária}$  e de  $P_{elétrica\ absorvida}$  para cada grau de temperatura exterior, procedeu-se ao cálculo do COP para as novas condições de operação. A Tabela 4.7 apresenta todas as condições comparativas e o custo de operação para cada grau de temperatura exterior, considerando o preço unitário de 0,12€/kWh. Destaca-se que esta abordagem, ao comparar diretamente o regime atual com o regime proposto, permite avaliar o potencial de eficiência energética do sistema. A energia elétrica absorvida foi estimada da mesma forma que em 4.2.

Tabela 4.7: Tabela comparativa entre o atual regime e o proposto - bombeamento variável [9]

$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	Regime atual			Novo regime - bombeamento variável			Diferença de regimes				
	$P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	COP	Custo[€]	$P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	COP	Custo[€]	$\Delta P_{\text{elétrica absorvida}} [\text{kW}]$	$\Delta \text{COP}$	% Diminuição da potência elétrica	$\Delta \text{Custo} [\text{€}]$	
4	153,78	3,185	18,453	103,39	4,74	12,41	50,39	1,55		32,77	6,05
5	118,11	3,262	14,173	77,46	4,97	9,29	40,65	1,71		34,42	4,88
6	84,72	3,355	10,166	55,40	5,13	6,65	29,32	1,78		34,60	3,52
7	82,06	3,342	9,848	53,43	5,13	6,41	28,63	1,79		34,89	3,44
8	85,67	3,358	10,280	56,10	5,13	6,73	29,57	1,77		34,52	3,55
9	75,50	3,290	9,060	48,48	5,12	5,82	27,02	1,83		35,78	3,24
10	73,72	3,271	8,847	47,14	5,12	5,66	26,58	1,84		36,06	3,19
11	70,14	3,227	8,416	44,44	5,09	5,33	25,69	1,87		36,63	3,08
12	62,49	3,110	7,499	38,91	5,00	4,67	23,59	1,89		37,74	2,83
13	58,17	3,035	6,980	35,99	4,91	4,32	22,18	1,87		38,13	2,66
14	52,15	2,930	6,258	32,26	4,74	3,87	19,89	1,81		38,14	2,39
15	48,17	2,862	5,780	30,03	4,59	3,60	18,14	1,73		37,66	2,18
16	41,94	2,765	5,033	26,90	4,31	3,23	15,04	1,55		35,86	1,80
17	39,81	2,736	4,778	25,93	4,20	3,11	13,88	1,46		34,87	1,67
18	34,77	2,675	4,173	23,81	3,91	2,86	10,96	1,23		31,53	1,32
19	34,83	2,676	4,180	23,83	3,91	2,86	11,00	1,24		31,58	1,32
20	31,07	2,640	3,728	22,39	3,66	2,69	8,68	1,02		27,92	1,04
21	33,34	2,661	4,001	23,25	3,82	2,79	10,10	1,16		30,28	1,21
22	33,73	2,664	4,048	23,40	3,84	2,81	10,34	1,18		30,64	1,24
23	26,94	2,614	3,233	20,95	3,36	2,51	6,00	0,75		22,25	0,72
24	17,83	2,633	2,140	18,17	2,58	2,18	-0,34	-0,05		-1,90	-0,04
25	18,17	2,629	2,181	18,27	2,62	2,19	-0,09	-0,01		-0,52	-0,01
26	18,74	2,624	2,248	18,42	2,67	2,21	0,31	0,04		1,66	0,04
27	20,34	2,613	2,441	18,89	2,81	2,27	1,46	0,20		7,16	0,17
28	19,40	2,618	2,328	18,61	2,73	2,23	0,79	0,11		4,05	0,09
29	19,89	2,615	2,386	18,75	2,77	2,25	1,13	0,16		5,70	0,14
30	24,85	2,607	2,982	20,26	3,20	2,43	4,59	0,59		18,46	0,55

A análise detalhada da Tabela 4.7 que demonstra as diferenças entre as condições atuais e as do novo regime proposto revela diferenças significativas em termos de desempenho energético e económico. O novo regime, estudado para cada grau de temperatura exterior, demonstra um aumento do COP e uma redução considerável da potência energética absorvida/custo para todos os graus de temperatura analisados menos para os graus de temperatura exterior de 24°C e 25°C. Estes estão destacados a amarelo pois, apesar de por uma margem curta, compensa operar com o regime atual do que o proposto. Sobre as temperaturas em que compensa, por exemplo para temperaturas exteriores de 4°C, a potência elétrica absorvida desce de 153.78 kW para 103.39 kW, com uma diminuição do custo relativo igual, de aproximadamente 33%. Esta tendência é mantida até os 23°C, com reduções percentuais geralmente superiores a 30%, sendo mais acentuadas nos períodos mais frios. A partir dos 23°C a poupança cai a pique, sendo que não existe em 24°C e 25°C. Mesmo após esses valores de temperatura, a poupança nunca volta a subir para os dois dígitos percentuais, tirando aos 30°C.

## 4.5 Análise comparativa: bombeamento constante versus bombeamento variável

### 4.5.1 Análise do regime a operar em bombeamento constante

A configuração de bombeamento constante demonstra desempenho excepcional ao longo de toda a gama de temperaturas exteriores analisada (4°C a 30°C). Os dados revelam uma redução média da potência elétrica absorvida de 33,22%, com poupanças que variam entre 4,65 kW (a 24°C) e 50,31 kW (a 4°C).

O COP médio do novo regime atinge 4,342, representando uma melhoria média de 1,453 relativamente às condições atuais (COP médio de 2,889). Este novo regime apresenta estabilidade operacional em todas as condições térmicas, mantendo sempre poupanças positivas e melhorias consistentes no COP. Esta característica é fundamental para garantir a fiabilidade do sistema ao longo do ano.

## 4.5.2 Análise do regime a operar em bombeamento variável

A configuração de bombeamento variável apresenta desempenho heterogêneo dependente da temperatura exterior. Embora demonstre vantagens significativas a temperaturas baixas, com poupanças superiores ao bombeamento constante (34,72% versus 33,40% na faixa 4-10°C), revela deficiências críticas a temperaturas elevadas.

Particularmente problemáticas são as temperaturas de 24°C e 25°C, onde o sistema variável não apresenta poupanças face ao regime atual: Gasta mais 0,34 kW e 0,1 kW respetivamente, com reduções de COP de 0,050 e 0,010. O COP médio deste regime variável (4,076) é inferior ao do novo constante. Adicionalmente, a implementação requer um investimento adicional de cerca de 44000 € para aquisição de quatro bombas de circulação variáveis, duas para cada bomba de calor 2 e 3, uma para cada evaporador e condensador.

A bomba de caudal variável selecionada para substituir a bomba de circulação constante atualmente instalada, modelo Grundfos TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1 (n.º 99345675) [13], é a Grundfos TPED 80-240/4 S-A-F-A-BQQE-LWA (n.º 99132856) [44]. Esta bomba de circulação representa uma solução tecnologicamente compatível, adequada para manter o desempenho hidráulico exigido pelo sistema, enquanto possibilita a variação do caudal conforme as necessidades operacionais. O valor de aquisição desta bomba auxiliar é de cerca de 11000 €, representando o custo de investimento necessário para a sua implementação [45].

## 4.5.3 Análise da viabilidade económica

Através da distribuição mensal das temperaturas exteriores mencionada em 3.4.3 e representada na Tabela 3.10, determinou-se a energia elétrica absorvida necessária em cada faixa térmica para os três regimes (atual, novo constante e novo variável). É importante notar que os valores numéricos de energia e custo obtidos assumem o funcionamento contínuo das bombas de calor durante todo o mês, o que não corresponde à operação real em campo. Esse pressuposto simplificador visa eliminar o efeito do ciclo real de ligar/desligar (*duty cycle*), fornecendo uma base comparativa rígida e isenta das incertezas associadas. Sob a suposição de operação contínua, os custos energéticos tornam-se preponderantes, mas esses valores absolutos devem ser encarados apenas como referência comparativa, não como consumo real.

Como as amostras da frequência para cada grau de temperatura exterior em cada mês são registadas de forma horária, e dado que todas as análises consideram as bombas de calor permanentemente em funcionamento, adotou-se como premissa que, em cada intervalo horário, a energia elétrica absorvida é igual ao valor da potência elétrica absorvida pelas bombas de calor. Desta forma, o consumo acumulado de energia elétrica numa hora corresponde diretamente à potência elétrica registada para esse período, admitindo que as bombas de calor operam sem oscilações de carga durante toda essa hora, permitindo uma avaliação coerente do desempenho energético em cada regime e simplificando o procedimento de comparação entre alternativas operacionais.

### 4.5.3.1 Potência elétrica absorvida estimada em função da temperatura exterior para os diferentes regimes

Os dados mostram que, para todas as temperaturas exteriores consideradas, as potências elétricas absorvidas dos regimes constante e variável são substancialmente menores do que no regime atual. Por exemplo, a 4°C a potência elétrica absorvida atual é de 153,78 kW, enquanto que nos regimes constante e variável fica em torno de 103,4 kW (redução de cerca de 33%); a 10°C, o valor cai de 73,72 kW (atual) para cerca de 47-48 kW (novos regimes, cerca de 35% menos). Isto evidencia que a alteração de regime diminui esta potência absorvida.

Além disso, observa-se que as potências elétricas absorvidas dos novos regimes são muito próximas entre si, especialmente para temperaturas exteriores baixas a moderadas: em muitos pontos os valores diferem em poucos décimos de kW.

De modo geral, até cerca de 15–18°C ambas as soluções melhoradas apresentam desempenho quase idêntico, e apenas em faixas de temperatura exterior elevada (>20°C) a potência do regime variável ultrapassa ligeiramente a do regime constante (por exemplo, a 24°C,  $P_{vari} = 18,17$  kW vs.  $P_{const} = 13,19$  kW). Também a partir da  $T_{exterior} = 24^\circ\text{C}$ , a  $P_{vari}$  torna-se muito semelhante à  $P_{atual}$ , sendo em 24°C e 25°C superior a esta. Em resumo, a mudança de regime (constante ou variável) leva a quedas de potência de 30–35% ou mais face à situação atual em quase todas as faixas de temperatura relevantes, refletindo ganhos consistentes de eficiência. Dos dois, o regime constante é o que apresenta percentagens de redução de potência elétrica absorvida mais consistentes, sendo a sua média (33,22%) superior à do regime variável (26,33%). Estas percentagens podem ser observadas para cada grau nas Tabelas 4.5 e 4.7. No gráfico da Figura 4.3 encontra-se a evolução da  $P_{elétrica}$  por grau de  $T_{exterior}$  para as 3 diferentes configurações.

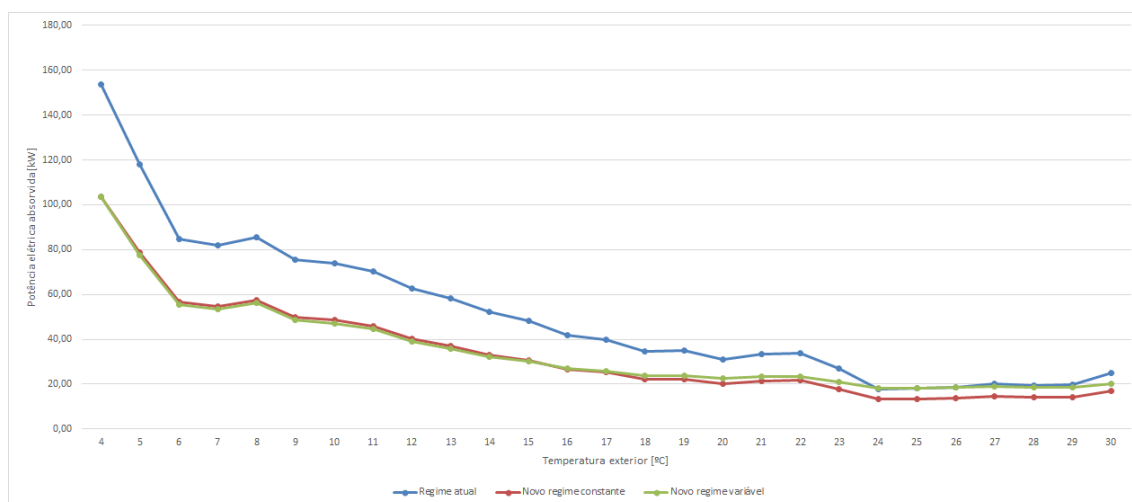


Figura 4.3: Potência elétrica absorvida por grau de temperatura exterior para os diferentes regimes [9]

#### 4.5.3.2 Energia elétrica absorvida estimada da operação dos diferentes regimes em função da temperatura exterior

A energia elétrica absorvida, calculada a partir da respetiva potência elétrica absorvida e dos dados de frequência de ocorrência das temperaturas exteriores (Tabela 3.10), reflete as mesmas tendências: em temperaturas de inverno moderadas (aproximadamente 8–14°C), onde há maior frequência de ocorrência de temperaturas nesta amostra, a energia elétrica absorvida no regime atual é mais elevada, chegando a 30481,36 kWh, sendo que nos novos regimes constante e variável estes valores máximos são bem menores, 19480,31 kWh e 18857,55 kWh, respetivamente.

Já em temperaturas exteriores altas (>20°C) a energia elétrica absorvida é baixa e o modelo pode até inverter a comparação: por exemplo, a 24°C o novo regime variável apresenta valores levemente superiores ao atual, 1072,18 kWh contra 1052,18 kWh, levando a um custo monetário superior, ou seja, a 24 e 25 graus, é mais favorável operar com o regime atual do que com o novo regime variável. Reforçando que estes dados numéricos servem apenas como referência comparativa.

Comparando entre os dois novos regimes possíveis a serem aplicados, dos 4°C aos 15°C o mais económico que satisfaz as necessidades caloríficas da fábrica é o variável e, para temperaturas exteriores superiores a 15°C, é o constante. Isto indica que o regime variável opera mais eficientemente em regimes de temperatura inferiores, onde é necessário geralmente uma maior quantidade de energia térmica a ser produzida.

O gráfico da Figura 4.4 representa a energia elétrica absorvida pelas bombas de calor durante a operação dos diferentes regimes por cada grau de temperatura exterior.

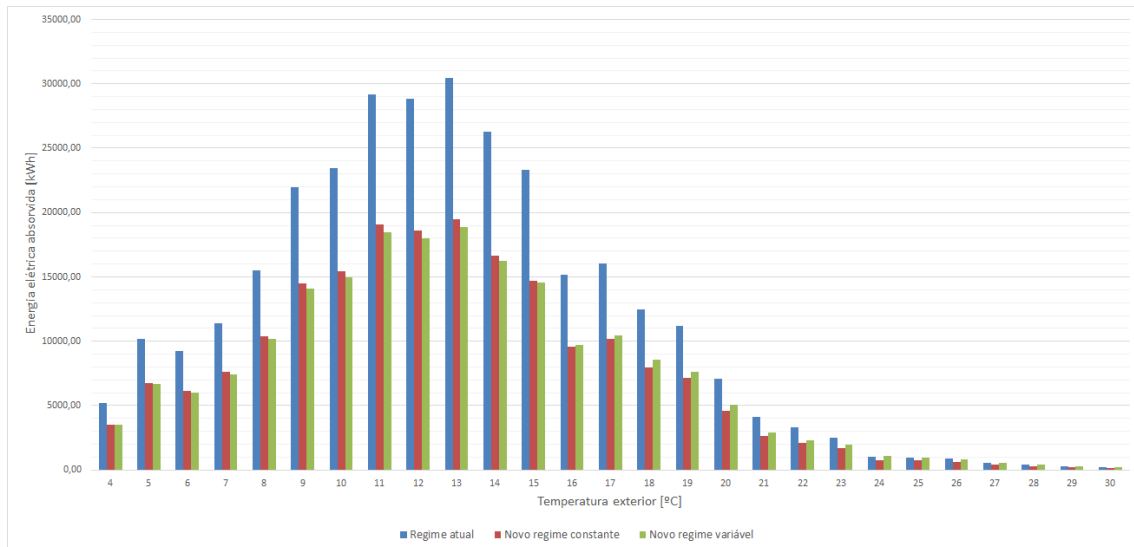


Figura 4.4: Energia elétrica absorvida dos diferentes regimes por temperatura exterior [9]

#### 4.5.3.3 Percentagem de poupança energética estimada dos diferentes regimes em função da temperatura exterior

Em termos percentuais, as poupanças obtidas dos novos regimes são consistentes nas faixas de maior necessidade. Para temperaturas exteriores entre 4°C e 18°C, o novo regime constante apresenta poupanças em torno de 33–37% em relação ao atual, enquanto o novo regime variável atinge valores ligeiramente superiores (até 38% em alguns pontos médios). Isto confirma que ambos os métodos de controlo oferecem reduções semelhantes de energia elétrica absorvida.

Em termos práticos, pode-se concluir que até cerca de 22°C as poupanças são estáveis e da mesma ordem para ambos os regimes (cerca de 30%). A partir dessa, o novo regime variável cai bruscamente, não produzindo poupanças para as temperaturas de 24°C e 25°C, ficando até os 30°C com poupanças muito baixas. Apesar de também sofrer uma queda na poupança energética a partir dos 24°C, a configuração constante apresenta valores mais estáveis e bastante elevados.

A análise por faixas de temperatura revelou que o bombeamento variável apresenta ligeiras vantagens apenas em temperaturas baixas, com poupanças médias de 34,72% versus 33,40% do bombeamento constante. Em temperaturas elevadas (a partir de 21°C), a diferença torna-se crítica, com o novo regime de bombeamento constante a manter 30,26% de poupança enquanto o variável regista apenas 11,78%.

Para facilitar a comparação entre os regimes face ao atual, foi realizado o gráfico presente na Figura 4.5.

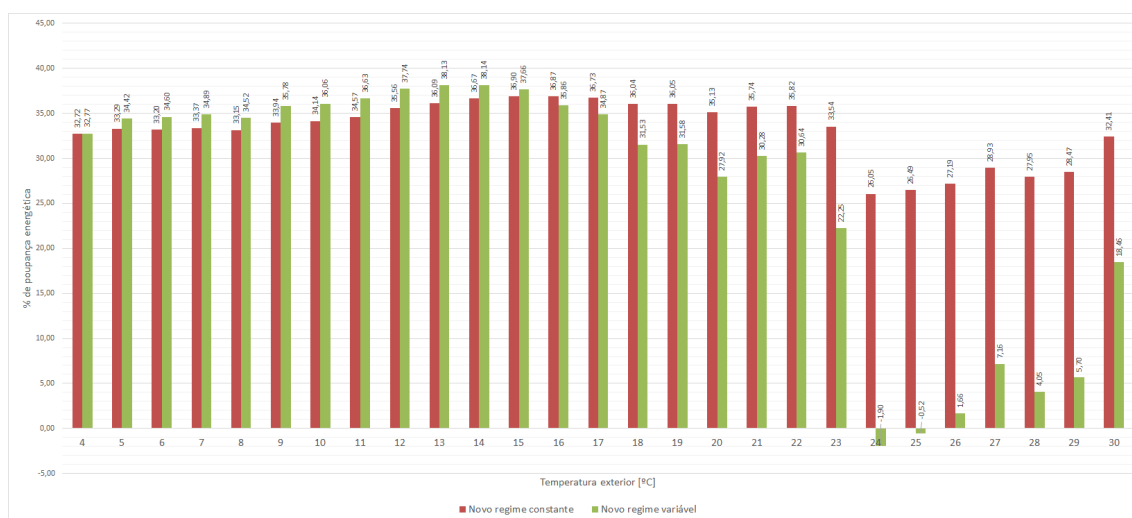


Figura 4.5: Percentagem de poupança energética elétrica dos diferentes novos regimes por temperatura exterior [9]

#### 4.5.3.4 Energia elétrica absorvida estimada dos diferentes regimes de operação no período avaliado

Agregando os resultados mensais de setembro a abril, verifica-se que os novos regimes constante e variável reduzem o uso total de energia em cerca de 30–36% em todos os meses, sem grande variação sazonal no caso do regime constante.

Por exemplo em dezembro, a energia elétrica absorvida estimada no regime atual é 50974,37 kWh (6117€) contra 33358,24 kWh (4003€) para o novo regime constante e 32636,55 kWh (3916€) para o novo regime variável, representando poupanças de cerca de 34,6% e 36,0%, respetivamente.

Em meses mais amenos como setembro, as poupanças são ligeiramente menores para o regime variável, dado que este não é tão eficaz para temperaturas exteriores mais elevadas, mas ainda na ordem dos 30%. Observa-se que a estratégia variável tende a dar resultados um pouco melhores (diferenças de cerca de 1,5%) nos meses mais frios, enquanto o novo regime constante é ligeiramente melhor nos meses de menor necessidade de carga térmica. De modo geral, a poupança elétrica mensal proporciona uma redução de custo em torno de 35% em cada mês do período considerado, tendo o regime constante resultados de poupança mais estáveis ao longo dos meses e com uma média geral superior (35,21% contra 34,79%).

Nas Figuras 4.6 e 4.7 encontram-se os gráficos que demonstram a energia elétrica absorvida para cada regime e as respetivas poupanças mensais, respetivamente.

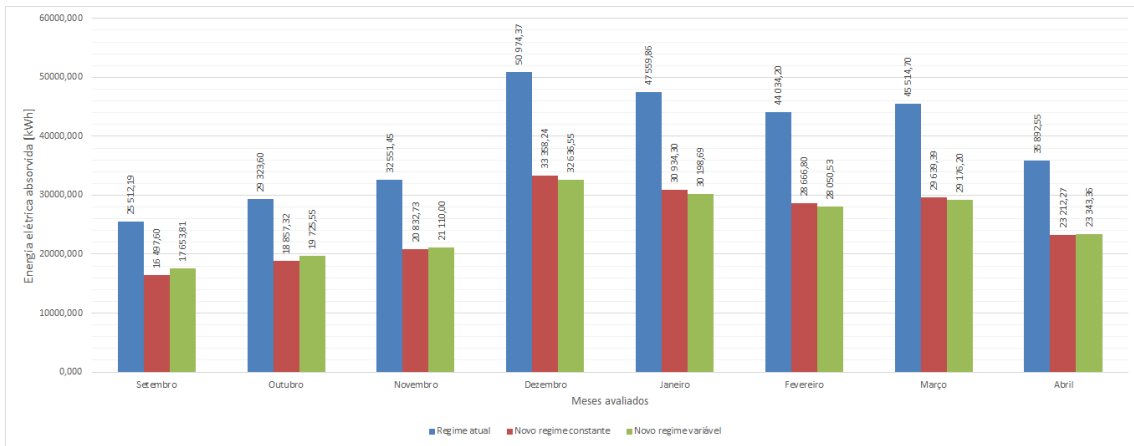


Figura 4.6: Energia elétrica absorvida dos diferentes regimes no período avaliado [9]

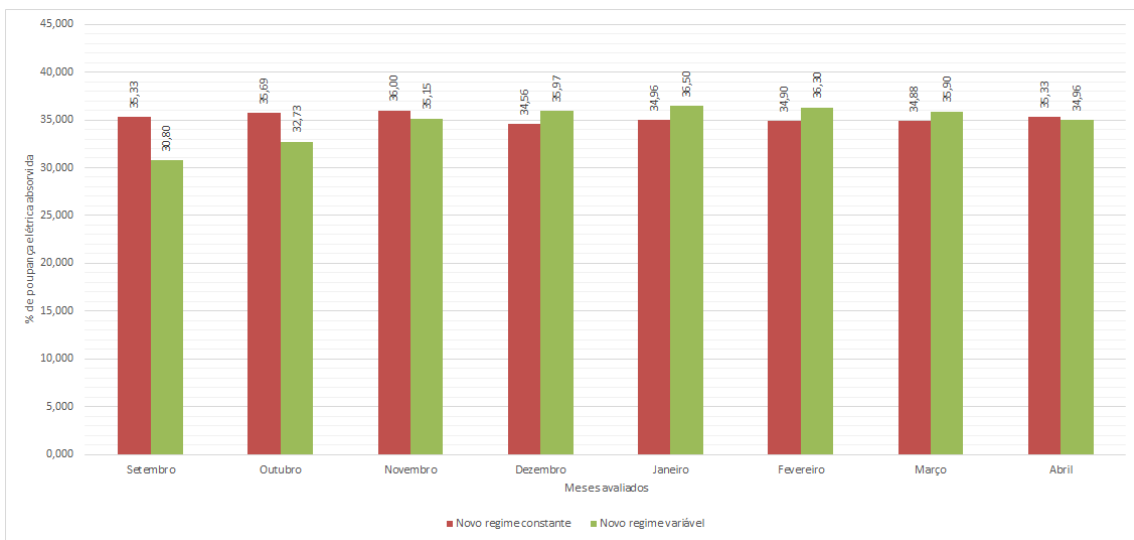


Figura 4.7: Percentagem de poupança mensal dos diferentes regimes [9]

Em termos acumulados no período total, ambos os regimes alternativos oferecem poupanças muito semelhantes. A análise agregada dá uma poupança média de 35,21% para o regime de bombeamento constante e 34,79% para o regime variável. Em outras palavras, as duas estratégias reduzem o consumo e custo elétrico em aproximadamente um terço em comparação com o sistema atual. Essa economia significativa reforça o benefício do controlo otimizado da temperatura de alimentação nas bombas de calor.

Reforça-se que os valores absolutos de energia e custo aqui calculados não devem ser usados para prever consumos reais, mas apenas para comparar regimes de forma isolada. A suposição de bombagem contínua durante o mês inteiro simplifica a análise ao remover o efeito do ciclo de funcionamento real, permitindo avaliar de modo claro a vantagem relativa das soluções propostas. No APÊNDICE E 5.3.6 estão inseridas todas as tabelas e valores calculados para cada mês da energia elétrica absorvida, custo e poupança para cada regime.

#### 4.5.4 Opção de operação recomendada e análise final

A análise quantitativa dos novos regimes de bombeamento constante e variável, fundamentada nos dados operacionais modelados para a fábrica, demonstra que ambos representam um avanço significativo face à operação atual com caudal fixo, possibilitando reduções mensuráveis de consumo energético e custo global ao longo do período de aquecimento analisado. Contudo, a decisão final deve obrigatoriamente considerar as implicações práticas de estabilidade, regularidade do desempenho e viabilidade económica global, incluindo o impacto do investimento inicial de 44000 € necessário para a substituição das bombas existentes por 4 bombas de circulação variável (uma para o condensador e o evaporador de cada bomba de calor 2 e 3).

Em termos estritamente técnicos, os dados comprovam que, com exceção dos intervalos de temperatura exterior mais elevados ( $T_{exterior} > 20^{\circ}\text{C}$ ), a configuração variável é marginalmente mais eficiente durante as faixas baixas e médias (até cerca de  $15^{\circ}\text{C}$ ), atingindo poupanças ligeiramente superiores à do regime constante. No entanto, este ganho é praticamente irrelevante (tipicamente inferior a 1,5%) e, a partir de temperaturas exteriores elevadas (desde os  $23^{\circ}\text{C}$ ), o novo regime variável sofre uma acentuada deterioração de desempenho, chegando a superar negativamente o consumo do regime atual. Observa-se que a eficiência média do período considerado dos dois regimes é quase idêntica (poupanças de 34,79% (variável) vs 35,21% (constante)), sendo a principal diferença o carácter mais estável e previsível do regime constante, sem quedas súbitas de eficiência em qualquer condição climática.

Para o período analisado a poupança energética global é superior com a implementação do novo regime de bombeamento constante, e a avaliação comparativa demonstrou ainda que o novo regime de controlo variável apresenta apenas uma ligeira vantagem de eficiência face ao novo regime constante nos meses de inverno, ou seja, nas condições de temperaturas exteriores mais baixas (dezembro, janeiro, fevereiro e março), conforme ilustrado no gráfico da Figura 4.7. Para os restantes meses avaliados (setembro, outubro, novembro e abril), o regime constante revela-se mais favorável do ponto de vista energético.

Adicionalmente, para temperaturas exteriores mais elevadas — tipicamente superiores a  $20^{\circ}\text{C}$ , que se verificam nos meses quentes e amenos que não foram explicitamente avaliados (maio, junho, julho e agosto) — é concluído e admitido que o regime variável mostra-se menos eficiente em comparação com o regime constante, como indicado no gráfico da Figura 4.5. Assim, conclui-se que o controlo variável apenas apresenta uma pequena vantagem operacional durante quatro meses do ano (os meses frios), sendo que, mesmo nesses períodos críticos de maior consumo para aquecimento, o diferencial de poupança relativamente ao regime constante é reduzido.

Importa também salientar que o valor adicional economizado com o novo regime variável nesses 4 meses de inverno é rapidamente neutralizado pelo investimento acrescido necessário à sua implementação, originando períodos de retorno do capital investido (*payback time*) extremamente longos, habitualmente superiores à vida útil expectável das bombas de circulação (estimada em 15 a 20 anos) [13]. Assim, não se procedeu ao cálculo explícito do período de retorno, visto que tal análise não seria representativa ou justificável perante a escala real de investimento e utilização do equipamento.

Paralelamente, a adoção do regime variável implica maior complexidade no controlo hidráulico, risco operacional acrescido (nomeadamente em temperaturas exteriores altas), maiores custos de manutenção e menor previsibilidade do desempenho. Estes fatores, quando conjugados, reduzem drasticamente a robustez e a fiabilidade deste investimento numa perspetiva industrial.

Assim, face aos objetivos de estabilidade de operação, menor risco de falha, investimento equilibrado (no caso, nulo) e maximização da viabilidade económica do sistema, recomenda-se de forma clara e fundamentada a adoção do novo regime de **bombeamento constante**. Esta escolha garante poupanças energéticas substanciais, custos operacionais controlados e consistentes, ausência de riscos operacionais inesperados e dispensa a exigência de um investimento inicial elevado cuja recuperação não é assegurada no ciclo de vida do equipamento. Esta decisão alinha-se com as melhores práticas do sector, priorizando simultaneamente eficiência, segurança operacional e racionalização financeira.

#### 4.5.4.1 Estimativa de poupança face a energia elétrica absorvida real

A estimativa de poupança energética e económica alcançada através da implementação do novo regime operacional das bombas de calor 2 e 3 está presente na Tabela 4.8. A percentagem de poupança média com o novo regime, determinado para cada mês e evidenciado nas tabelas mensais do APÊNDICE E 5.3.6 e no gráfico da Figura 4.7, situa-se de forma consistente entre 34,56% e 36,00%, confirmando assim a robustez do método de otimização adotado.

No período analisado, que abrange de setembro de 2024 a abril de 2025, a energia elétrica absorvida total pelas bombas de calor 2 e 3 foi, no cenário real, de 186721 kWh, resultando num custo global de 22407 €, presente na Tabela 3.2. Com a aplicação do novo regime, esta energia elétrica absorvida reduz-se para 120917 kWh, o que representa uma redução absoluta de 65804 kWh neste intervalo, traduzindo-se num novo custo de 14510 €. A poupança global estimada atinge assim 7896 € neste período, equivalentes à diferença direta entre o custo real e o custo projetado com a nova estratégia operacional.

A poupança mensal máxima verificou-se em outubro de 2024, com 1407 €, e os valores mínimos, ainda assim significativos, mantiveram-se sempre próximos dos 744 a 984 € por mês. Este desempenho revela a estabilidade e fiabilidade do modelo de otimização, bem como o impacto económico substancial que pode ser alcançado com a implementação das medidas estudadas.

Em suma, a análise da Tabela 4.8 confirma que o novo regime não só proporciona uma poupança energética robusta – superior a um terço do consumo original – como representa uma melhoria relevante na eficiência global do sistema, amortizando custos e promovendo a sustentabilidade da instalação industrial. Reforça-se que estes valores de energia absorvida são apenas referentes às bombas de calor.

Tabela 4.8: Estimativa de poupança face a energia elétrica absorvida real [9]

Ano	Mês	% de poupança com nova configuração	Energia elétrica absorvida atual [kWh]	Energia elétrica absorvida com o novo regime [kWh]	Custo atual [€]	Custo novo [€]	Poupança [€]
2024	9	35,33	23 776	15 375	2 853	1 845	1 008
	10	35,69	32 860	21 131	3 943	2 536	1 407
	11	36,00	22 101	14 145	2 652	1 697	955
	12	34,56	17 946	11 744	2 154	1 409	744
2025	1	34,96	28 650	18 635	3 438	2 236	1 202
	2	34,90	23 491	15 293	2 819	1 835	984
	3	34,88	19 122	12 452	2 295	1 494	800
	4	35,33	18 775	12 142	2 253	1 457	796
Total			186 721	120 917	22 407	14 510	7 896

#### 4.5.4.2 Estimativa da energia elétrica absorvida pelas bombas de circulação do circuito primário com o novo regime de funcionamento

Com base nos dados fornecidos para os caudais do regime atual e novo para cada bomba do circuito do condensador e do evaporador, foi calculado o impacto percentual na potência elétrica absorvida:

**Condensador - Redução de potência:** Primeiro, determina-se a razão entre o caudal novo e o caudal antigo da bomba de circulação do condensador através da Equação 3.19:

$$r_c = \frac{\dot{v}_{\text{condensador novo}}}{\dot{v}_{\text{condensador atual}}} = \frac{9,33}{23,64} = 0,3947$$

Depois, segundo a lei de afinidade (modelo cúbico para bombas de circulação), a potência elétrica absorvida pela bomba varia com o cubo da razão de caudais, como demonstrado na Equação 3.20:

$$\frac{P_{\text{condensador novo}}}{P_{\text{condensador atual}}} = r_c^3 = 0,0614$$

Calcula-se a percentagem de redução da potência elétrica absorvida com a Equação 3.21:

$$\text{Redução}_{\text{cond}} = (1 - r_c^3) \times 100\% = 93,86\%$$

Concluindo, com a redução de caudal de  $\dot{v}_{\text{atual,cond}} = 23,64 \text{ L/s}$  para  $\dot{v}_{\text{novo,cond}} = 9,33 \text{ L/s}$  — estima-se que a potência elétrica requerida pela bomba seja reduzida em aproximadamente 93,9%.

**Evaporador - Aumento de potência:** Primeiro, determina-se a razão entre o caudal novo e o caudal antigo da bomba de circulação do evaporador através da Equação 3.19:

$$r_c = \frac{\dot{v}_{\text{evaporador novo}}}{\dot{v}_{\text{evaporador atual}}} = \frac{14,81}{11,73} = 1,2626$$

Depois, segundo a lei de afinidade (modelo cúbico para bombas de circulação), a potência elétrica absorvida pela bomba varia com o cubo da razão de caudais, como demonstrado na Equação 3.20:

$$\frac{P_{\text{evaporador novo}}}{P_{\text{evaporador atual}}} = r_c^3 = 2,01$$

Calcula-se a percentagem de aumento da potência elétrica absorvida com a Equação 3.22:

$$\text{Aumento}_{\text{evap}} = (r_c^3 - 1) \times 100\% = 101,2\%$$

Concluindo, com o aumento de caudal de  $\dot{v}_{\text{atual,evap}} = 11,73 \text{ L/s}$  para  $\dot{v}_{\text{novo,evap}} = 14,81 \text{ L/s}$  — estima-se que a potência elétrica absorvida duplicará (+101,2%).

Esta estimativa é adequada para estudos de primeira ordem, permitindo obter rapidamente a ordem de grandeza da variação de consumo energético associada à alteração de caudal. No entanto, para conclusões com maior precisão e para apoio à decisão de investimento, recomenda-se complementar a análise com:

1. Utilização da curva real da bomba (H vs Q) e da curva de perdas do circuito para determinação do novo ponto de operação exato, seguido do cálculo rigoroso da potência hidráulica e elétrica.
2. Medição *in-situ* (no local) de corrente elétrica ou análise dos registos de consumo, quando disponível.

#### 4.5.4.3 Opções de operação alternativas

Embora a análise anterior aponte de forma robusta para a solução ótima em termos de eficiência energética e viabilidade económica, considerou-se prudente identificar alternativas secundárias dentro do bombeamento constante que possam ser implementadas caso, por motivos técnicos ou operacionais, a primeira opção não se revele aplicável. Esta abordagem garante a resiliência da solução proposta, fornecendo cenários alternativos de funcionamento das bombas de calor.

- A **segunda melhor opção** identificada consiste na produção de água quente com uma temperatura de saída do condensador de 50 °C, associada a um  $\Delta T$  máximo no condensador de 15 °C. Nesta condição, os caudais são de 6,08 L/s no condensador e 14,12 L/s no evaporador. Esta configuração apresenta desempenho energético competitivo, assegurando a entrega da energia térmica necessária em todas as condições sazonais, embora com ligeira redução da eficiência relativamente à opção principal.

- Como **terceira alternativa**, definiu-se o regime também com  $T_{cond,out} = 50^{\circ}\text{C}$ , mas com um  $\Delta T$  máximo no condensador de  $10^{\circ}\text{C}$ . Neste caso, os caudais operacionais são de 9,07 l/s no condensador e 13,96 l/s no evaporador. Esta condição traduz-se num equilíbrio distinto entre potência térmica fornecida e potência elétrica absorvida, permitindo uma maior flexibilidade operacional, sobretudo em períodos de carga parcial, ainda que a eficiência global se mantenha inferior à da configuração ótima.

Na Tabela 3 do ANEXO D 5.3.6 encontram-se mais informações sobre estes regimes.

Estas duas alternativas devem ser entendidas como estratégias de contingência, concebidas para garantir que, mesmo que a condição ótima não seja exequível por razões técnicas (limitações hidráulicas, controlo da regulação, restrições operacionais ou falhas de implementação), é possível recorrer a outros regimes de funcionamento mais económicos que o atual, que também asseguram a satisfação das cargas térmicas do edifício.

**Em termos de implementação prática, recomenda-se que todas estas opções sejam devidamente validadas no local, de modo a confirmar as previsões de desempenho e poupança obtidas e assegurar a continuidade operacional do sistema.**



## 5 Conclusão

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho, resumindo os resultados obtidos e discutidos. São ainda destacadas as dificuldades identificadas durante o desenvolvimento do estudo e apresentadas recomendações para melhorias futuras do sistema e das metodologias utilizadas.

### 5.1 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo principal a análise da viabilidade técnica e económica da otimização do sistema de produção de água quente da fábrica em estudo, especificamente através da avaliação da temperatura de água quente mínima produzida pelas bombas de calor 2 e 3, que satisfaça as necessidades climáticas da empresa ao longo do ano absorvendo a menor quantidade de energia elétrica possível. A investigação centrou-se na estimativa da energia calorífica por grau de temperatura exterior, na atribuição de novos regimes de produção de água quente e  $\Delta T$  máximo para as bombas de calor e na comparação entre o regime atual de caudal fixo e duas alternativas propostas: bombeamento constante e bombeamento variável, considerando o impacto da temperatura exterior no desempenho energético do sistema.

A metodologia desenvolvida permitiu estabelecer uma relação rigorosa entre as necessidades térmicas da fábrica e as condições climáticas exteriores, através da análise da ocorrência de cada grau de temperatura e da caracterização detalhada dos consumos de água aquecida pelos diversos circuitos de distribuição ligados às bombas de calor em questão. Esta abordagem possibilitou uma avaliação quantitativa precisa das poupanças energéticas potenciais de cada regime proposto.

O regime final selecionado, entre todas as opções apresentadas na Tabela 3.5, que foi considerado o mais adequado para substituir o regime de produção atual é:

- **Bombeamento Constante** - Nova temperatura de produção de água quente: 45°C |  $\Delta T_{\text{máximo}}$  entre a entrada e a saída da água quente do condensador: 10°C | Novo caudal a operar nas bombas de circulação constantes para o condensador e evaporador: 9,33 L/s e 14,8 L/s, respetivamente.

Os resultados obtidos demonstraram que este novo regime alternativo proporciona melhorias significativas face ao regime atual. Apresenta uma redução média de energia elétrica absorvida para o período estudado de 35,21%, mantendo a estabilidade operacional em todo o espetro térmico analisado, com poupanças que variaram entre 26,05% (a 24°C) e 36,90% (a 15°C).

Recomenda-se inequivocamente a implementação deste regime. Este oferece poupanças energéticas substanciais e consistentes ao longo do período de aquecimento, sem os riscos operacionais associados a um sistema de bombeamento variável, dispensando investimentos adicionais e garantindo maior previsibilidade e estabilidade operacional. O regime recomendado alinha-se com as melhores práticas da engenharia industrial, priorizando simultaneamente a eficiência energética, segurança operacional e racionalização económica.

Este resultado tem implicações diretas na estratégia de implementação operacional inicialmente prevista. Conforme descrito na secção 3.4.2, havia sido planeada uma abordagem de **gestão sazonal** dos regimes de produção de calor, onde se procederiam a alterações operacionais em quatro momentos específicos do ano, correspondentes ao início de cada estação climática. Esta estratégia baseava-se na avaliação das temperaturas exteriores mínimas de cada estação com incidência igual ou superior a 1%, prevendo diferentes regimes para diferentes períodos sazonais.

## Conclusão

Contudo, os resultados da análise comparativa demonstraram que a configuração de bombeamento constante recomendada é consistentemente superior em todo o espectro térmico analisado, não havendo justificação técnica ou económica para a implementação de regimes alternativos em função da sazonalidade. Esta conclusão elimina a necessidade de proceder a alterações sazonais das condições operacionais. Consequentemente, a implementação da solução proposta torna-se significativamente mais simples do ponto de vista operacional, uma vez que se pode estabelecer um regime **único e permanente** para o sistema, dispensando intervenções periódicas de reconfiguração sazonal. Esta simplificação operacional representa uma vantagem adicional da solução recomendada, reduzindo:

- A complexidade de gestão técnica do sistema.
- O risco de erros humanos durante as transições sazonais.
- Os custos operacionais associados às intervenções de reconfiguração.

A implementação desta solução permitirá à empresa alcançar os seus objetivos de descarbonização e eficiência energética mais rapidamente, contribuindo para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do SGCIE e das diretrizes europeias para a transição energética industrial. As poupanças energéticas estimadas de aproximadamente 35% representam uma contribuição significativa para a redução da pegada carbónica da instalação, demonstrando que é possível conciliar objetivos ambientais com viabilidade económica através de soluções tecnicamente robustas e bem fundamentadas. Este trabalho contribui para o conhecimento científico na área da otimização de sistemas térmicos industriais, fornecendo uma metodologia rigorosa para a avaliação comparativa de configurações de bombeamento em sistemas de produção de água quente com bombas de calor, considerando as especificidades climáticas e operacionais da indústria.

## 5.2 Dificuldades sentidas

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foram identificadas diversas limitações técnicas e operacionais que condicionaram a profundidade da análise e a precisão dos resultados obtidos. Estas dificuldades revelaram oportunidades de melhoria significativas no sistema de monitorização e controlo da instalação, cujas implementações permitiriam otimizar substancialmente a gestão energética e operacional da fábrica.

### 5.2.1 Deficiências na monitorização, aquisição e tratamento de dados

A principal limitação encontrada relaciona-se com a ausência de registos na GTC de parâmetros necessários para uma análise mais rigorosa do desempenho energético. Especificamente, verificou-se a falta de monitorização da totalidade da secção de climatização direcionada à zona de Pintura, constituindo uma lacuna crítica na supervisão de uma área com elevadas necessidades energéticas.

Adicionalmente, constatou-se a ausência de registo de caudal de água em cada uma das UTAs/UTANs, bem como nos circuitos principais, nomeadamente os circuitos de climatização Norte e Sul, climatização da área da pintura e permutadores de calor. Esta limitação impossibilitou a determinação rigorosa dos caudais mássicos reais para cada intervalo de tempo, obrigando à adoção de valores nominais de projeto que não refletem as condições operacionais efetivas.

Verificou-se igualmente a inexistência de medidores de temperatura da água em pontos estratégicos do sistema, particularmente após as baterias das UTAs e no final de cada circuito de distribuição, antes da entrada no coletor de retorno. A ausência destes sensores impede a determinação precisa dos gradientes térmicos reais ( $\Delta T$ ) nos permutadores, condicionando a avaliação da eficácia da transferência de calor.

Por último, identificou-se a falta de registo da temperatura do ar nas UTAs imediatamente antes da passagem deste pelas baterias de aquecimento/arrefecimento, impedindo a quantificação rigorosa das necessidades térmicas específicas de cada unidade.

## 5.2.2 Limitações no controlo de admissão de ar novo

Uma dificuldade adicional residiu na impossibilidade de determinar o tipo de programação implementada nos *dampers* de captação de ar novo. Esta lacuna compromete a avaliação precisa das cargas térmicas associadas ao tratamento do ar exterior, constituindo um fator de incerteza nos cálculos energéticos realizados.

## 5.2.3 Documentação técnica desatualizada

Constatou-se que alguns desenhos técnicos e plantas disponíveis não se encontravam completamente atualizados face às modificações implementadas na instalação ao longo do tempo. Esta desatualização dificultou a caracterização e compreensão rigorosa dos circuitos hidráulicos e a identificação precisa das interligações entre equipamentos.

## 5.3 Recomendações para melhoria do sistema

Com base nas limitações identificadas, propõem-se as seguintes medidas corretivas:

### 5.3.1 Implementação de medição sistemática de parâmetros críticos

Recomenda-se a instalação de sensores de temperatura em todos os pontos estratégicos do sistema, incluindo nas saídas das baterias das UTAs no circuito da água, nos pontos finais de cada circuito de distribuição antes do coletor de retorno e na entrada do ar imediatamente antes das baterias das unidades de tratamento de ar. Adicionalmente, sugere-se a implementação de caudalímetros em todos os circuitos principais para monitorização contínua dos caudais mássicos.

### 5.3.2 Inspeções periódicas de calibração

Propõe-se o estabelecimento de um programa de inspeções periódicas para verificação do estado e calibração de todos os sensores e equipamentos de medição das propriedades termo-hidráulicas do sistema. Este programa deve englobar verificações trimestrais dos sensores considerados críticos e calibrações anuais de todos os equipamentos de medição.

A calibração deve ser efetuada prioritariamente segundo as normas e recomendações técnicas presentes nas fichas dos respetivos fabricantes. Caso essas instruções não estejam disponíveis ou não sejam suficientemente detalhadas, deve-se recorrer às normas internacionais reconhecidas para calibração e inspeção periódica. Destacam-se neste âmbito a norma ISO/IEC 17025, que define os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, a ISO 10012, específica para processos de medição e calibração de equipamentos, e a ISO 9001, vocacionada para a gestão da qualidade dos processos laboratoriais. O cumprimento destes referenciais assegura a rastreabilidade metrológica, a fiabilidade e reprodutividade dos resultados obtidos, e a conformidade com as melhores práticas internacionais [46].

Devido às conclusões retiradas no ponto 4.3, é aconselhada a avaliação e conseqüente calibração dos medidores e sondas associadas às UTAs do revestimento.

### 5.3.3 Atualização do sistema GTC

A recomendação mais significativa consiste na atualização da GTC atual, classificada como Classe C, para uma Classe A. Esta atualização permitiria implementar funcionalidades avançadas de automação e controlo, incluindo [41]:

- Controlo adaptativo baseado na deteção de ocupação e qualidade do ar interior.
- Integração multidisciplinar entre sistemas AVAC, iluminação e proteção solar.
- Algoritmos de otimização energética em tempo real.
- Capacidades de diagnóstico automático e manutenção preditiva.
- Alteração do funcionamento dos geradores de energia térmica conforme a necessidade.

A classificação A, definida pela norma EN ISO 52120-1, representa o mais elevado nível de automação e controlo, oferecendo funcionalidades de gestão técnica avançada com potencial de poupanças energéticas adicionais de 10-20% relativamente aos sistemas Classe C [37].

### 5.3.4 Atualização da documentação técnica

Recomenda-se a elaboração de plantas e desenhos técnicos atualizados, refletindo fielmente a configuração atual da instalação, incluindo todas as modificações implementadas e as interligações entre sistemas.

### 5.3.5 Remoção do Permutador *PP4*

Com a alteração da temperatura de produção de água quente para 45°C, e tendo em consideração que as baterias de água quente das UTAs da Investigação e Desenvolvimento e do Serviço Técnico foram especificamente dimensionadas para receber água a esta temperatura, não faz sentido manter o permutador *PP4* em funcionamento entre o coletor de avanço e estes equipamentos. Nestas condições, o *PP4* apenas introduz perdas térmicas adicionais ao sistema, funcionando como um elemento redundante e ineficaz. Por isso, recomenda-se a sua remoção para garantir maior eficiência energética e evitar dissipações desnecessárias.

### 5.3.6 Recuperação de calor nos chillers através de permutadores dedicados

Outra medida recomendada para trabalhos futuros consiste na análise detalhada da viabilidade técnica e energética de utilizar a função de recuperação de calor dos chillers ar-água (Chiller 1, 2 e 3) instalados. Estes equipamentos dispõem de permutadores de calor de placas, em contacto com o condensador, que permitem a transferência do calor rejeitado para um circuito de água, em vez da dissipação direta para o ar ambiente. As tubagens de ligação e a bomba de circulação encontram-se já instaladas com outro propósito, pelo que o investimento em infraestrutura é considerado nulo, dado que apenas é necessário desmontar as tubagens, tratá-las e conectá-las ao coletor de avanço de água quente.

O princípio de funcionamento baseia-se no facto de, durante a operação normal de refrigeração, os chillers rejeitam para o condensador uma quantidade significativa de energia térmica. Esta energia, em vez de ser dissipada no ambiente através dos ventiladores de ar, pode ser desviada para aquecer um circuito de água. Esse circuito, devidamente acoplado ao coletor de avanço do sistema hidráulico, contribuiria para elevar naturalmente a temperatura de alimentação sem necessidade de ativar tão frequentemente as bombas de calor. Deste modo, seria possível reduzir o consumo energético global associado ao aquecimento de água para climatização.

Para avaliar esta possibilidade de forma rigorosa, seria necessário realizar um estudo teórico e de simulação com base nos seguintes elementos:

- **Balço energético comparativo:** quantificação da energia recuperável nos permutadores e comparação direta com as necessidades térmicas do coletor de avanço.
- **Análise do potencial de substituição:** estimativa da fração de carga de aquecimento que poderia ser assegurada pela recuperação de calor, e conseqüente redução no tempo de funcionamento das bombas de calor.
- **Modelação hidráulica:** estudo das condições de caudal, perdas de carga e integração física dos permutadores com o circuito existente, assegurando compatibilidade operacional.
- **Impacto na eficiência global:** cálculo da melhoria do desempenho energético do sistema, expresso em indicadores como o COP combinado dos chillers em modo de recuperação de calor.
- **Análise sazonal:** consideração das variações de carga ao longo do ano, de forma a identificar períodos com maior simultaneidade entre necessidades de frio e de calor, em que a recuperação apresenta maior benefício. Dado que os chillers acoplados a esse sistema operam mais predominantemente na época de aquecimento (inverno), a recuperação de calor seria elevada justamente no período onde é mais necessária, quando há mais necessidade de energia calorífica.

Em síntese, a exploração do potencial de recuperação de calor dos chillers representa uma oportunidade concreta para aumentar a eficiência energética do sistema de climatização fabril.

A implementação destas recomendações não apenas eliminaria as limitações identificadas, mas também proporcionaria uma plataforma tecnológica robusta para futuras otimizações energéticas, contribuindo significativamente para os objetivos de eficiência energética e descarbonização da instalação industrial.

## Conclusão

## Referências

- [1] JOTA96 – Projetos de Engenharia, Auditoria e Formação, Lda, “Relatório de auditoria – leica pren – 2022, relatório final n.º 2022aap01,” tech. rep., JOTA96 – Projetos de Engenharia, Auditoria e Formação, Lda, Braga, Portugal, 2022. Conduzida pela JOTA96.
- [2] W. F. Stoecker and J. M. S. Jabardo, *Refrigeração Industrial*. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed., 2006.
- [3] Trane Technologies, *Water-cooled Liquid Chillers with Helical Rotary Compressors RTSF: 180-385kW (R1234ze / R515B)*. Trane Technologies, Jul 2024. Reference: RLC-SVX023D-GB.
- [4] O Instalador, “Fundamentos das bombas de calor,” Mar 2020. Consultado em 2 de maio de 2025.
- [5] R. American Society of Heating and A.-C. Engineers, *ASHRAE Handbook 2020: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment*. Atlanta, GA: ASHRAE, 2020.
- [6] L. C. AG, “Esquema de princípio da central térmica da empresa leica.” Documento técnico interno, não publicado, 2025.
- [7] Leica, “Dados operacionais recolhidos da gtc (easycontrol).” Sistema de Gestão Técnica Centralizada da Leica, 2024. Acesso interno.
- [8] Trane Technologies, “Trane city™ rtsf water-to-water heat pump.” <https://trane.eu/uk/equipment/product-details.html?prodId=222>, 2025. Acessado em 18 de agosto de 2025.
- [9] J. Pimenta, “Folhas de cálculo em microsoft excel para a tese.” Ficheiros de trabalho elaborados pelo autor, 2025. Não publicado.
- [10] G. of Portugal, “Plano nacional energia e clima 2021-2030 (pnec 2030).” Government Document, 2024. Created on 1 de outubro de 2024.
- [11] Trane, “Leica rtsf 100 hse - product report,” tech. rep., Trane Technologies, 2025. Job Name: 60C-001-00-367139 - A3-LEICA, Unit Tag: LEICA RTSF 10, LEICA RTSF -1. Relatório gerado pelo software Trane Select Assist, versão 297.
- [12] L. C. AG, “Consumos energéticos da empresa leica, anos fiscais 2023–2024, 2024–2025 e 2025–2026.” Ficheiro Excel interno, 2025. Dados fornecidos pela empresa Leica.
- [13] Grundfos, *Bomba Grundfos TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1*, 2025. Version: A96108720P222470009, Product No.: 99345675.
- [14] D.-G. de Energia e Geologia (DGEG), “Supervisão e fiscalização do sgcie,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [15] France Air Portugal, *Ficha Técnica da Systair® EC – Bateria de Aquecimento a Água Quente Circular*, 2025. Unidades Terminais, Baterias de Conduta, versão isolada.

## Referências

- [16] International Energy Agency (IEA), “Industry - energy system,” 2024. Accessed: 2024-12-09.
- [17] Leica Camera AG, “Leica Portugal official website,” n.d. Accessed: 2024-12-21.
- [18] C. of the European Union, “The European green deal,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [19] C. of the European Union, “Climate change policies of the European Union,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [20] S. de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), “Sgcie - sistema de gestão dos consumos intensivos de energia,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [21] S. de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), “Planos de racionalização,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [22] M. Åhman, L. J. Nilsson, and B. Johansson, “Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries,” *Climate Policy*, vol. 17, no. 5, pp. 634–649, 2016.
- [23] “EN 378-1:2016 – refrigerating systems and heat pumps – safety and environmental requirements – part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria,” 2016. Annex E included.
- [24] DuPont, “Thermodynamic properties of hfc-134a,” Technical Bulletin T-134a-Eng, DuPont Fluorochemicals, Wilmington, DE, USA, 2000. Suva Refrigerants.
- [25] Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, “Regulamento (UE) n.º 517/2014 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de abril de 2014, relativo aos gases fluoreados com efeito de estufa e que revoga o Regulamento (CE) n.º 842/2006.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32014R0517>, 2014. Jornal Oficial da União Europeia, L 150, 20.5.2014, p. 195–230.
- [26] GAS SERVEI, S.A., “R-1234ze – Dados Técnicos.” <https://gasservei.com>, 2024. Ficha técnica do refrigerante HFO-1234ze (trans-1,3,3,3-tetrafluoropropeno).
- [27] ASHRAE, “ANSI/ASHRAE Addendum f to ANSI/ASHRAE Standard 34-2019: Designation and Safety Classification of Refrigerants.” <https://www.ashrae.org>, 2020. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [28] ehpa, “What is a heat pump?,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [29] ehpa, “Types of heat pumps,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [30] “Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling — testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance,” 2012. BS EN 14825:2012.
- [31] ehpa, “What is the COP?,” 2024. Accessed: 2024-12-21.
- [32] J. F. Urchueguia, M. Zacaes, J. M. Corberan, A. Montero, J. Martos, and H. Witte, “Comparison between the energy performance of a ground coupled water to water heat pump system and an air to water heat pump system for heating and cooling in typical conditions of the European Mediterranean coast,” *Energy*, vol. 33, no. 7, pp. 1073–1086, 2008.
- [33] Portal de Eficiência Energética, “Capítulo 4: Produção de calor e frio,” 2024. Acessado em 9 de maio de 2025.
- [34] M. Thirugnanasambandam, S. Iniyan, and R. Goic, “A review of solar thermal technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 312–322, 2010.

- [35] Dinçer and C. Zamfirescu, *Sustainable Energy Systems and Applications*. Springer, New York, NY, 2012.
- [36] Trane, *Installation, Operation, Maintenance: RTAD-SVX01F-E4*, n.d. Manual técnico do equipamento RTAD-SVX01F-E4.
- [37] B. H. AG, “Belimo energy valve application guide.” <https://www.belimo.com>, n.d.
- [38] O. S. Castro, “MECFI 2023/2024 - 2<sup>o</sup> Semestre: Mecânica de Fluidos Industriais,” 2024. Apontamentos da unidade curricular.
- [39] EURAMET, “European association of national metrology institutes (euramet).” <https://www.euramet.org>, 2025. Acedido em: 2024-12-21.
- [40] Auditene, “Concurso auditene 2008 – redes de Água / instalações avac,” tech. rep., Auditene, Lisboa, 2008. Documento de concurso técnico.
- [41] International Organization for Standardization, “ISO 52120-1:2021 - Energy performance of buildings — Contribution of building automation, controls and building management — Part 1: General framework and procedures.” Standard, 2021. ISO, Geneva, Switzerland.
- [42] LNEC and INMG, “Temperaturas exteriores de projeto e número de graus-dias,” tech. rep., Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), Lisboa, 1989.
- [43] R. Kent, “Chapter 4 - services,” in *Energy Management in Plastics Processing (Third Edition)*, pp. 105–210, Elsevier, 3 ed., 2018.
- [44] Grundfos, *Bomba Grundfos TPED 80-240/4 S-A-F-A-BQQE-LWA*, 2025. Product No.: 99132856.
- [45] Grundfos, “Tped 80-240/4 s.a.f.a. bqqe lwa,” 2025. Acedido em: 15 de setembro de 2025.
- [46] International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, “ISO/IEC 17025:2017 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.” Standard, 2017. ISO/IEC, Geneva, Switzerland.

## Referências

## Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração. Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim. Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP),

João Pedro Paiva Guimarães Pimenta

Porto, 14 de setembro de 2025

## Declaração de Integridade



## Apêndice A - Códigos de programação auxiliares ao procedimento

```

Determinação da % de ar novo

In [ ]: import pandas as pd
#Ts = Temperatura de setpoint | Tn = Temperatura exterior | Te = Temperatura de retorno
#Para esta UTA, a % mínima de ar novo é de 10%

def calcular_ar_novo(row):
    # Verifica se Ts é "off" (desligado)
    if str(row['Ts']).lower() == 'off':
        return 0

    try:
        Te, Tn, Ts = float(row['Te']), float(row['Tn']), float(row['Ts'])
    except (ValueError, TypeError):
        return None # Caso os valores não sejam numéricos

    # Todas as 13 condições
    if Tn < Te < Ts: # Condição 1
        return 10
    elif Tn < Ts < Te: # Condição 2
        delta_Tn = abs(Tn - Ts)
        delta_Te = abs(Te - Ts)
        return 50 if delta_Tn < delta_Te else 10
    elif Te < Tn < Ts: # Condição 3
        return 100
    elif Te < Ts < Tn: # Condição 4
        delta_Tn = abs(Tn - Ts)
        delta_Te = abs(Te - Ts)
        return 50 if delta_Te < delta_Tn else 10
    elif Ts < Tn < Te: # Condição 5
        return 100
    elif Ts < Te < Tn: # Condição 6
        return 10
    elif Tn == Te < Ts: # Condição 7
        return 10
    elif Tn == Te > Ts: # Condição 8
        return 10
    elif Tn == Ts < Te: # Condição 9
        return 100
    elif Tn == Ts > Te: # Condição 10
        return 100
    elif Te == Ts < Tn: # Condição 11
        return 10
    elif Te == Ts > Tn: # Condição 12
        return 10
    elif Tn == Te == Ts: # Condição 13
        return 10
    else:
        return None # Caso inválido

# Leitura do Excel
df = pd.read_excel(
    "Calculos Mecanica.xlsx",
    sheet_name="Sem recuperador",
    usecols="A:D",
    header=0
)
df.columns = ["Timestamp", "Te", "Tn", "Ts"]

# Cálculos
df['% Ar Novo'] = df.apply(calcular_ar_novo, axis=1)
df['% Ar Reciclado'] = df.apply(
    lambda row: 0 if str(row['Ts']).lower() == 'off' else (100 - row['% Ar Novo']) if pd.notna(row['% Ar Novo']) else None,
    axis=1
)

# Salvar resultados
df.to_excel("Resultados_Ar_Novo_Reciclado.xlsx", index=False)
print("Processamento concluído. Resultados salvos em 'Resultados_Ar_Novo_Reciclado.xlsx'.")
print(df.head())

```

## Funcionamento do recuperador de calor Ar-Ar

```
In [1]: #T_ext = Temperatura exterior, T_ret = Temperatura de retorno, setpoint = Temperatura de setpoint

import pandas as pd

def calculate_recovery_efficiency(setpoint, T_ext, T_ret):
    """Calcula o rendimento do recuperador conforme as condições térmicas"""
    try:
        setpoint = float(setpoint)
    except:
        return 0 # Retorna 0 se dados inválidos

    if T_ext < setpoint: # Modo aquecimento
        return 76 if T_ext < 0 else 74
    elif T_ext > setpoint: # Modo resfriamento
        return 69 if T_ext > 30 else 87
    else:
        return 0 # Temperaturas equilibradas

def get_recovery_status(row):
    """Retorna APENAS o modo de operação e rendimento do recuperador"""
    try:
        if str(row['Setpoint']).lower() == 'off':
            return pd.Series({
                'Modo_Operacao': 'Sistema Desligado',
                'Rendimento_Recuperador': 0
            })

        setpoint = float(row['Setpoint'])
        T_ext = float(row['Texterior'])
        T_ret = float(row['T extração'])
        perc_novo = float(row['% Ar Novo'])

        if perc_novo == 0:
            return pd.Series({
                'Modo_Operacao': 'Sem Ar Novo',
                'Rendimento_Recuperador': 0
            })

        if T_ext < setpoint and T_ret > T_ext: # Recuperação de calor
            return pd.Series({
                'Modo_Operacao': 'Recuperação de Calor',
                'Rendimento_Recuperador': calculate_recovery_efficiency(setpoint, T_ext, T_ret)
            })
        elif T_ext > setpoint and T_ret < T_ext: # Recuperação de frio
            return pd.Series({
                'Modo_Operacao': 'Recuperação de Frio',
                'Rendimento_Recuperador': calculate_recovery_efficiency(setpoint, T_ext, T_ret)
            })
        else:
            return pd.Series({
                'Modo_Operacao': 'Bypass',
                'Rendimento_Recuperador': 0
            })
    except:
        return pd.Series({
            'Modo_Operacao': 'Dados Inválidos',
            'Rendimento_Recuperador': 0
        })

# Processamento principal
if __name__ == "__main__":
    try:
        print("Carregando dados...")
        df = pd.read_excel(
            "Calculos ST.xlsx",
            sheet_name="Com recuperador",
            usecols=["Timestamp", "T extração", "Texterior", "Setpoint", "% Ar Novo"],
            parse_dates=["Timestamp"]
        )

        print("Calculando modo e rendimento...")
        result = df.apply(get_recovery_status, axis=1)
        df = pd.concat([df[['Timestamp']], result], axis=1) # Mantém apenas timestamp + resultados

        df.to_excel("Resultados_Recuperador.xlsx", index=False)
        print("Concluído! Arquivo 'Resultados_Recuperador.xlsx' gerado.")
    except Exception as e:
        print(f"Erro: {str(e)}")
```

Estimativa dos coeficientes de correção da potência térmica nominal das baterias das UTAs/UTANS

```
In [1]: import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.interpolate import griddata, Rbf

# Dados tabelados originais retirados da ficha técnica de uma bateria de aquecimento de uma UTA da instalação.
# Coeficientes de correção da potência térmica nominal das baterias das UTAs/UTANS
data = {
    'T_entrada_ar': ['45/40', '50/30', '50/45', '60/40', '65/45', '70/50', '75/55', '80/60', '85/65', '90/70', '95/75'],
    '-15': [0.8, 0.87, 0.87, 1, 1.07, 1.15, 1.23, 1.3, 1.38, 1.45, 1.52],
    '-10': [0.73, 0.8, 0.8, 0.92, 1, 1.07, 1.15, 1.23, 1.3, 1.38, 1.45],
    '-5': [0.67, 0.73, 0.73, 0.84, 0.92, 1, 1.07, 1.15, 1.23, 1.3, 1.38],
    '0': [0.6, 0.67, 0.67, 0.76, 0.84, 0.92, 1, 1.07, 1.15, 1.23, 1.3],
    '+5': [0.53, 0.6, 0.6, 0.69, 0.76, 0.84, 0.92, 1, 1.07, 1.15, 1.23],
    '+10': [0.47, 0.53, 0.53, 0.61, 0.69, 0.76, 0.84, 0.92, 1, 1.07, 1.15],
    '+15': [0.49, 0.47, 0.47, 0.53, 0.61, 0.69, 0.76, 0.84, 0.92, 1, 1.07],
    '+20': [0.33, 0.49, 0.49, 0.45, 0.53, 0.61, 0.69, 0.76, 0.84, 0.92, 1],
    '+25': [0.27, 0.33, 0.33, 0.39, 0.45, 0.53, 0.61, 0.69, 0.76, 0.84, 0.92],
    '+30': [0.2, 0.27, 0.27, 0.31, 0.39, 0.45, 0.53, 0.61, 0.69, 0.76, 0.84]
}

df = pd.DataFrame(data)
df.set_index('T_entrada_ar', inplace=True)

# Preparar dados para interpolação 3D
points = []
values = []

for col in df.columns:
    temp_ar = int(col)
    for temp in df.index:
        ti, to = map(int, temp.split('/'))
        points.append([ti, to, temp_ar])
        values.append(df.loc[temp, col])

points = np.array(points)
values = np.array(values)

# Criar função de interpolação radial (mais suave)
rbf = Rbf(points[:,0], points[:,1], points[:,2], values, function='thin_plate')

# Função melhorada de extrapolação
def smart_extrapolate(target_in, target_out, target_ar):
    # 1. Tentar interpolação RBF primeiro
    try:
        result = rbf(target_in, target_out, target_ar)

        # 2. Se resultar em valor extremo, aplicar correção
        if result < min(values) or result > max(values):
            # Encontrar 3 pontos mais próximos em cada dimensão
            dist = np.linalg.norm(points - [target_in, target_out, target_ar], axis=1)
            nearest_indices = np.argsort(dist, 3)[:3]
            weights = 1/(dist[nearest_indices]+1e-6)
            result = np.average(values[nearest_indices], weights=weights)

        return round(float(result), 3)
    except:
        # Fallback: média ponderada dos 5 pontos mais próximos
        dist = np.linalg.norm(points - [target_in, target_out, target_ar], axis=1)
        nearest_indices = np.argsort(dist, 5)[:5]
        weights = 1/(dist[nearest_indices]+1e-6)
        return round(float(np.average(values[nearest_indices], weights=weights)), 3)

# Valores para extrapolar
new_temps = [
    '45/40', '45/35', '45/30', '45/25',
    '50/45', '50/40', '50/35',
    '55/50', '55/45', '55/40',
    '60/55', '60/50', '60/45', '60/56'
]

input_temps = [-5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35]

# Calcular todos os valores
results = {}
for temp in new_temps:
    ti, to = map(int, temp.split('/'))
    row = []
    for input_temp in input_temps:
        val = smart_extrapolate(ti, to, input_temp)
        row.append(val)
    results[temp] = row
```

```

# Criar DataFrame com resultados
result_df = pd.DataFrame(results, index=input_temps)

# Função para exportar com formatação condicional se xlswriter estiver disponível
def export_to_excel(df, filename):
    try:
        # Tentar usar xlswriter para formatação
        with pd.ExcelWriter(filename, engine='xlswriter') as writer:
            df.to_excel(writer, sheet_name='Resultados', float_format='%.3f')

            workbook = writer.book
            worksheet = writer.sheets['Resultados']

            # Formatar células extrapoladas
            fmt_extrapolated = workbook.add_format({'bg_color': '#FFF2CC'})

            for col_num, temp in enumerate(df.columns, start=1):
                ti, to = map(int, temp.split('/'))
                for row_num, temp_ar in enumerate(df.index, start=1):
                    if temp_ar > 30 or to < 40 or to > 55:
                        worksheet.write(row_num, col_num, df.iloc[row_num-1, col_num-1], fmt_extrapolated)

            print(f"Arquivo '{filename}' criado com formatação condicional!")

    except ImportError:
        # Fallback simples se xlswriter não estiver disponível
        df.to_excel(filename, float_format='%.3f')
        print(f"Arquivo '{filename}' criado (sem formatação condicional - instale xlswriter para formatação)")

# Exportar resultados
export_to_excel(result_df, 'resultados_extrapolados_melhorados2.xlsx')

# Mostrar resultados no console
print("\nResultados extrapolados:")
print(result_df.to_string(float_format='%.3f'))

```

Arquivo 'resultados\_extrapolados\_melhorados2.xlsx' criado (sem formatação condicional - instale xlswriter para formatação)

```

Resultados extrapolados:
      45/40  45/35  45/30  45/25  50/45  50/40  50/35  55/50  55/45  55/40  60/55  60/50  60/45  60/56
-5  0.670  0.669  0.672  0.675  0.730  0.726  0.727  0.806  0.791  0.781  0.884  0.869  0.853  0.887
0   0.600  0.603  0.610  0.614  0.670  0.658  0.659  0.738  0.722  0.709  0.813  0.796  0.777  0.817
5   0.530  0.535  0.546  0.552  0.600  0.585  0.588  0.669  0.651  0.637  0.743  0.724  0.704  0.747
10  0.470  0.483  0.486  0.491  0.530  0.522  0.524  0.599  0.576  0.563  0.675  0.654  0.630  0.679
15  0.490  0.452  0.442  0.443  0.470  0.490  0.485  0.544  0.518  0.504  0.610  0.588  0.557  0.613
20  0.330  0.367  0.397  0.393  0.490  0.425  0.433  0.496  0.479  0.446  0.542  0.520  0.486  0.545
25  0.270  0.275  0.295  0.306  0.330  0.324  0.328  0.411  0.383  0.362  0.467  0.444  0.412  0.470
30  0.200  0.203  0.214  0.219  0.270  0.251  0.252  0.329  0.304  0.283  0.389  0.368  0.340  0.392
35  0.236  0.241  0.267  0.272  0.265  0.258  0.247  0.253  0.236  0.220  0.310  0.294  0.272  0.313

```

Novo regime otimizado

In [10]: *#Encontra, a partir dos valores fornecidos pela Trane, o regime mais eficiente face as necessidades térmicas por grau exterior.*

```
import pandas as pd

# Carrega os ficheiros
df_bombas = pd.read_excel("Tabelas_bomba.xlsx", sheet_name="Variável")
df_q = pd.read_excel("Q_necessario.xlsx", sheet_name="Sheet1")

# Normaliza nomes
df_bombas.rename(columns={
    'load_percent': 'Load',
    'Q_kw': 'Q_util',
    'Pe_kw': 'P_el'
}, inplace=True)
df_q.columns = ['T_ext', 'Q_necessario']

# Limpa e converte
df_bombas.dropna(subset=['Load', 'Q_util', 'P_el', 'COP'], inplace=True)
df_bombas[['Load', 'Q_util', 'P_el', 'COP']] = df_bombas[['Load', 'Q_util', 'P_el', 'COP']].astype(float)
df_bombas = df_bombas[df_bombas['P_el'] > 0]

# Geração de combinações válidas
def gera_combinacoes(df, Q_objetivo):
    combinacoes_validas = []
    todas_combinacoes = []

    for _, row1 in df.iterrows():
        Q1, P1, COP1 = row1['Q_util'], row1['P_el'], row1['COP']
        todas_combinacoes.append({
            'Q_total': Q1,
            'P_total': P1,
            'COP_medio': COP1,
            'Estratégia': '1 bomba',
            'Configuração': [row1.to_dict()]
        })

    if Q1 >= Q_objetivo:
        combinacoes_validas.append(todas_combinacoes[-1])

    for _, row2 in df.iterrows():
        Q_sum = Q1 + row2['Q_util']
        P_sum = P1 + row2['P_el']
        COP_medio = Q_sum / P_sum
        todas_combinacoes.append({
            'Q_total': Q_sum,
            'P_total': P_sum,
            'COP_medio': COP_medio,
            'Estratégia': '2 bombas',
            'Configuração': [row1.to_dict(), row2.to_dict()]
        })

    if Q_sum >= Q_objetivo:
        combinacoes_validas.append(todas_combinacoes[-1])

    return combinacoes_validas, todas_combinacoes

# Geração dos resultados detalhados
resultados = []

for _, linha in df_q.iterrows():
    T_ext = linha['T_ext']
    Q_obj = linha['Q_necessario']

    validas, todas = gera_combinacoes(df_bombas, Q_obj)

    if validas:
        melhor = min(validas, key=lambda x: x['P_total'])
    else:
        melhor = max(todas, key=lambda x: (x['Q_total'], -x['P_total']))

    percentagem_cobertura = round(100 * melhor['Q_total'] / Q_obj, 2)

    # Extrai dados das bombas ligadas
    conf = melhor['Configuração']

    resultado = {
        'T_ext': T_ext,
        'Q_necessario': Q_obj,
        'Q_total': melhor['Q_total'],
        'P_total': melhor['P_total'],
        'COP_medio': melhor['COP_medio'],
        'Estratégia': melhor['Estratégia'],
        'percentagem_cobertura (%)': percentagem_cobertura
    }

    # Adiciona campos da bomba 1
    b1 = conf[0]
    resultado.update({
        'Load_b1': b1['Load'],

```

```

    'T_cond_in_b1': b1.get('T_cond_in', None),
    'T_cond_out_b1': b1.get('T_cond_out', None),
    'delta_T_b1': b1.get('delta_T', None),
    'Q_util_b1': b1['Q_util'],
    'P_el_b1': b1['P_el'],
    'Flow_Cond_b1 (L/s)': b1.get('Flow_Cond_(L/s)', None),
    'COP_b1': b1['COP']
})

# Se existir bomba 2
if len(conf) == 2:
    b2 = conf[1]
    resultado.update({
        'Load_b2': b2['Load'],
        'T_cond_in_b2': b2.get('T_cond_in', None),
        'T_cond_out_b2': b2.get('T_cond_out', None),
        'delta_T_b2': b2.get('delta_T', None),
        'Q_util_b2': b2['Q_util'],
        'P_el_b2': b2['P_el'],
        'Flow_Cond_b2 (L/s)': b2.get('Flow_Cond_(L/s)', None),
        'COP_b2': b2['COP']
    })
else:
    resultado.update({
        'Load_b2': None,
        'T_cond_in_b2': None,
        'T_cond_out_b2': None,
        'delta_T_b2': None,
        'Q_util_b2': None,
        'P_el_b2': None,
        'Flow_Cond_b2 (L/s)': None,
        'COP_b2': None
    })

resultados.append(resultado)

# Exporta
df_resultados = pd.DataFrame(resultados)
df_resultados.to_excel("Resultados_Analise_Bombas_Detalhado.xlsx", index=False)

print("✅ Análise final concluída – resultados completos exportados.")

```

✅ Análise final concluída – resultados completos exportados.



## Apêndice B - Relação entre a temperatura exterior e a potência térmica necessária retirar através dos circuitos AVAC Norte e Sul

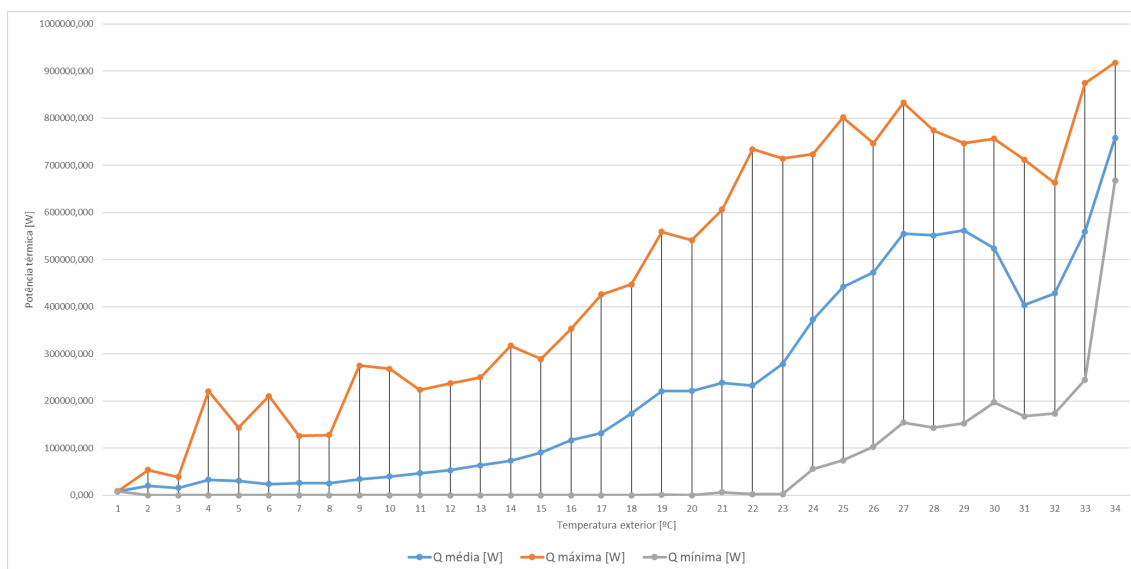


Figura 1:  $Q_{\text{média}}$  necessária,  $Q_{\text{máxima}}$  necessária e  $Q_{\text{mínima}}$  necessária retirar da fábrica em função da temperatura exterior [9]

Apêndice B

Tabela 1:  $Q_{\text{média necessária}}$  retirar à fábrica em função da temperatura exterior através dos circuitos de distribuição de água refrigerada AVAC Norte e Sul [9]

$T_{\text{exterior}}$ [°C]	$Q_{\text{média necessária}}$ [W]
4	32843
5	30493
6	23340
7	25887
8	25505
9	34018
10	39503
11	46669
12	52708
13	63666
14	73200
15	90528
16	116823
17	131365
18	173129
19	220857
20	221473
21	238675
22	232859
23	278262
24	372741
25	442217
26	472759
27	554667
28	551087
29	561683
30	523509

## Apêndice C - Relação entre a potência elétrica absorvida e a percentagem de carga das bombas de calor para diferentes regimes

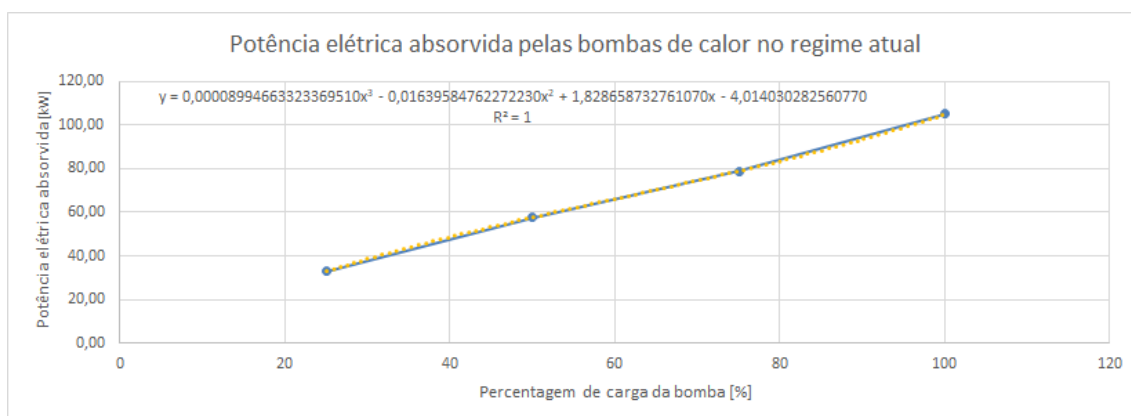


Figura 2:  $P_{\text{elétrica absorvida}}$  pelas bombas de calor no regime atual [9].

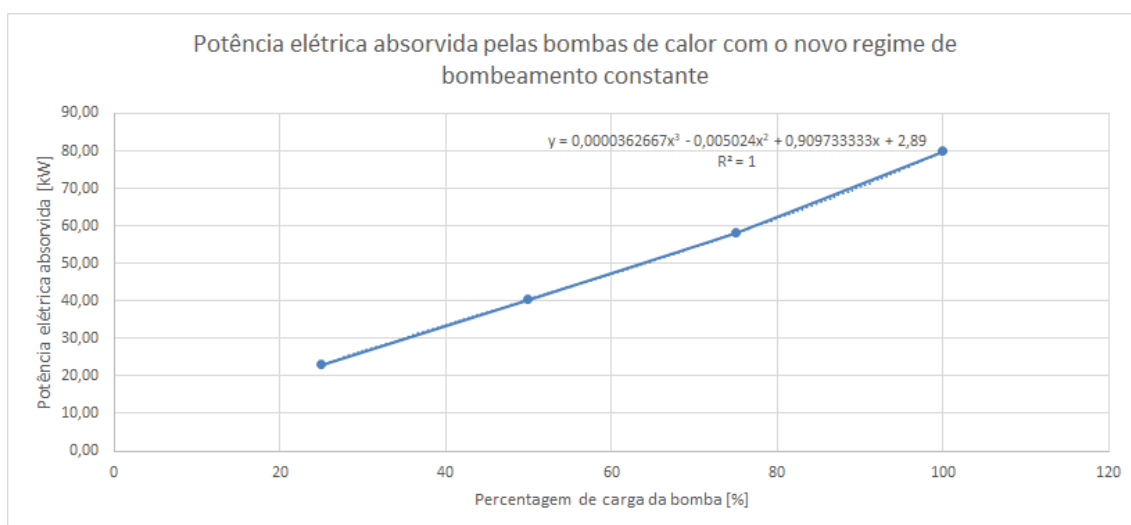


Figura 3:  $P_{\text{elétrica absorvida}}$  pelas bombas de calor com o novo regime de bombeamento constante [9].

## Apêndice C

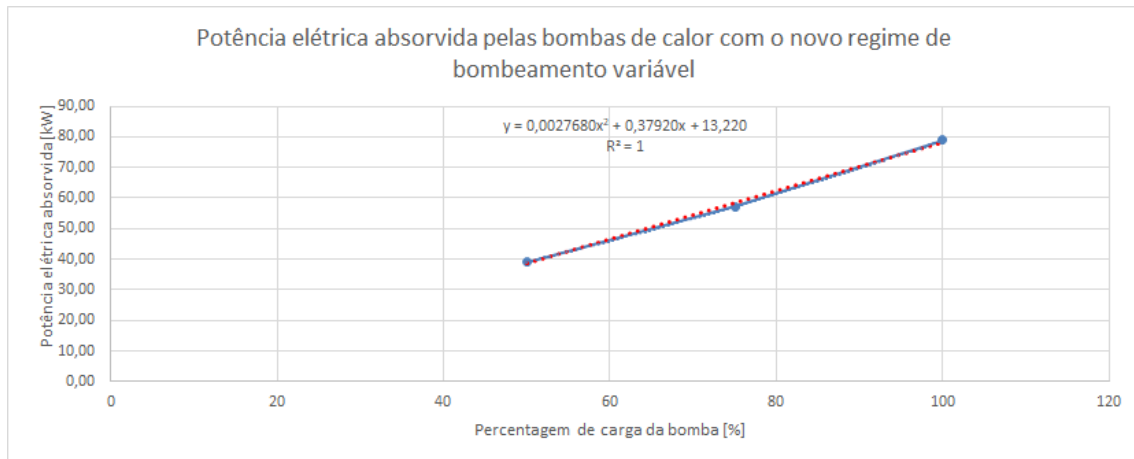


Figura 4:  $P_{\text{elétrica absorvida}}$  pelas bombas de calor com o novo regime de bombeamento variável [9].



## Apêndice D - Percentagem de tempo em que os regimes não cumprem a devida climatização necessária por equipamento

		Tentrada				
URC1	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	61,85	48,54	47,05	42,01	41,63
	10	58,84	53,62	49,00	44,13	
	15	56,72	53,12	51,46	47,52	
	20	57,02	-	-	-	
Q nominal	7200	W				

		Tentrada				
Colagem	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	6,95	4,87	2,39	1,06	1,06
	10	7,30	4,79	3,30	1,57	
	15	7,46	4,83	4,00	2,12	
	20	7,42	-	-	-	
Q nominal	33900	W				

		Tentrada				
Cozinha	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	2,95	0,98	0,38	0,00	0
	10	2,27	1,13	0,53	0,08	
	15	2,12	1,06	0,76	0,23	
	20	1,97	-	-	-	
Q nominal	37000	W				

		Tentrada				
URC2	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	44,46	34,04	29,20	22,88	22,75
	10	43,55	37,10	31,85	25,44	
	15	41,47	36,90	35,08	29,44	
	20	41,57	-	-	-	
Q nominal	10800	W				

		Tentrada				
Mecanica	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	5,36	5,19	4,67	4,15	4,15
	10	5,36	5,36	5,19	4,33	
	15	5,36	5,36	5,19	4,84	
	20	5,36	-	-	-	
Q nominal	380000	W				

		Tentrada				
Polimento	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	
	20	0	-	-	-	
Q nominal	141900	W				

		Tentrada				
Mecânica 2	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	75,48	70,44	66,55	60,99	60,99
	10	74,39	72,16	68,47	63,69	
	15	73,35	72,05	69,87	66,49	
	20	73,14	-	-	-	
Q nominal	25200	W				

		Tentrada				
Montagem Sul	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	6,98	1,20	1,02	0,62	0,62
	10	4,71	2,37	1,35	0,85	
	15	3,56	2,27	1,87	1,20	
	20	3,64	-	-	-	
Q nominal	174300	W				

		Tentrada				
URC3	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	3,23	1,73	0,43	0,12	0,12
	10	3,86	1,34	0,71	0,24	
	15	4,49	1,46	0,98	0,35	
	20	4,37	-	-	-	
Q nominal	14700	W				

		Tentrada				
Montagem Norte	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	20,23	7,53	7,12	5,40	5,35
	10	15,53	10,77	7,88	6,02	
	15	13,00	10,32	9,56	7,48	
	20	13,31	-	-	-	
Q nominal	145100	W				

		Tentrada				
Otica 3	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	88,60	85,05	84,23	78,90	78,6
	10	88,06	85,72	84,87	81,61	
	15	86,25	85,69	85,42	84,65	
	20	86,38	-	-	-	
Q nominal	17470	W				

Apêndice D

		Tentrada				
Otica 1	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	0,51	0,00	0,00	0,00	0
	10	0,29	0,07	0,00	0,00	
	15	0,22	0,00	0,00	0,00	
	20	0,22	-	-	-	
<b>Q nominal</b>	<b>158700</b>	<b>W</b>				

		Tentrada				
Otica 2	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	6,71	0,19	0,19	0,05	0,05
	10	4,03	1,13	0,19	0,05	
	15	2,53	0,70	0,52	0,19	
	20	2,67	-	-	-	
<b>Q nominal</b>	<b>158700</b>	<b>W</b>				

		Tentrada				
Revestimento 1	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	44,99	31,61	30,55	27,98	27,88
	10	41,22	36,03	32,26	28,89	
	15	38,40	35,28	34,27	31,35	
	20	38,70	-	-	-	
<b>Q nominal</b>	<b>53400</b>	<b>W</b>				

		Tentrada				
Cantina	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	5,13	1,09	0,72	0,30	0,3
	10	3,62	1,81	0,91	0,42	
	15	2,72	1,63	1,39	0,66	
	20	2,84	-	-	-	
<b>Q nominal</b>	<b>55000</b>	<b>W</b>				

		Tentrada				
Revestimento 2	% de não	45	50	55	60	60/56
Delta T	5	29,63	16,20	15,46	12,20	11,86
	10	26,31	21,08	16,47	13,42	
	15	23,05	20,47	18,85	15,73	
	20	23,25	-	-	-	
<b>Q nominal</b>	<b>53400</b>	<b>W</b>				

Centragem	% de não	Tentrada				60/56
		45	50	55	60	
Delta T	5	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	
	20	0	-	-	-	
Q nominal	64300	W				

Areamento	% de não	Tentrada				60/56
		45	50	55	60	
Delta T	5	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	
	20	0	-	-	-	
Q nominal	73440	W				

Apêndice D

Critério 1 importância  
 Critério 2 importância

1  
 0

	Critério 1	Qdesign (w)	Critério 2
URC 1	0	7200	0
URC 2	0	10800	0,009656652
URC 3	0	14700	0,020118026
Mecânica 2	0	25200	0,048283262
Otica 3	1	17470	0,027548283
Cantina	0	55000	0,128218884
Centragem	1	64300	0,153165236
Colagem	1	33900	0,071620172
Mecanica	1	380000	1
Montagem Norte	1	145100	0,369903433
Montagem Sul	1	174300	0,448229614
Otica 1	1	158700	0,40638412
Otica 2	1	158700	0,40638412
Revestimento 1	1	53400	0,123927039
Revestimento 2	1	53400	0,123927039
Areamento	1	73440	0,177682403
Cozinha	0	37000	0,079935622
Polimento	1	141900	0,361319742





Setembro								
$T_{exterior}$ [°C]	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança variável [%]
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
9	150,997	99,744	96,967	18,120	11,969	11,636	33,943	35,782
10	221,173	145,672	141,422	26,541	17,481	16,971	34,137	36,058
11	140,273	91,787	88,886	16,833	11,014	10,666	34,565	36,634
12	687,433	442,986	427,971	82,492	53,158	51,356	35,559	37,744
13	1628,775	1040,932	1007,655	195,453	124,912	120,919	36,091	38,134
14	1981,761	1254,981	1225,969	237,811	150,598	147,116	36,673	38,137
15	2312,145	1459,049	1441,449	277,457	175,086	172,974	36,896	37,658
16	2348,853	1482,802	1506,665	281,862	177,936	180,800	36,871	35,855
17	3025,902	1914,497	1970,842	363,108	229,740	236,501	36,730	34,868
18	2503,525	1601,247	1714,111	300,423	192,150	205,693	36,040	31,532
19	3065,454	1960,278	2097,250	367,854	235,233	251,670	36,053	31,584
20	1553,502	1007,810	1119,691	186,420	120,937	134,363	35,127	27,925
21	1433,804	921,424	999,681	172,057	110,571	119,962	35,736	30,278
22	1180,704	757,723	818,978	141,685	90,927	98,277	35,825	30,636
23	1050,812	698,420	816,987	126,097	83,810	98,038	33,535	22,252
24	499,342	369,249	508,832	59,921	44,310	61,060	26,053	-1,901
25	508,813	374,007	511,465	61,058	44,881	61,376	26,494	-0,521
26	487,115	354,672	479,039	58,454	42,561	57,485	27,189	1,658
27	284,790	202,397	264,395	34,175	24,288	31,727	28,931	7,161
28	213,381	153,744	204,742	25,606	18,449	24,569	27,949	4,049
29	159,089	113,796	150,025	19,091	13,656	18,003	28,470	5,698
30	74,545	50,383	60,786	8,945	6,046	7,294	32,413	18,456
<b>Total</b>	<b>25512,187</b>	<b>16497,598</b>	<b>17653,808</b>	<b>3061,462</b>	<b>1979,712</b>	<b>2118,457</b>	<b>35,334</b>	<b>30,802</b>

Outubro								
$T_{exterior}$ [°C]	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
8	171,331	114,537	112,195	20,560	13,744	13,463	33,149	34,516
9	754,986	498,720	484,835	90,598	59,846	58,180	33,943	35,782
10	1327,035	874,030	848,530	159,244	104,884	101,824	34,137	36,058
11	1122,187	734,299	711,088	134,662	88,116	85,331	34,565	36,634
12	937,409	604,072	583,596	112,489	72,489	70,032	35,559	37,744
13	1221,581	780,699	755,741	146,590	93,684	90,689	36,091	38,134
14	1929,609	1221,955	1193,706	231,553	146,635	143,245	36,673	38,137
15	1685,939	1063,890	1051,056	202,313	127,667	126,127	36,896	37,658
16	1551,920	979,708	995,475	186,230	117,565	119,457	36,871	35,855
17	3383,305	2267,167	2335,892	429,997	272,060	280,067	36,730	34,868
18	4415,940	2824,421	3023,501	529,913	338,931	362,820	36,040	31,532
19	4702,685	3007,244	3217,372	564,322	360,869	386,085	36,053	31,584
20	2827,374	1834,214	2037,838	339,285	220,106	244,541	35,127	27,925
21	1167,050	749,996	813,694	140,046	90,000	97,643	35,736	30,278
22	775,891	497,932	538,186	93,107	59,752	64,582	35,825	30,636
23	528,878	358,164	418,968	64,665	42,980	50,276	33,535	22,252
24	160,503	118,687	163,553	19,260	14,242	19,626	26,053	-1,901
25	218,063	160,289	219,199	26,168	19,235	26,304	26,494	-0,521
26	131,146	95,489	128,972	15,738	11,459	15,477	27,189	1,658
27	81,368	57,828	75,542	9,764	6,939	9,065	28,931	7,161
28	19,398	13,977	18,613	2,328	1,677	2,234	27,949	4,049
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
<b>Total</b>	<b>29323,600</b>	<b>18857,318</b>	<b>19725,554</b>	<b>3518,832</b>	<b>2262,878</b>	<b>2367,066</b>	<b>35,692</b>	<b>32,731</b>

# Apêndice E

Novembro								
$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
8	342,662	229,073	224,390	41,119	27,489	26,927		33,149
9	226,496	149,616	145,451	27,179	17,954	17,454		33,943
10	958,414	631,244	612,827	115,010	75,749	73,539		34,137
11	2665,195	1743,960	1688,833	319,823	209,275	202,660		34,565
12	1999,805	1288,688	1245,005	239,977	154,643	149,401		35,559
13	3490,232	2230,570	2159,261	418,828	267,668	259,111		36,091
14	4119,976	2609,040	2548,724	494,397	313,085	305,847		36,673
15	3901,745	2462,145	2432,445	468,209	295,457	291,893		36,896
16	4194,380	2647,861	2690,474	503,326	317,743	322,857		36,871
17	3503,676	2216,786	2282,027	420,441	266,014	273,843		36,730
18	2642,610	1690,205	1809,339	317,113	202,825	217,121		36,040
19	1149,545	735,104	786,469	137,945	88,212	94,376		36,053
20	1367,082	886,873	985,328	164,050	106,425	118,239		35,127
21	666,886	428,569	464,968	80,026	51,428	55,796		35,736
22	640,954	411,335	444,588	76,914	49,360	53,351		35,825
23	431,102	286,531	335,174	51,732	34,384	40,221		33,535
24	196,170	145,062	199,898	23,540	17,407	23,988		26,053
25	54,516	40,072	54,800	6,542	4,809	6,576		26,494
26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
<b>Total</b>	<b>32551,446</b>	<b>20832,732</b>	<b>21110,003</b>	<b>3906,174</b>	<b>2499,928</b>	<b>2533,200</b>	<b>36,001</b>	<b>35,149</b>

Dezembro								
$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]
4	1845,341	1241,616	1240,625	221,441	148,994	148,875		32,716
5	3897,608	2600,139	2556,020	467,713	312,017	306,722		33,289
6	3727,565	2490,057	2437,650	447,308	298,807	292,518		33,199
7	4349,375	2898,206	2831,939	521,925	347,785	339,833		33,365
8	4797,275	3207,024	3141,466	575,673	384,843	376,976		33,149
9	5888,890	3890,012	3781,717	706,667	466,801	453,806		33,943
10	4128,554	2719,204	2639,872	495,426	326,305	316,785		34,137
11	4558,886	2983,090	2888,794	547,066	357,971	346,655		34,565
12	4624,550	2980,090	2879,075	554,946	357,611	345,489		35,559
13	4071,937	2602,331	2519,138	488,632	312,280	302,297		36,091
14	3650,612	2311,807	2258,363	438,073	277,417	271,004		36,673
15	2890,182	1823,811	1801,811	346,822	218,857	216,217		36,896
16	1300,258	820,837	834,047	156,031	98,500	100,086		36,871
17	756,475	478,624	492,710	90,777	57,435	59,125		36,730
18	452,025	289,114	309,492	54,243	34,694	37,139		36,040
19	34,835	22,276	23,832	4,180	2,673	2,860		36,053
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
<b>Total</b>	<b>50974,368</b>	<b>33358,239</b>	<b>32636,552</b>	<b>6116,924</b>	<b>4002,989</b>	<b>3916,386</b>	<b>34,559</b>	<b>35,975</b>

Janeiro									
$T_{exterior}$ [°C]	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]	
4	1230,228	827,744	827,083	147,627	99,329	99,250	32,716	32,770	
5	2244,077	1497,050	1471,648	269,289	179,646	176,598	33,289	34,421	
6	2795,673	1867,543	1828,238	335,481	224,105	219,389	33,199	34,605	
7	2215,719	1476,445	1442,686	265,886	177,173	173,122	33,365	34,889	
8	3169,628	2118,927	2075,611	380,355	254,271	249,073	33,149	34,516	
9	3699,431	2443,726	2375,694	443,932	293,247	285,083	33,943	35,782	
10	3981,106	2622,090	2545,590	477,733	314,651	305,471	34,137	36,058	
11	5961,621	3900,963	3777,653	715,394	468,116	453,318	34,565	36,634	
12	5186,995	3342,533	3229,232	622,439	401,104	387,508	35,559	37,744	
13	6166,076	3940,673	3814,695	739,929	472,881	457,763	36,091	38,134	
14	4954,402	3137,453	3064,922	594,528	376,494	367,791	36,673	38,137	
15	4479,781	2826,907	2792,807	537,574	339,229	335,137	36,896	37,658	
16	922,764	582,529	591,904	110,732	69,904	71,029	36,871	35,855	
17	517,588	327,480	337,118	62,111	39,298	40,454	36,730	34,868	
18	34,771	22,240	23,807	4,173	2,669	2,857	36,040	31,532	
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
<b>Total</b>	<b>47559,861</b>	<b>30934,302</b>	<b>30198,689</b>	<b>5707,183</b>	<b>3712,116</b>	<b>3623,843</b>	<b>34,957</b>	<b>36,504</b>	

Fevereiro									
$T_{exterior}$ [°C]	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]	
4	1845,341	1241,616	1240,625	221,441	148,994	148,875	32,716	32,770	
5	2480,296	1654,634	1626,558	297,636	198,556	195,187	33,289	34,421	
6	1948,500	1301,621	1274,226	233,820	156,195	152,907	33,199	34,605	
7	2461,911	1640,494	1602,984	295,429	196,859	192,358	33,365	34,889	
8	2141,641	1431,707	1402,440	256,997	171,805	168,293	33,149	34,516	
9	3850,428	2543,469	2472,661	462,051	305,216	296,719	33,943	35,782	
10	3096,415	2039,403	1979,904	371,570	244,728	237,588	34,137	36,058	
11	5751,210	3763,282	3644,324	690,145	451,594	437,319	34,565	36,634	
12	6061,910	3906,334	3773,922	727,429	468,760	452,871	35,559	37,744	
13	5468,030	3494,559	3382,843	656,164	419,347	405,941	36,091	38,134	
14	3337,702	2113,652	2064,789	400,524	253,638	247,775	36,673	38,137	
15	2215,806	1398,255	1381,389	265,897	167,791	165,767	36,896	37,658	
16	1719,696	1085,623	1103,094	206,363	130,275	132,371	36,871	35,855	
17	1074,991	680,150	700,168	128,999	81,618	84,020	36,730	34,868	
18	312,941	200,156	214,264	37,553	24,019	25,712	36,040	31,532	
19	174,174	111,379	119,162	20,901	13,366	14,299	36,053	31,584	
20	93,210	60,469	67,181	11,185	7,256	8,062	35,127	27,925	
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado	
<b>Total</b>	<b>44034,202</b>	<b>28666,805</b>	<b>28050,535</b>	<b>5284,104</b>	<b>3440,017</b>	<b>3366,064</b>	<b>34,899</b>	<b>36,298</b>	

Apêndice E

Março								
$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]
4	307,557	206,936	206,771	36,907	24,832	24,813	32,716	32,770
5	1535,421	1024,297	1006,917	184,251	122,916	120,830	33,289	34,421
6	762,456	509,330	498,610	91,495	61,120	59,833	33,199	34,605
7	1477,146	984,296	961,791	177,258	118,116	115,415	33,365	34,889
8	3083,962	2061,658	2019,514	370,075	247,399	242,342	33,149	34,516
9	5058,405	3341,421	3248,398	607,009	400,970	389,808	33,943	35,782
10	7741,039	5098,508	4949,759	928,925	611,821	593,971	34,137	36,058
11	5751,210	3763,282	3644,324	690,145	451,594	437,319	34,565	36,634
12	4562,056	2939,819	2840,168	547,447	352,778	340,820	35,559	37,744
13	4071,937	2602,331	2519,138	488,632	312,280	302,297	36,091	38,134
14	3076,944	1948,523	1903,478	369,233	233,823	228,417	36,673	38,137
15	2649,333	1671,827	1651,660	317,920	200,619	198,199	36,896	37,658
16	1384,145	873,794	887,856	166,097	104,855	106,543	36,871	35,855
17	1114,806	705,341	726,100	133,777	84,641	87,132	36,730	34,868
18	1043,135	667,186	714,213	125,176	80,062	85,706	36,040	31,532
19	870,868	556,897	595,810	104,504	66,828	71,497	36,053	31,584
20	310,700	201,562	223,938	37,284	24,187	26,873	35,127	27,925
21	233,410	149,999	162,739	28,009	18,000	19,529	35,736	30,278
22	134,938	86,597	93,598	16,193	10,392	11,232	35,825	30,636
23	80,832	53,725	62,845	9,700	6,447	7,541	33,535	22,252
24	71,335	52,750	72,690	8,560	6,330	8,723	26,053	-1,901
25	36,344	26,715	36,533	4,361	3,206	4,384	26,494	-0,521
26	37,470	27,282	36,849	4,496	3,274	4,422	27,189	1,658
27	40,684	28,914	37,771	4,882	3,470	4,532	28,931	7,161
28	38,796	27,953	37,226	4,656	3,354	4,467	27,949	4,049
29	39,772	28,449	37,506	4,773	3,414	4,501	28,470	5,698
30	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
<b>Total</b>	<b>45514,704</b>	<b>29639,393</b>	<b>29176,202</b>	<b>5461,765</b>	<b>3556,727</b>	<b>3501,144</b>	<b>34,880</b>	<b>35,897</b>

Abril								
$T_{\text{exterior}} [^{\circ}\text{C}]$	E elétrica atual [kWh]	E elétrica constante [kWh]	E elétrica variável [kWh]	Custo atual[€]	Custo constante[€]	Custo variável[€]	Poupança constante [%]	Poupança Variável [%]
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Não considerado	Não considerado
7	902,701	601,514	587,761	108,324	72,182	70,531	33,365	34,889
8	1798,978	1202,634	1178,050	215,877	144,316	141,366	33,149	34,516
9	2340,456	1546,030	1502,990	280,855	185,524	180,359	33,943	35,782
10	1990,553	1311,045	1272,795	238,866	157,325	152,735	34,137	36,058
11	3226,289	2111,110	2044,377	387,155	253,333	245,325	34,565	36,634
12	4812,032	3100,904	2995,794	577,444	372,109	359,495	35,559	37,744
13	4362,790	2788,212	2699,077	523,535	334,585	323,889	36,091	38,134
14	3233,399	2047,601	2000,265	388,008	245,712	240,032	36,673	38,137
15	3179,200	2006,192	1981,992	381,504	240,743	237,839	36,896	37,658
16	1761,639	1112,101	1129,999	211,397	133,452	135,600	36,871	35,855
17	2468,499	1561,826	1607,792	296,220	187,419	192,935	36,730	34,868
18	1077,907	689,426	738,020	129,349	82,731	88,562	36,040	31,532
19	1184,380	757,380	810,301	142,126	90,886	97,236	36,053	31,584
20	901,031	584,530	649,421	108,124	70,144	77,930	35,127	27,925
21	633,541	407,141	441,719	76,025	48,857	53,006	35,736	30,278
22	573,485	368,037	397,789	68,818	44,164	47,735	35,825	30,636
23	404,158	268,623	314,226	48,499	32,235	37,707	33,535	22,252
24	124,835	92,312	127,208	14,980	11,077	15,265	26,053	-1,901
25	163,547	120,217	164,399	19,626	14,426	19,728	26,494	-0,521
26	206,087	150,053	202,671	24,730	18,006	24,320	27,189	1,658
27	162,737	115,655	151,083	19,528	13,879	18,130	28,931	7,161
28	135,788	97,837	130,290	16,295	11,740	15,635	27,949	4,049
29	99,431	71,123	93,766	11,932	8,535	11,252	28,470	5,698
30	149,089	100,765	121,573	17,891	12,092	14,589	32,413	18,456
<b>Total</b>	<b>35892,552</b>	<b>23212,269</b>	<b>23343,358</b>	<b>4307,106</b>	<b>2785,472</b>	<b>2801,203</b>	<b>35,328</b>	<b>34,963</b>

## Anexo A - Fluxograma do processo produtivo e energia absorvida pela empresa

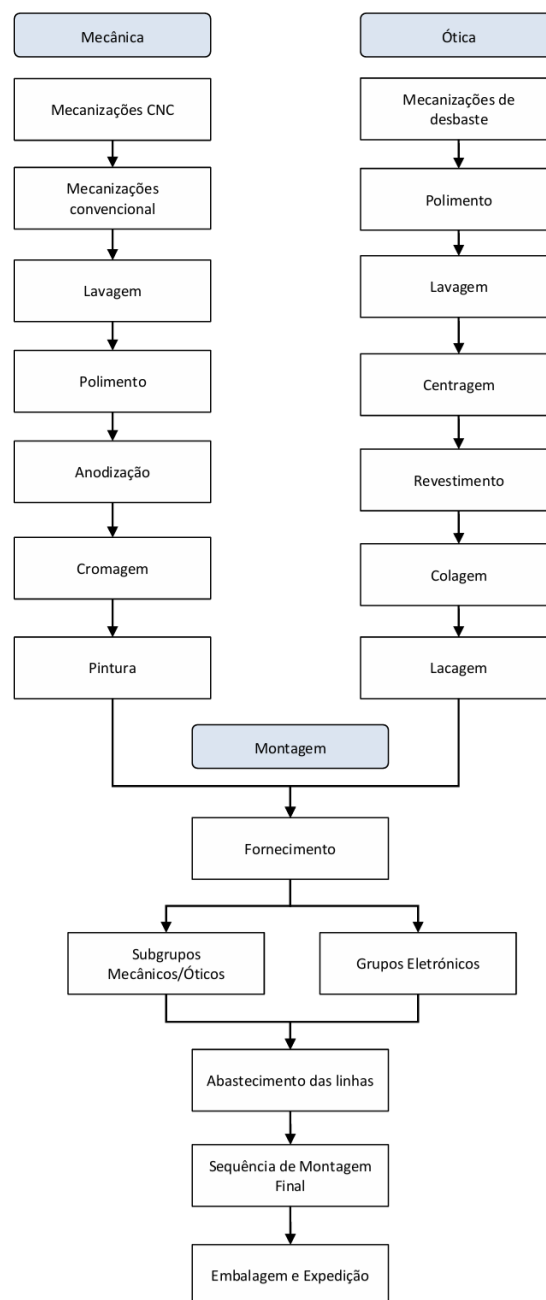


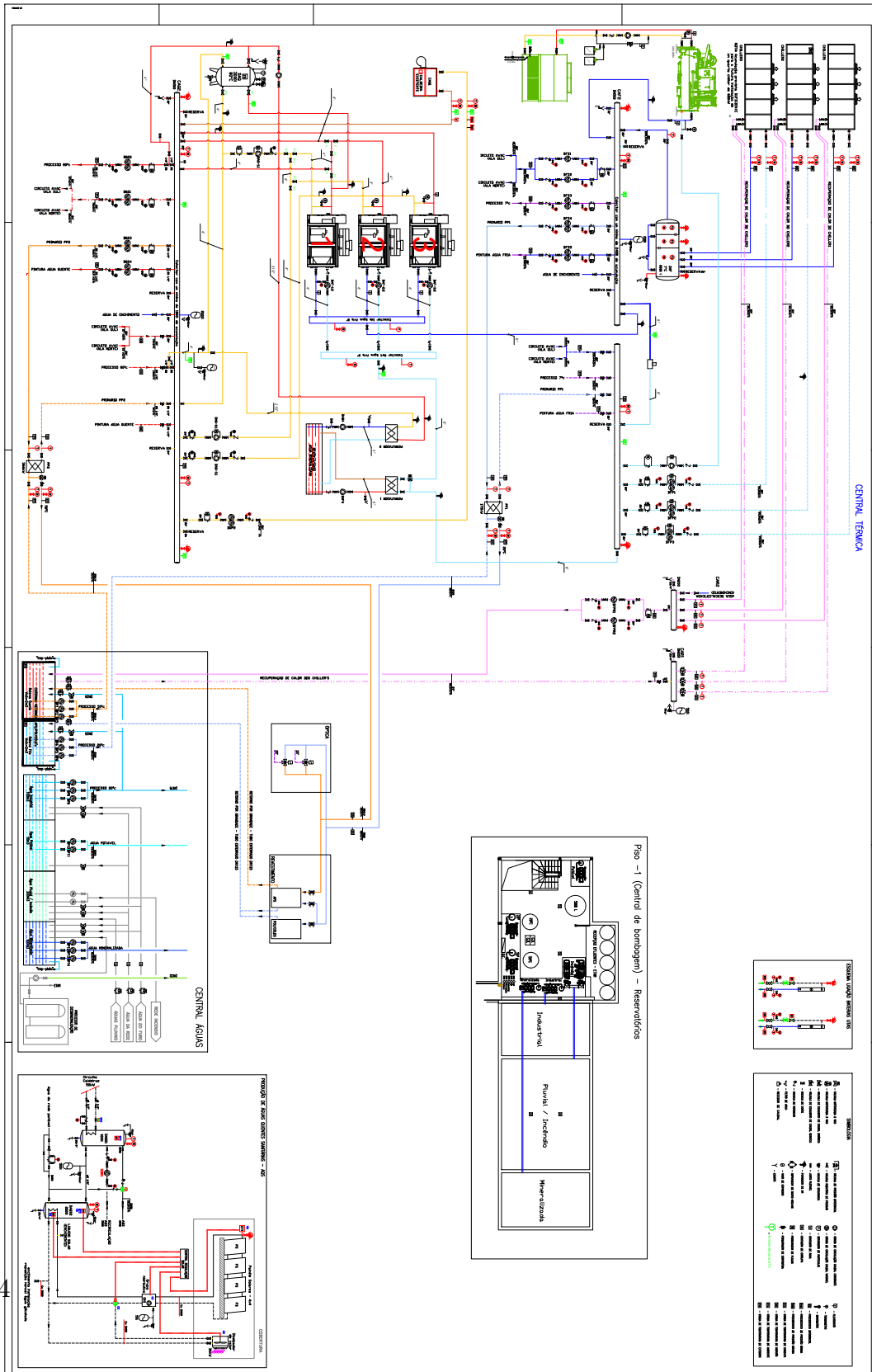
Figura 5: Fluxograma do processo produtivo [1]

Tabela 2: Utilização energética da fábrica de janeiro de 2024 a abril de 2025 [12]

Ano Fiscal	Mês	Gás Natural (Fatura kWh)			Adquirida da rede elétrica (kWh)			Consumo Global de Energia Elétrica (kWh)	Proporção de energia FV autoconsumida (%)	Proporção de energia consumida da FV (%)
		Central Termica	Cozinha	Total Gás	Fotovoltaico	E-redes	Fatura			
2023-2024	1	1173	864	2037	653665,75	653665,75	564721	628815,75	84,44%	10,24%
2023-2024	2	1860	1709	3569	535000,75	535000,75	519246,5	609283,36	81,30%	14,51%
2023-2024	3	3593	3593	7086	536970,5	536970,5	422045,25	698495,67	86,30%	21,69%
2024-2025	4	0	800	800	460770,75	460770,75	426275,25	589635,29	84,01%	31,05%
2024-2025	5	0	800	800	450679,25	450679,25	418018	648928,87	88,70%	36,04%
2024-2025	6	0	800	800	444320,5	444320,5	387672	599298,5	82,94%	35,31%
2024-2025	7	0	800	800	530815	530815	536949	796539,5	89,93%	31,53%
2024-2025	8	0	800	800	218106,5	218106,5	217979,25	351941,38	61,01%	38,06%
2024-2025	9	0	800	800	507359	507359	507904	657343,11	83,78%	23,86%
2024-2025	10	0	800	800	655248	655248	659198,25	795992,63	91,00%	13,11%
2024-2025	11	0	800	800	989820,75	989820,75	581316	652671,9	90,68%	12,28%
2024-2025	12	0	800	800	479670,5	479670,5	494677	561775,1	71,70%	11,94%
2024-2025	1	4000	800	4800	92488198,53	964594,5	653788	682774,82	88,94%	10,52%
2024-2025	2	0	800	800	508960,51	519261,25	534999	627958,34	85,52%	14,80%
2024-2025	3	0	800	800	431933,09	442022,25	516709	654662,87	72,83%	21,05%
2025-2026	4	0	905	905	415514,63	425313	425275	585870,77	77,60%	27,41%



# Anexo B - Esquema de princípio da central térmica













# Anexo D - Documentos técnicos e tabelas de desempenho da bomba de calor



Job Name: 607C - 001-00-367139 - A3 Unit Tag: LEICA RTSF 10, LEICA RTSF -1  
 -LEICA  
 Prepared For: Quantity: 2

Unit Overview			
Range	Water cooled screw		
Model	RTSF 100 HSE R1234ze		
Unit application	Heat pump - >50C		
Compressor type	Screw		
Refrigerant type	R1234ze Factory charge (with oil)		
Seasonal space energy efficiency (s,h) / SCOP (1)	192.00 %	4.990 kW/kW	Compliant
Seasonal space energy efficiency (s,c) / SEER (1)	262.00 %	6.630 kW/kW	Compliant
SEPR-HT	6.26	Non compliant	
SEPR-MT	4.46	Compliant	
Evaporator type	Braze Plate Heat Exchanger		
Evaporator size	Evaporator A		
Condenser type	Braze Plate Heat Exchanger		
Condenser size	Condenser A		
Outdoor Operation	Indoor		
Electrical panel selection	AFD A		
Electrical supply	400/50/3ph		



Project Conditions 1		
	Evap	CDs
Fluid entering temperature	12.0 C	56.4 C
Fluid leaving temperature	7.0 C	60.0 C
Fluid Type	Water	Water
Fluid freezing point	0.0 C	0.0 C
Fouling Factor	0.017600 m2-deg C/kW	0.044000 m2-deg C/kW

Performance data at Condition 1		
	Evap	CDs
Gross capacity	246.14 kW	348.42 kW
Net capacity	245.84 kW	349.11 kW
Total absorbed gross power	104.84 kW	104.84 kW
Total absorbed net power	108.53 kW	108.53 kW
Gross EER / COP	2.350 kW/kW	3.320 kW/kW
Net EER / COP	2.270 kW/kW	3.220 kW/kW
Design flow	11.73 L/s	23.64 L/s
Fluid pressure drop (Design)	19.0 kPa	89.1 kPa
Min Flow	6.37 L/s	2.74 L/s
Max Flow	38.60 L/s	38.60 L/s

Acoustic data (cooling mode)							
Sound power level (Lw)				89 dBA			
Sound pressure level (10m)(Lp)				57 dBA			
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Sound Power spectrum (Lw)	73 dB	91 dB	84 dB	85 dB	77 dB	66 dB	58 dB

Note: Average sound pressure at specified distance, unit in a free field on a reflective surface; non-binding value calculated from the sound power level. Sound power based on measurements compliant with ISO 9614



Job Name: 607C - 001-00-367139 - A3 Unit Tag: LEICA RTSF 10, LEICA RTSF -1  
 -LEICA  
 Prepared For: Quantity: 2

General data - refrigerant circuit	
Refrigerant type	R1234ze Factory charge (with oil)
Refrigerant GWP	1.00 teq CO2 (5)
Number of circuits	1
Number of compressor	1
Compressor type	HiVi Compressor
Compressor regulation type	Adaptive Frequency Drive
Refrigerant charge	47 kg
Oil charge	7.00 L
Construction features (evaporator)	
Evaporator size	Evaporator A
Water connection	4 in
Evaporator water side pressure	10 Bar evaporator water pressure
Evaporator application	Comfort cooling
Construction features (condenser)	
Condenser size	Condenser A
Water connection	4 in
Condenser water side pressure	10 Bar condenser water pressure
Electrical data	
Electrical supply	400/50/3ph
Electrical panel selection	AFD A
Compressor starter type	AFD
Start up current	267.00 A
Maximum current	267.00 A
Displacement power factor	0.98
Short Circuit Current SCC	35000.00 A
Incoming Power Line Conn. Type	Single Source
Max absorbed power	181.00 kW
Dimensions and weight	
Length	2241 mm
Width	901 mm
Height	2050 mm
Shipping weight including packaging	1986 kg
Weight	2127 kg

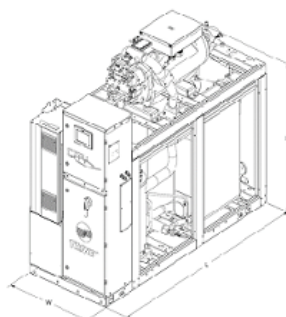


Tabela 3: Tabela de desempenho da bomba de calor em diferentes regimes e condições de carga com uma bomba de circulação constante [11].

$\Delta T$ máximo do regime [°C]	% de carga	$T_{\text{entrada cond}}$ [°C]	$T_{\text{saída cond}}$ [°C]	Q [kW]	$P_{\text{elétrica absorvida}}$ [kW]	COP	$\dot{v}_{\text{condensador}}$ [L/s]	$\dot{v}_{\text{evaporador}}$ [L/s]
5	100	55	60	351,56	103,69	3,33	16,98	11,89
	75	56,2		263,36	77,99	3,29		
	50	57,5		175,68	57,04	2,98		
	25	58,7		88,06	32,5	2,56		
10	100	50	60	355,32	101,18	3,48	8,57	12,2
	75	52,5		265,99	76,32	3,45		
	50	55		177,42	55,76	3,13		
	25	57,5		88,78	30,94	2,79		
15	100	45	60	357,31	99,6	3,56	5,74	12,37
	75	48,7		267,54	75,24	3,52		
	50	52,5		178,37	55,01	3,2		
	25	56,2		89,2	35,83	2,44		
5	100	50	55	363,2	95,33	3,72	17,49	12,83
	75	51,3		271,95	70,77	3,73		
	50	52,5		181,53	50,51	3,45		
	25	53,7		91,69	32,21	2,67		
10	100	45	55	366,27	93,17	3,89	8,81	13,09
	75	47,5		274,11	69,44	3,89		
	50	50		182,91	49,64	3,61		
	25	52,5		92,1	31,83	2,81		
15	100	40	55	368,25	91,83	3,97	5,9	13,25
	75	43,7		275,56	68,54	3,97		
	50	47,5		183,83	49,14	3,68		
	25	51,2		92,11	31,54	2,85		
5	100	45	50	374,57	87,91	4,15	17,98	13,71
	75	46,3		280,25	64,45	4,19		
	50	47,5		187,16	45,3	3,92		
	25	48,7		93,78	26,65	3,23		
10	100	40	50	377,65	86,07	4,33	9,07	13,96
	75	42,5		282,54	63,37	4,38		
	50	45		188,63	44,64	4,12		
	25	47,5		94,37	26,23	3,45		
15	100	35	50	379,76	84,94	4,42	6,08	14,12
	75	38,8		284,14	62,71	4,47		
	50	42,5		189,63	44,27	4,2		
	25	46,2		94,82	26,36	3,48		
5	100	40	45	386,41	81,47	4,59	18,52	14,57
	75	41,2		289,38	59,08	4,69		
	50	42,5		193,04	40,82	4,44		
	25	43,7		96,76	23,14	3,76		
10	100	35	45	389,61	79,89	4,8	9,33	14,81
	75	37,5		291,59	58,16	4,91		
	50	40		194,47	40,35	4,68		
	25	42,5		97,33	23,06	4,01		

Tabela 4: Tabela de desempenho da bomba de calor em diferentes regimes e condições de carga com uma bomba de circulação variável [11].

$\Delta T$ máximo do regime [°C]	% de carga	$T_{\text{entrada cond}}$ [°C]	$T_{\text{saída cond}}$ [°C]	Q [kW]	$P_{\text{elétrica absorvida}}$ [kW]	COP	$\dot{v}_{\text{condensador}}$ [L/s]	$\dot{v}_{\text{evaporador}}$ [L/s]
5	100	55	60	351	103,59	3,3	16,98	11,89
	75			263,5	77,1	3,4	12,74	8,96
	50			175,3	55,79	3,1	8,48	6,38
	25			87,94	30,8	2,8	11,44	6,38
10	100	50	60	354,6	101,06	3,5	8,57	12,2
	75			266,1	75,43	3,5	6,43	9,18
	50			177,4	54,32	3,3	4,29	6,38
15	100	45	60	356,6	99,47	3,6	5,74	12,37
	75			267,6	74,31	3,6	4,31	9,3
	50			178,4	53,23	3,3	2,87	6,38
5	100	50	55	362,6	95,22	3,7	17,49	12,83
	75			272,1	70,19	3,8	13,12	9,7
	50			181,3	49,41	3,6	8,75	6,38
	25			90,56	32,18	2,8	4,37	6,38
10	100	45	55	365,6	93,06	3,9	8,81	13,09
	75			274,2	68,76	4	6,61	9,88
	50			182,8	48,24	3,7	4,41	6,48
15	100	40	55	367,5	91,71	4	5,9	13,25
	75			275,8	67,86	4	4,43	9,99
	50			183,8	47,6	3,9	2,95	6,56
5	100	45	50	373,7	87,81	4,1	17,98	13,71
	75			280,4	64,03	4,3	13,5	10,38
	50			187,1	44,33	4,2	9,01	6,86
	25			93,33	27,85	3,3	4,49	6,38
10	100	40	50	376,9	85,96	4,3	9,07	13,96
	75			282,7	62,91	4,5	6,8	10,56
	50			188,6	43,61	4,3	4,54	6,97
15	100	35	50	379	84,82	4,4	6,08	14,12
	75			284,4	62,15	4,5	4,56	10,67
	50			189,5	43,1	4,4	3,04	7,04
5	100	40	45	385,6	81,37	4,6	18,52	14,57
	75			289,3	58,74	4,8	13,9	11,05
	50			192,7	40,01	4,8	9,26	7,33
	25			96,3	24,37	3,9	4,63	6,38
10	100	35	45	388,7	79,78	4,8	9,33	14,81
	75			291,6	57,79	5	7	11,22
	50			194,4	39,47	4,9	4,67	7,44
15	100	30	45	391	78,82	4,9	6,26	14,97
	75			293,3	57,23	5,1	4,69	11,33
	50			195,5	39,1	4,9	3,13	7,51





# Anexo E - Fichas técnicas dos permutadores de calor PP2 e PP4 e das bombas de circulação que alimentam o condensador das bombas de calor 2 e 3

Este desenho é propriedade exclusiva da ARSOPI THERMAL, SA não podendo ser copiado ou transmitido a terceiros, sem prévia autorização

IPDT.005.00

**PLACAS**

TIPO	MATERIAL	ESPESSURA
LX-01/SI	S2420 Vpa 316L	0,5 mm

QUANTIDADE TOTAL DE PLACAS

LADO A	LADO B
D1234	LX-01
1234	19
E0000	18
	1

**JUNTAS**

TIPO	MATERIAL	NBR
LX-00/SI		

NOTAS: O LADO DA JUNTA É VOLTADO PARA O BLOCO FINO  
PLACA TIPO D E E COM JUNTA COMPLETA

DESIGNAÇÃO DOS FIOS

1	LX-01	01234
2	1234	1234
3	LX-01	
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37	LX-01	1234
38	1234	E0000
39	LX-01	

**PROGRAMA TÉCNICO**

PRODUTO	CAUDAL	TEMPERATURAS	TEMPERATURAS	PERDA DE C.A.
ÁGUA	9,00 m³/h	S2 80,00 °C	S4 45,02 °C	0,005 MPa
ÁGUA	21,00 m³/h	S3 35,01 °C	S1 50,00 °C	0,025 MPa

**PROGRAMA TÉCNICO**

PRODUTO	CAUDAL	TEMPERATURAS	TEMPERATURAS	PERDA DE C.A.
ÁGUA	9,00 m³/h	S2 80,00 °C	S4 45,02 °C	0,005 MPa
ÁGUA	21,00 m³/h	S3 35,01 °C	S1 50,00 °C	0,025 MPa

**ENTRADAS / SAÍDAS**

ENTRADA / SAÍDA	TIPO	DIÂMETRO	QUANTIDADE
ENTRADA 1	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 2	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 3	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 4	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 5	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 6	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 7	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 8	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 9	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 10	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 11	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 12	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 13	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 14	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 15	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 16	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 17	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 18	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 19	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 20	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 21	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 22	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 23	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 24	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 25	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 26	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 27	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 28	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 29	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 30	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 31	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 32	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 33	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 34	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 35	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 36	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 37	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 38	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 39	ENTRADA	100/68	4

**ENTRADAS / SAÍDAS**

ENTRADA / SAÍDA	TIPO	DIÂMETRO	QUANTIDADE
ENTRADA 1	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 2	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 3	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 4	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 5	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 6	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 7	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 8	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 9	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 10	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 11	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 12	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 13	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 14	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 15	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 16	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 17	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 18	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 19	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 20	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 21	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 22	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 23	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 24	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 25	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 26	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 27	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 28	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 29	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 30	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 31	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 32	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 33	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 34	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 35	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 36	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 37	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 38	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 39	ENTRADA	100/68	4

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**REF. DESIGNAÇÃO**

REF.	DESIGNAÇÃO	MATERIAL	QTD.	DIMENSÕES
1	PLACA DE APERTO MODEL "E"	S2420 Vpa 316	1	345x16 #20
2	PLACA DE APERTO FALTA "	S2420 Vpa 316	1	345x16 #20
3	PLACA DE APERTO FALTA "	S2420 Vpa 316	1	345x16 #20
4	TRABANCO DE APERTO INFERIOR	M20 / R400	25	
5	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
6	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
7	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
8	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
9	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
10	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
11	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
12	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
13	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
14	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
15	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
16	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
17	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
18	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
19	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
20	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
21	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
22	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
23	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
24	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	
25	TRABANCO DE APERTO SUPERIOR	M20 / R400	25	

**ENTRADAS / SAÍDAS**

ENTRADA / SAÍDA	TIPO	DIÂMETRO	QUANTIDADE
ENTRADA 1	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 2	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 3	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 4	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 5	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 6	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 7	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 8	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 9	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 10	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 11	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 12	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 13	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 14	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 15	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 16	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 17	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 18	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 19	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 20	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 21	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 22	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 23	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 24	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 25	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 26	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 27	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 28	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 29	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 30	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 31	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 32	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 33	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 34	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 35	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 36	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 37	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 38	ENTRADA	100/68	4
ENTRADA 39	ENTRADA	100/68	4

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCALA: 1/1

**DETALHE X PARA ENFRAQUECIMENTO**

3xØ22 p / M20

**PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS**

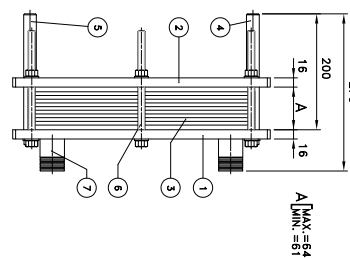
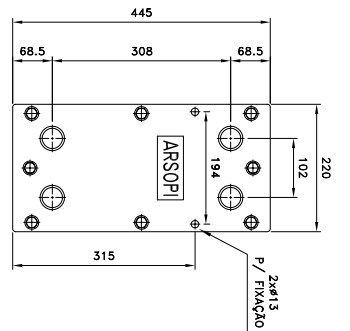
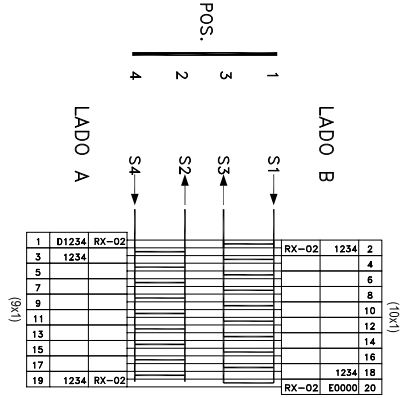
TRIFLUIDO, LDA

MODELO: FHL00 - HJ - 39

REV: 0

ESCAL

Este desenho é propriedade exclusiva da ARSOPÍ THERMAL, SA não podendo ser copiado ou transmitido a terceiros, sem prévia autorização



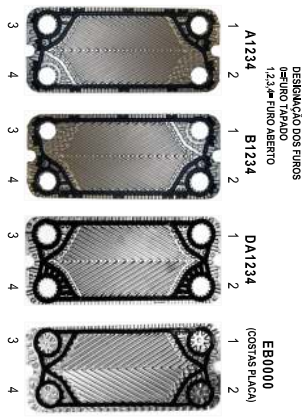
**PLACAS**

TIPO	MATERIAL	ESPESSURA
RX-02/SI	Saço Type 316L	0,5 mm
QUANTIDADE TOTAL DE PLACAS		
FUBAÇÃO	LADO A	LADO B
D1234	1	1
1234	9	9
E0000	1	1

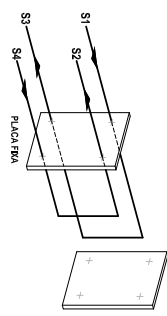
**JUNTAS**

TIPO	MATERIAL
RX-02/SI	NBR

NOTAS: O LADO DA JUNTA E VOLTAO PARA O BUCO DO FURO  
PLACA TIPO D e E COM JUNTA COMPLETA



1	1510961	PLACA RIGIDA 316L 316L 0000 SI	1	151127	JUNTA E RIGIDA NBR ASPTM
19	151077	PLACA RIGIDA 316L 316L 1234 SI	19	151079	JUNTA D RIGIDA NBR TL
DT.	CONDICIONAMENTO	DESIGNAÇÃO	DT.	CONDICIONAMENTO	DESIGNAÇÃO
PLACAS			SOBRESSELENTES / JUNTAS		
DIRECTIVA PED (2014/68/EU)		LADO A	LADO B		
GRUPO DO FLUIDO		2	2		
CATEGORIA		SEP	SEP		
MODULO		N/A	N/A		
CLASSIFICACAO DO EQUIPAMENTO		SEP	SEP		



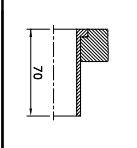
PDT.005.00

**PROGRAMA TECNICO**

PRODUTO	CAUDAL	POS. SUPERIOR	POS. INFERIOR	PERDA DE CARGA
AGUA	2,14 m³/h	S4	S1	1000 MPa
		S1	S4	4500 °C
		S2	S3	4500 °C
		S3	S2	1000 MPa

**CARACTERISTICAS DE PROYECTO**

	Lado A	Lado B
PRESSAO CALCULO	[MPa] 0,1	1,00
PRESSAO TESTE	[MPa] 0,130	1,30
TEMPERATURA CALCULO	[°C] 0,100	0,100
VOLUME ENTRE PLACAS	[L] 0,98	1,1
POTENCIA TERMICA	[kW] 50	
PESO (VADIO / COHEID)	[kg] 32,3 / 34,6	



REF.	DATA	MODIF.	CLIENTE	MATERIAL	DIMENSÕES
7	2017/24/6	H. Silva	DFS CLIMATIZACAO	Saço Type 316	ROSQUILAS 1,14" GAS
6	2017/24/6	H. Silva	DERCIO SOARES UNIPessoal, LDA	Saço Type 316	M12 / H200
5	2017/24/6	H. Silva		Saço Type 304	200
4	2017/24/6	H. Silva		Saço Type 304	200
3	2017/24/6	H. Silva		Saço Type 304	200
2	2017/24/6	H. Silva		Saço Type 304	200
1	2017/24/6	H. Silva		Saço Type 304	200

**DFS CLIMATIZACAO**

**DERCIO SOARES UNIPessoal, LDA**

**FHR00 - HJ - 20**

MODELO

PERMUTADOR DE CALOR DE PLACAS



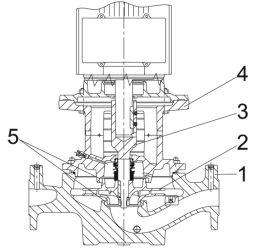
DESIGNO: "Z"


REVISÃO: 0

FECHA: 13/03/2017

DISS: 111


DIOMA: [pt]

		<b>Company name:</b> <b>Created by:</b> <b>Phone:</b>
		<b>Date:</b> 24/06/2025
Qty.	Description	
1	<b>TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1</b>    <p style="text-align: center;">Note! Product picture may differ from actual product</p> <p>Product No.: <a href="#">99345675</a></p> <p>Single-stage, close-coupled, volute pump with in-line suction and discharge ports of identical diameter. The pump is of the top-pull-out design, i.e. the power head (motor, pump head and impeller) can be removed for maintenance or service while the pump housing remains in the pipework.</p> <p>The pump is fitted with an unbalanced rubber bellows seal. The shaft seal is according to EN 12756. Pipework connection is via PN 16 DIN flanges (EN 1092-2 and ISO 7005-2).</p> <p>The pump is fitted with a fan-cooled asynchronous motor.</p> <p><b>Pump</b></p>   <p>1: Pump housing                  2: Impeller                  3: Stub shaft                  4: Pump head/motor stool                  5: Wear rings</p> <p>The pump housing is provided with a replaceable brass neck ring to reduce the amount of liquid running from the outlet side of the impeller to the inlet side.</p> <p>The impeller is secured to the shaft with a nut.</p> <p>The pump is fitted with an unbalanced rubber bellows seal with torque transmission across the spring and around the bellows. Due to the bellows, the seal does not wear the shaft, and the axial movement is not prevented by deposits on the shaft.</p> <p>Seal faces:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotating seal ring material: silicon carbide (SiC)</li> <li>• Stationary seat material: silicon carbide (SiC)</li> </ul> <p>This material pairing is used where higher corrosion resistance is required. The high hardness of this material pairing offers good resistance against abrasive particles.</p> <p>Secondary seal material: EPDM (ethylene-propylene rubber)                  EPDM has excellent resistance to hot water. EPDM is not suitable for mineral oils.</p> <p>A circulation of liquid through the duct of the air vent screw ensures lubrication and cooling of the shaft seal.</p> <p>The flanges have tappings for mounting of pressure gauges.</p> <p>The motor stool forms connection between the pump housing and the motor, and is equipped with a manual air vent screw for venting of the pump housing and the shaft seal chamber. The sealing between motor stool and pump housing is an O-ring.</p>	

	
<b>Company name:</b> <b>Created by:</b> <b>Phone:</b> <b>Date:</b> 24/06/2025	
Qty.	Description
1	<p>The central part of the motor stool is provided with guards for protection against the shaft and coupling. The pump shaft is fastened directly on the motor shaft with key and set screws.</p> <p><b>Motor</b></p> <p>The motor is a totally enclosed, fan-cooled motor with principal dimensions to IEC and DIN standards. Electrical tolerances comply with IEC 60034.</p> <p>The motor is flange-mounted with free-hole flange (FF).          Motor-mounting designation in accordance with IEC 60034-7: IM B 5, IM V 1 (Code I) / IM 3001, IM 3011 (Code II).</p> <p>The motor efficiency is classified as IE3 in accordance with IEC 60034-30-1.</p> <p>The motor has thermistors (PTC sensors) in the windings in accordance with DIN 44081/DIN 44082. The protection reacts to both slow- and quick-rising temperatures, e.g. constant overload and stalled conditions.</p> <p>Thermal switches must be connected to an external control circuit in a way which ensures that the automatic reset cannot cause accidents. The motors must be connected to a motor-protective circuit breaker according to local regulations.</p> <p>The motor can be connected to a variable speed drive for adjustment of pump performance to any duty point. Grundfos CUE offers a range of variable speed drives. Please find more information in Grundfos Product Center.</p> <p><b>Further product details</b></p> <p><b>Technical data</b></p> <p>Controls:          Frequency converter: None</p> <p>Liquid:          Pumped liquid: Water          Liquid temperature range: -25 .. 120 °C          Selected liquid temperature: 20 °C          Density: 998.2 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Technical:          Pump speed on which pump data are based: 2920 rpm          Rated flow: 68 m<sup>3</sup>/h          Rated head: 20.2 m          Actual impeller diameter: 135 mm          Primary shaft seal: BQQE          Code for shaft seal: BQQE          Curve tolerance: ISO9906:2012 3B2</p> <p>Materials:          Pump housing: Cast iron          EN-GJL-250          ASTM class 35          Impeller: Cast iron          EN-GJL-200          ASTM class 30</p> <p>Installation:          Range of ambient temperature: -30 .. 60 °C          Maximum operating pressure: 16 bar          Max pressure at stated temp: 16 bar / 120 °C          Pipe connection standard: EN 1092-2          Type of connection: DIN          Size of connection: DN 80          Pressure rating for connection: PN 16          Port-to-port length: 360 mm</p>

Printed from Grundfos Product Centre [2025.25.000]

2

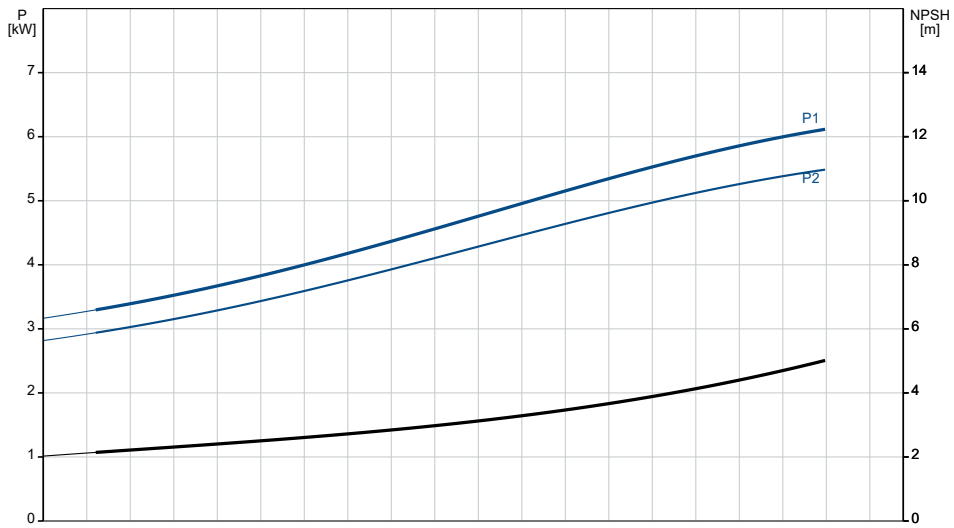
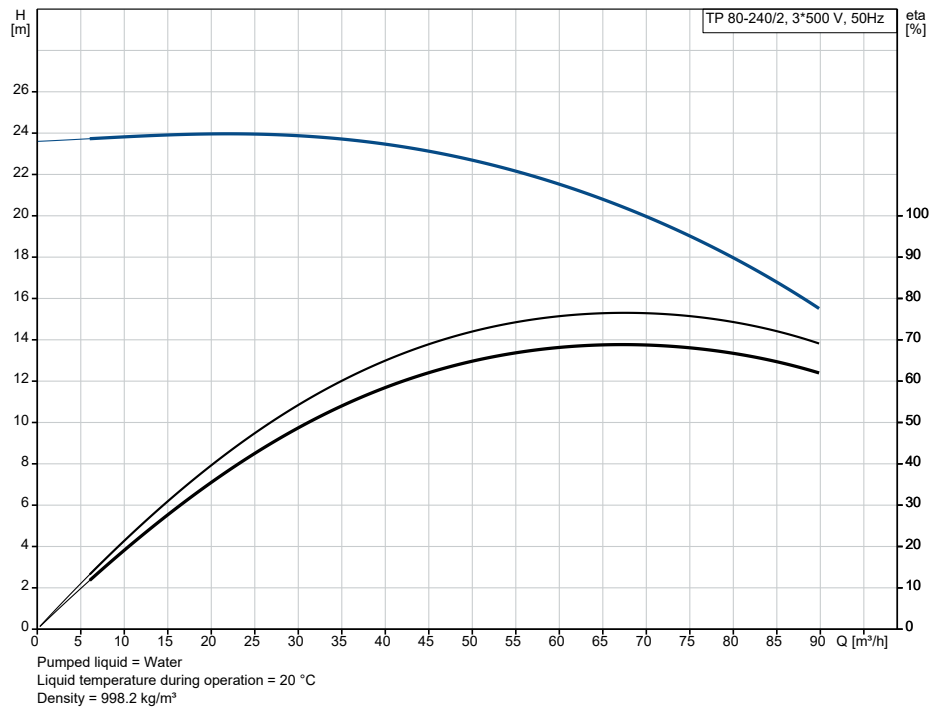
		<b>Company name:</b> <b>Created by:</b> <b>Phone:</b>
		<b>Date:</b> 24/06/2025
Qty.	Description	
1	Flange size for motor: FF265  Electrical data: Motor type: 132SC Rated power - P2: 5.5 kW Mains frequency: 50 Hz Rated voltage: 3 x 500-550D V Rated current: 8.35 A Starting current: 1080-1180 % Cos phi - power factor: 0.87-0.82 Rated speed: 2920-2940 rpm IE Efficiency class: IE3 Motor efficiency at full load: 89.2 % Motor efficiency at 3/4 load: 90.0-89.8 % Motor efficiency at 1/2 load: 89.6-88.4 % Number of poles: 2 Enclosure class (IEC 34-5): 55 Dust/Jetting Insulation class (IEC 85): F Motor No: 87322506  Others: Minimum efficiency index, MEI ≥: 0.69 Net weight: 90.4 kg Gross weight: 117 kg Shipping volume: 0.395 m³	



Company name:  
Created by:  
Phone:

Date: 24/06/2025

**99345675 TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1 50 Hz**

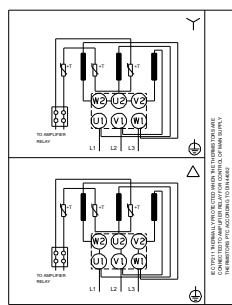
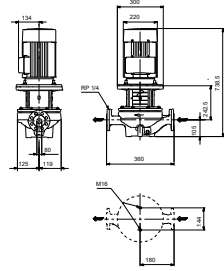
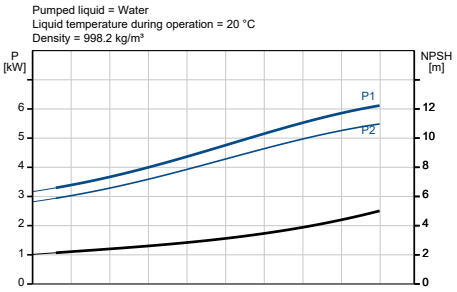
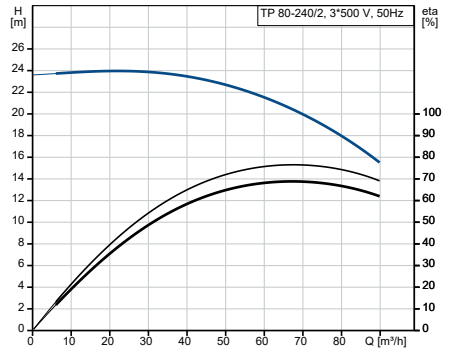





Company name:  
Created by:  
Phone:

Date: 24/06/2025

Description	Value
<b>General information:</b>	
Product name:	TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1
Product No:	99345675
EAN number:	5713827593406
Price:	
<b>Technical:</b>	
Pump speed on which pump data are based:	2920 rpm
Rated flow:	68 m³/h
Rated head:	20.2 m
Maximum head:	240 dm
Actual impeller diameter:	135 mm
Primary shaft seal:	BQQE
Code for shaft seal:	BQQE
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B2
Pump version:	A
<b>Materials:</b>	
Pump housing:	Cast iron EN-GJL-250 ASTM class 35
Impeller:	Cast iron EN-GJL-200 ASTM class 30
Material code:	A
<b>Installation:</b>	
Range of ambient temperature:	-30 .. 60 °C
Maximum operating pressure:	16 bar
Max pressure at stated temp:	16 bar / 120 °C
Pipe connection standard:	EN 1092-2
Type of connection:	DIN
Size of connection:	DN 80
Pressure rating for connection:	PN 16
Port-to-port length:	360 mm
Flange size for motor:	FF265
Connect code:	F
<b>Liquid:</b>	
Pumped liquid:	Water
Liquid temperature range:	-25 .. 120 °C
Selected liquid temperature:	20 °C
Density:	998.2 kg/m³
<b>Electrical data:</b>	
Motor type:	132SC
Rated power - P2:	5.5 kW
Mains frequency:	50 Hz
Rated voltage:	3 x 500-550D V
Rated current:	8.35 A
Starting current:	1080-1180 %
Cos phi - power factor:	0.87-0.82
Rated speed:	2920-2940 rpm
IE Efficiency class:	IE3
Motor efficiency at full load:	89.2 %
Motor efficiency at 3/4 load:	90.0-89.8 %
Motor efficiency at 1/2 load:	89.6-88.4 %
Number of poles:	2
Enclosure class (IEC 34-5):	55 Dust/Jetting
Insulation class (IEC 85):	F
Built-in motor protection:	PTC



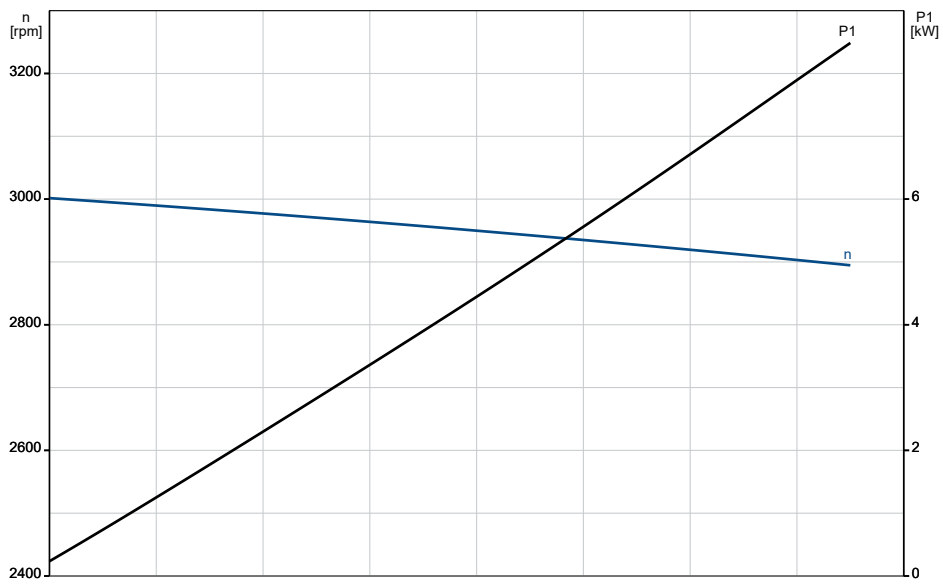
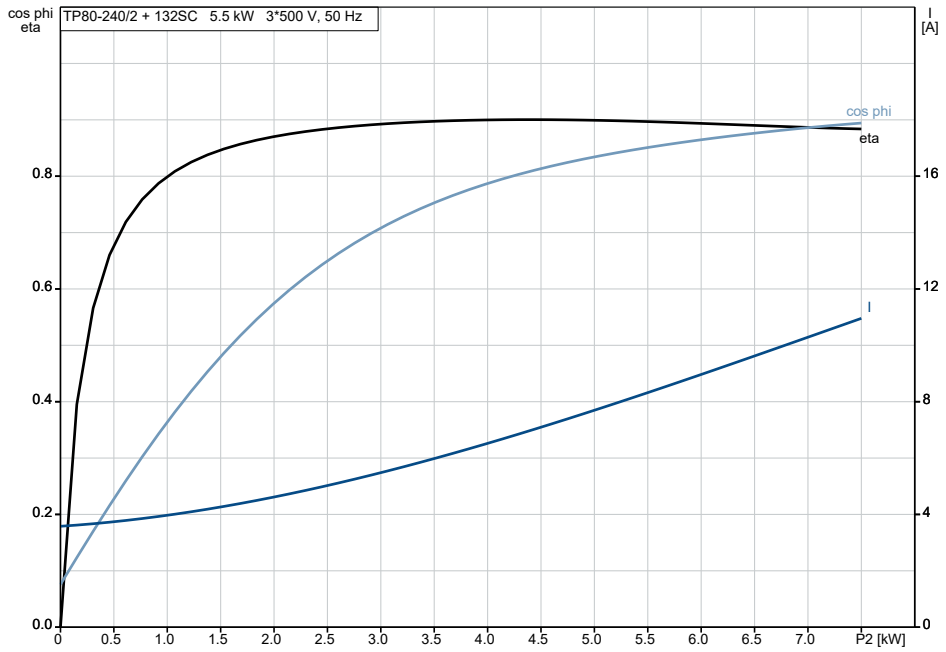
		<b>Company name:</b> <b>Created by:</b> <b>Phone:</b>
		<b>Date:</b> 24/06/2025
Description	Value	
Motor No:	87322506	
<b>Controls:</b>		
Frequency converter:	None	
<b>Others:</b>		
Minimum efficiency index, MEI ≥:	0.69	
Net weight:	90.4 kg	
Gross weight:	117 kg	
Shipping volume:	0.395 m <sup>3</sup>	



Company name:  
Created by:  
Phone:

Date: 24/06/2025

**99345675 TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1 50 Hz**

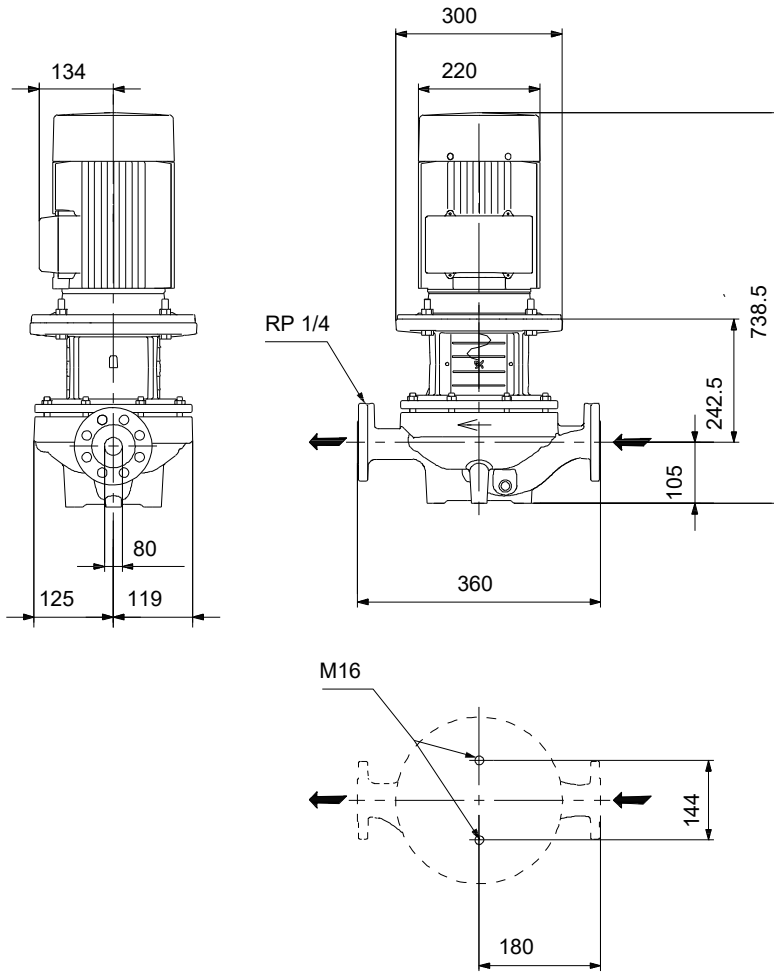




Company name:  
Created by:  
Phone:

Date: 24/06/2025

**99345675 TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1 50 Hz**



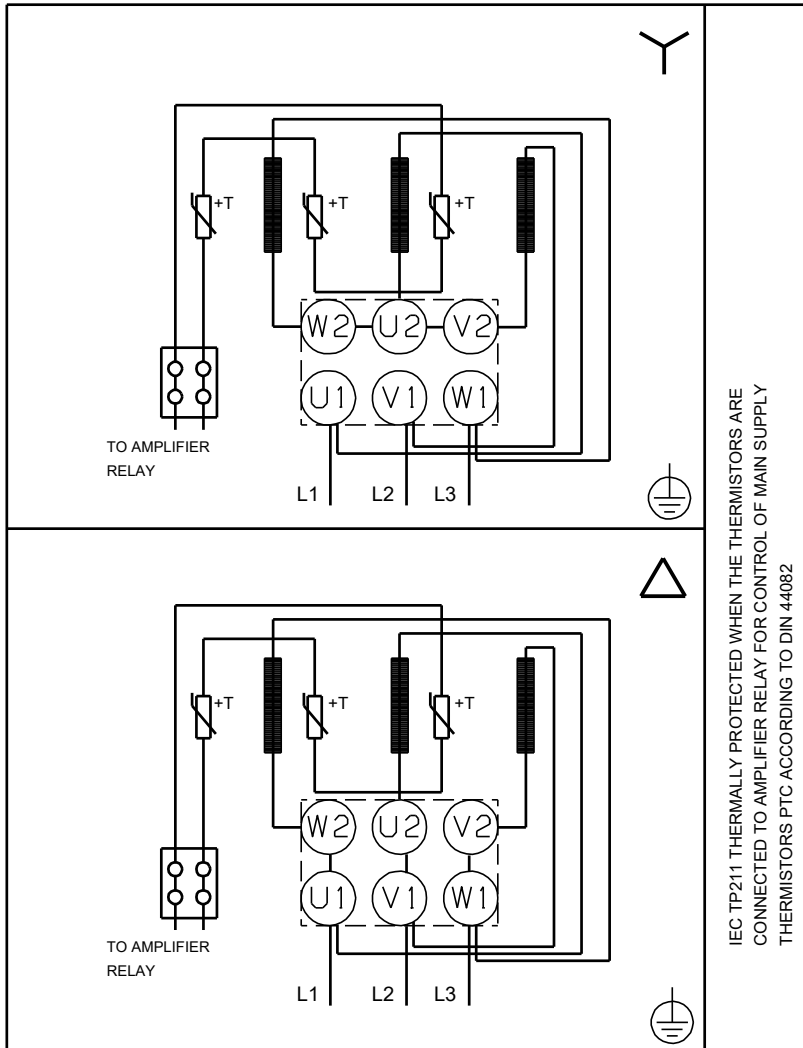
Note! All units are in [mm] unless others are stated.  
Disclaimer: This simplified dimensional drawing does not show all details.



Company name:  
Created by:  
Phone:

Date: 24/06/2025

**99345675 TP 80-240/2 A-F-A-BQQE-LW1 50 Hz**



IEC TP211 THERMALLY PROTECTED WHEN THE THERMISTORS ARE CONNECTED TO AMPLIFIER RELAY FOR CONTROL OF MAIN SUPPLY THERMISTORS PTC ACCORDING TO DIN 44082

Note! All units are in [mm] unless others are stated.

Tabela 5: Características hidráulicas e elétricas das bombas *BAQ 2.1* e *BAQ 3.1* para diferentes caudais [13].

$\dot{v}$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$H$ (m)	$P_2$ (kW)	$P_1$ (kW)	$\eta_2$ (%)	$\eta_1$ (%)	NPSH (m)
0	23,6	2817	3165	0,00	0,00	2,027
6,785	23,75	2956	3314	14,82	13,22	2,156
12,84	23,88	3097	3466	26,91	24,04	2,269
25,67	23,95	3455	3851	48,39	43,41	2,517
38,51	23,55	3877	4310	63,61	57,21	2,805
51,35	22,56	4333	4812	72,69	65,45	3,166
64,18	20,92	4782	5314	76,37	68,72	3,632
77,02	18,61	5180	5765	75,24	67,61	4,237
89,86	15,51	5486	6116	69,10	61,98	5,014





## Anexo F - Fichas técnicas das UTAs/UTANs



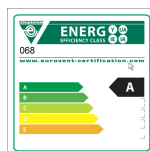
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 1  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 7

### Características

Modelo da unidade: PR 040  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 1680 / 1300 m³/h  
0.47 / 0.36 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 0.97 / 0.75 m/s

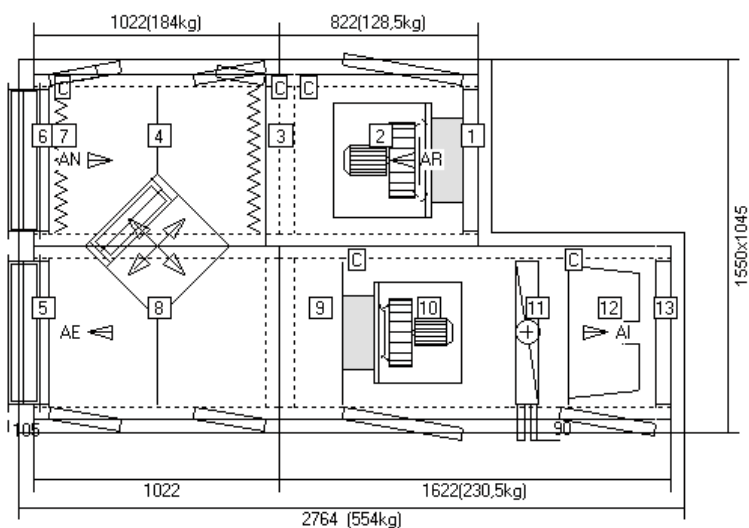
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Planta

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 1  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 8

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 822 mm Peso: 128.5 kg

#### (1) Entrada de ar

Ar de retorno		Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	1680	m <sup>3</sup> /h	
	0.47	m <sup>3</sup> /s	

#### (2) Ventilador de retorno

		com		Porta					
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-2831	Potência nominal	0.55	kW	Caudal de ar	1680	m <sup>3</sup> /h		
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			0.467	m <sup>3</sup> /s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	255	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE		Pressão disp.	100	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1410	rpm	Pressão din.	15	Pa		
		Intensidade nominal	1.32	A	Pressão total	370	Pa		
Velocidade Rot.	1850 rpm	Pot. absorv.	0.35	kW					
Eficiência	73 %	SFP3	750	W/(m <sup>3</sup> /s)					
Potência no veio	0.24 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>									
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	58 dB	57 dB	68 dB	64 dB	61 dB	55 dB	53 dB	48 dB	66 dB(A)
Lw Descarga	61 dB	60 dB	68 dB	63 dB	67 dB	64 dB	62 dB	55 dB	71 dB(A)
Lw radiado	42 dB	38 dB	43 dB	39 dB	32 dB	29 dB	21 dB	9 dB	40 dB(A)
Lp*	25 dB	21 dB	26 dB	22 dB	15 dB	12 dB	4 dB	0 dB	23 dB(A)
Lw Ar de retorno	58 dB	57 dB	68 dB	64 dB	61 dB	55 dB	53 dB	48 dB	66 dB(A)
Lw Ar extraído	58.6 dB	57.3 dB	64.3 dB	59.3 dB	62.8 dB	55.9 dB	52.8 dB	45.8 dB	65 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

### Módulo 2

Comprimento: 1022 mm Peso: 184 kg

#### (3) Filtro A

		com		Porta			
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>			
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	1680	m <sup>3</sup> /h	592 x 592	1	
Classe do Filtro	G4		0.467	m <sup>3</sup> /s			
Superfície frontal	0.372 m <sup>2</sup>	PDC final	150	Pa			
		PDC calc.	150	Pa			

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

#### (4) Recuperador de calor

		com		Porta			
<b>Dados do recuperador</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tipo	Recuperador de placas	Caudal de ar	1680	m <sup>3</sup> /h			
	Standard	Entrada de ar	20/50	°C/%HR			
Material	/AL	Saída de ar	11.9/82	°C/%HR			
Velocidade frontal	2.5 m/s	Pot. Total	5	kW			
		Eficiência	51	%			
		PDC	101	Pa			

#### (5) Saída de ar

Ar extraído		Registo exterior anti-gelo		Std galvanizado			
Caudal max. de ar	1680	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	2	Pa	Binário	3.8 Nm
	0.47	m <sup>3</sup> /s					

## Ar insuflado

#### (6) Entrada de ar

Ar novo		Registo exterior anti-gelo		Std galvanizado			
Caudal max. de ar	1300	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	1	Pa	Binário	3.8 Nm
	0.36	m <sup>3</sup> /s					



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 1  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 9

(7) Filtro		com	Porta			
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>			<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	1300	m³/h	592 x 592	1
Classe do Filtro	G4		0.361	m³/s		
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	150	Pa		
		PDC cálc.	150	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

(8) Recuperação de calor		com	Porta			
<b>Dados do recuperador</b>		<b>Rendimentos</b>				
Tipo	Recuperador de placas com Bypass	Caudal de ar	1300	m³/h		
			0.361	m³/s		
Material	/AL	Entrada de ar	-2/85	°C/%HR		
Velocidade frontal	1.9 m/s	Saída de ar	9.2/37	°C/%HR		
		Pot. Total	5	kW		
		Eficiência	51	%		
		PDC	62	Pa		

**Módulo 3** Comprimento: 1622 mm Peso: 230.5 kg

(9) Secção vazia

(10) Ventilador de insuflação		com	Porta			
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>			<b>Rendimentos</b>	
Tamanho	RLM 56-2528	Potência nominal	0.55	kW	Caudal de ar	1300 m³/h
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			0.361 m³/s
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	420	Pa
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	100	Pa
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	2835	rpm	Pressão din.	14 Pa
		Intensidade nominal	1.42	A	Pressão total	534 Pa
Velocidade Rot.	2433 rpm	Pot. absorv.	0.42	kW		
Eficiência	66 %	SFP3	1163	W/(m³/s)		
Potência no veio	0.29 kW					
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz 125 Hz 250 Hz 500 Hz 1 kHz 2 kHz 4 kHz 8 kHz Total					
Lw Aspiração	72 dB 74 dB 76 dB 72 dB 66 dB 58 dB 55 dB 47 dB 73 dB(A)					
Lw Descarga	77 dB 75 dB 76 dB 72 dB 72 dB 68 dB 63 dB 55 dB 76 dB(A)					
Lw radiado	56 dB 55 dB 51 dB 47 dB 37 dB 32 dB 23 dB 8 dB 48 dB(A)					
Lp*	39 dB 38 dB 34 dB 30 dB 20 dB 15 dB 6 dB 0 dB 31 dB(A)					
Lw Ar novo	69.7 dB 71.4 dB 72.4 dB 68.4 dB 61.9 dB 50 dB 45.9 dB 37.9 dB 69 dB(A)					
Lw Ar insuflado	76 dB 72.5 dB 73 dB 69.5 dB 70 dB 65.7 dB 60 dB 51.5 dB 74 dB(A)					

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

(11) Aquecimento						
<b>Dados bateria</b>		<b>Rendimentos</b>			<b>Dados fluido</b>	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	1300	m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al		0.361	m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	1.1 m/s	Entrada de ar	9.2/37	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60 °C
Superfície frontal	0.33 m²	Saída de ar	26/13	°C/%HR	Caudal	317 l/h
Fiadas/Circuitos	2/7	Factor de segurança	121	%	Velocidade	0.2 m/s
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	7.2	kW	PDC	0.5 kPa
Ligações	DN25	Pot.Sensível	7.2	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C
		PDC	7	Pa		

(12) Filtro D		com	Porta			
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>			<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	1300	m³/h	592 x 592	1
Classe do Filtro	F7		0.361	m³/s		
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	200	Pa		
		PDC cálc.	200	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 1  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 10

**(13) Saída de ar**

<i>Ar insuflado</i>	<i>Abertura frontal total</i>	
Caudal max. de ar	1300	m <sup>3</sup> /h
	0.36	m <sup>3</sup> /s



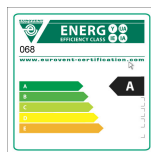
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 15

**Características**

Modelo da unidade: PR 040  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 2440 / 1950 m³/h  
0.68 / 0.54 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.41 / 1.12 m/s

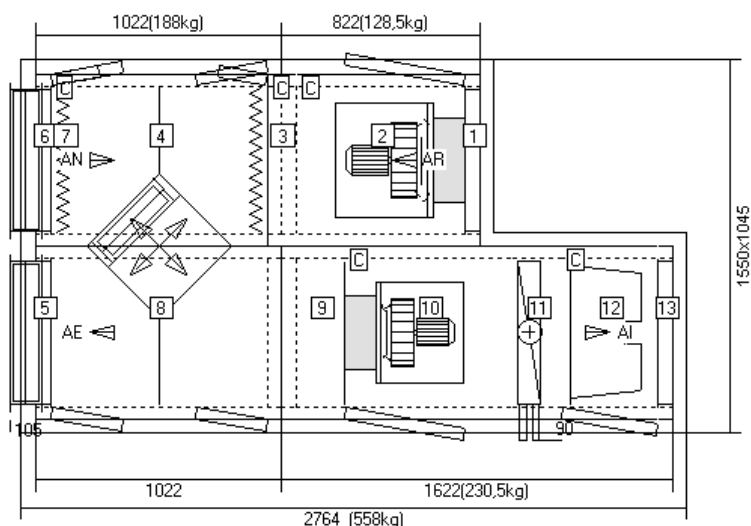
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Planta

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 16

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 822 mm Peso: 128.5 kg

#### (1) Entrada de ar

Air repris Ouverture en ligne totale	
Caudal max. de ar	2440 m <sup>3</sup> /h
	0.68 m <sup>3</sup> /s

#### (2) Ventilador de retorno

		com		Porta					
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-2831	Potência nominal	0.55 kW	Caudal de ar	2440	m <sup>3</sup> /h			
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		0.678	m <sup>3</sup> /s			
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	412	Pa			
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	100	Pa			
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1410 rpm	Pressão din.	32	Pa			
		Intensidade nominal	1.32 A	Pressão total	544	Pa			
Velocidade Rot.	2363 rpm	Pot. absorv.	0.67 kW						
Eficiência	75 %	SFP3	989 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	0.49 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	64 dB	63 dB	74 dB	70 dB	67 dB	61 dB	59 dB	54 dB	72 dB(A)
Lw Descarga	67 dB	66 dB	74 dB	69 dB	73 dB	70 dB	68 dB	61 dB	77 dB(A)
Lw radiado	48 dB	44 dB	49 dB	45 dB	38 dB	35 dB	27 dB	15 dB	46 dB(A)
Lp*	31 dB	31 dB	27 dB	32 dB	28 dB	21 dB	18 dB	10 dB	29 dB(A)
Lw Ar de retorno	64 dB	63 dB	74 dB	70 dB	67 dB	61 dB	59 dB	54 dB	72 dB(A)
Lw Ar extraído	64.6 dB	63.3 dB	70.3 dB	65.3 dB	68.8 dB	61.9 dB	58.8 dB	51.8 dB	71 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

### Módulo 2

Comprimento: 1022 mm Peso: 188 kg

#### (3) Filtro A

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>					
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	2440	m <sup>3</sup> /h	592 x 592	1			
Classe do Filtro	G4		0.678	m <sup>3</sup> /s					
Superfície frontal	0.372 m <sup>2</sup>	PDC final	150	Pa					
		PDC cálc.	150	Pa					

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

#### (4) Recuperador de calor

		com		Porta					
<b>Dados do recuperador</b>		<b>Rendimentos</b>							
Tipo	Recuperador de placas	Caudal de ar	2440	m <sup>3</sup> /h					
			0.678	m <sup>3</sup> /s					
Material	Média eficiência /AL	Entrada de ar	20/50	°C/%HR					
Velocidade frontal	3.5 m/s	Saída de ar	10.2/89	°C/%HR					
		Pot. Total	9	kW					
		Eficiência	63	%					
		PDC	256	Pa					

#### (5) Saída de ar

Air extrait Registre extérieur antigel standard Galva									
Caudal max. de ar	2440 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	3	Pa	Binário	3.8	Nm		
	0.68 m <sup>3</sup> /s								

## Ar insuflado

#### (6) Entrada de ar

Air neuf Registre extérieur antigel standard Galva									
Caudal max. de ar	1950 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	2	Pa	Binário	3.8	Nm		
	0.54 m <sup>3</sup> /s								



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 17

(7) Filtro		com	Porta		
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	1950	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	G4		0.542	m³/s	1
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	150	Pa	
		PDC cálc.	150	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

(8) Recuperação de calor		com	Porta		
<b>Dados do recuperador</b>		<b>Rendimentos</b>			
Tipo	Recuperador de placas com Bypass	Caudal de ar	1950	m³/h	
			0.542	m³/s	
Material	/AL	Entrada de ar	-2/85	°C/%HR	
Velocidade frontal	2.8 m/s	Saída de ar	11.9/31	°C/%HR	
		Pot. Total	9	kW	
		Eficiência	63	%	
		PDC	175	Pa	

**Módulo 3** Comprimento: 1622 mm Peso: 230.5 kg

(9) Secção vazia

(10) Ventilador de insuflação		com	Porta							
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>						
Tamanho	RLM 56-2528	Potência nominal	0.55	kW	Caudal de ar					
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		1950 m³/h					
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	542 m³/s					
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	100 Pa					
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	2835	rpm	Pressão din.					
		Intensidade nominal	1.42	A	33 Pa					
Velocidade Rot.	2928 rpm	Pot. absorv.	0.72	kW	Pressão total					
Eficiência	71 %	SFP4	1329	W/(m³/s)	675 Pa					
Potência no veio	0.51 kW									
<b>Níveis Sonoros</b>		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	66 dB	65 dB	76 dB	72 dB	69 dB	63 dB	61 dB	56 dB	74 dB(A)	
Lw Descarga	69 dB	68 dB	76 dB	71 dB	75 dB	72 dB	70 dB	63 dB	79 dB(A)	
Lw radiado	50 dB	46 dB	51 dB	47 dB	40 dB	37 dB	29 dB	17 dB	48 dB(A)	
Lp*	33 dB	29 dB	34 dB	30 dB	23 dB	20 dB	12 dB	0 dB	31 dB(A)	
Lw Ar novo	63.7 dB	62.4 dB	72.4 dB	68.4 dB	64.9 dB	55 dB	51.9 dB	46.9 dB	70 dB(A)	
Lw Ar insuflado	68 dB	65.5 dB	73 dB	68.5 dB	73 dB	69.7 dB	67 dB	59.5 dB	77 dB(A)	

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

(11) Aquecimento					
<b>Dados bateria</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Dados fluido</b>	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	1950	m³/h	Tipo
Material	Cu/Al		0.542	m³/s	Água
Velocidade frontal	1.6 m/s	Entrada de ar	11.9/31	°C/%HR	Glicol
Superfície frontal	0.33 m²	Saída de ar	28/11	°C/%HR	0 %
Fiadas/Circuitos	2/7	Factor de segurança	84	%	Entrada/Saída
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	10.8	kW	80/60 °C
Ligações	DN25	Pot.Sensível	10.8	kW	Caudal
		PDC	15	Pa	475 l/h
					Velocidade
					0.3 m/s
					PDC
					1.1 kPa
					Temp.min.(anti-gelo)
					0 °C

(12) Filtro D		com	Porta		
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	1950	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	F7		0.542	m³/s	1
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	200	Pa	
		PDC cálc.	200	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 18

**(13) Saída de ar**

<i>Air soufflé Ouverture en ligne totale</i>		
Caudal max. de ar	1950	m <sup>3</sup> /h
	0.54	m <sup>3</sup> /s



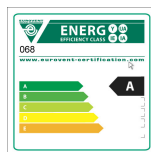
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 3  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 19

**Características**

Modelo da unidade: PR 040  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 1220 / 2200 m³/h  
0.34 / 0.61 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 0.7 / 1.27 m/s

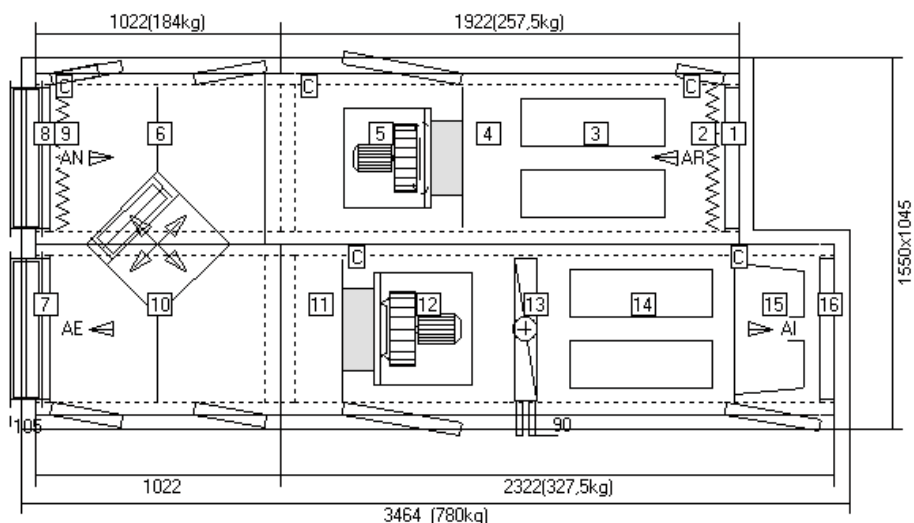
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Planta

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 3  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 20

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 1922 mm Peso: 257.5 kg

#### (1) Entrada de ar

Ar de retorno		Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	1220	m <sup>3</sup> /h	
	0.34	m <sup>3</sup> /s	

#### (2) Filtro A

		com		Porta			
Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros			
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	1220	m <sup>3</sup> /h	592 x 592	1	
Classe do Filtro	G4		0.339	m <sup>3</sup> /s			
Superfície frontal	0.372 m <sup>2</sup>	PDC final	150	Pa			
		PDC cálc.	150	Pa			

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

#### (3) Atenuador

Largura septos	200	mm	Nº septos	2	Velocidade ar	2	m/s	
Compr. Septos	600	mm			PDC	7	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

#### (4) Secção vazia

#### (5) Ventilador de retorno

		com		Porta					
Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 56-2528	Potência nominal	0.55	kW	Caudal de ar	1220	m <sup>3</sup> /h		
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			0.339	m <sup>3</sup> /s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	249	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE		Pressão disp.	100	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	2835	rpm	Pressão din.	13	Pa		
		Intensidade nominal	1.42	A	Pressão total	362	Pa		
Velocidade Rot.	2056 rpm	Pot. absorv.	0.28	kW					
Eficiência	69 %	SFP3	826	W/(m <sup>3</sup> /s)					
Potência no veio	0.18 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	58 dB	57 dB	68 dB	64 dB	61 dB	55 dB	53 dB	48 dB	66 dB(A)
Lw Descarga	61 dB	60 dB	68 dB	63 dB	67 dB	64 dB	62 dB	55 dB	71 dB(A)
Lw radiado	42 dB	38 dB	43 dB	39 dB	32 dB	29 dB	21 dB	9 dB	40 dB(A)
Lp*	25 dB	21 dB	26 dB	22 dB	15 dB	12 dB	4 dB	0 dB	23 dB(A)
Lw Ar de retorno	52.8 dB	49.5 dB	56.5 dB	46.5 dB	38 dB	35.1 dB	35 dB	36 dB	50 dB(A)
Lw Ar extraído	58.8 dB	57.8 dB	64.8 dB	59.8 dB	63.8 dB	56.8 dB	53.8 dB	46.8 dB	66 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)

- 1x Passa cabos para Motor e PTO

### Módulo 2

Comprimento: 1022 mm Peso: 184 kg

#### (6) Recuperador de calor

		com		Porta			
Dados do recuperador		Rendimentos					
Tipo	Recuperador de placas	Caudal de ar	1220	m <sup>3</sup> /h			
	Média eficiência		0.339	m <sup>3</sup> /s			
Material	/AL	Entrada de ar	20/50	°C/%HR			
Velocidade frontal	1.7 m/s	Saída de ar	5.6/97	°C/%HR			
		Pot. Total	8	kW			
		Eficiência	48	%			
		PDC	90	Pa			



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 3  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 21

**(7) Saída de ar**

Ar extraído Registo exterior anti-gelo Std galvanizado								
Caudal max. de ar	2200	m³/h	Perda de carga	1	Pa	Binário	3.8	Nm
	0.34	m³/s						

**Ar insuflado**

**(8) Entrada de ar**

Ar novo Registo exterior anti-gelo Std galvanizado								
Caudal max. de ar	2200	m³/h	Perda de carga	3	Pa	Binário	3.8	Nm
	0.61	m³/s						

**(9) Filtro**

			com	Porta				
<b>Dados filtro</b>			<b>Rendimentos</b>			<b>Qt. Filtros</b>		
Tipo	Filtro sintético		Caudal de ar	2200	m³/h	592 x 592	1	
Classe do Filtro	G4			0.611	m³/s			
Superfície frontal	0.372	m²	PDC final	150	Pa			
			PDC calc.	150	Pa			

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(10) Recuperação de calor**

			com	Porta				
<b>Dados do recuperador</b>			<b>Rendimentos</b>					
Tipo	Recuperador de placas com Bypass		Caudal de ar	2200	m³/h			
				0.611	m³/s			
Material	/AL		Entrada de ar	-2/85	°C/%HR			
Velocidade frontal	3.1	m/s	Saída de ar	8.5/39	°C/%HR			
			Pot. Total	8	kW			
			Eficiência	48	%			
			PDC	208	Pa			

**Módulo 3**

Comprimento: 2322 mm Peso: 327.5 kg

**(11) Secção vazia**

**(12) Ventilador de insuflação**

			com	Porta							
<b>Dados do ventilador</b>			<b>Dados motor</b>			<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-2831		Potência nominal	1.1	kW	Caudal de ar	2200	m³/h			
	Standard		Tensão	230/400V-3ph-50Hz			0.611	m³/s			
Pás	Ventilador		Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	593	Pa			
	Plug Fan		Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	100	Pa			
Amortecedores	Amortecedores de borracha		Velocidade nominal	2860	rpm	Pressão din.	26	Pa			
			Intensidade nominal	2.25	A	Pressão total	719	Pa			
Velocidade Rot.	2542	rpm	Pot. absorv.	0.82	kW						
Eficiência	72	%	SFP4	1342	W/(m³/s)						
Potência no veio	0.61	kW									
<b>Níveis Sonoros</b>			63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	67 dB	66 dB	77 dB	73 dB	70 dB	64 dB	62 dB	57 dB	75 dB(A)		
Lw Descarga	70 dB	69 dB	77 dB	72 dB	76 dB	73 dB	71 dB	64 dB	80 dB(A)		
Lw radiado	51 dB	47 dB	52 dB	48 dB	41 dB	38 dB	30 dB	18 dB	49 dB(A)		
Lp*	34 dB	30 dB	35 dB	31 dB	24 dB	21 dB	13 dB	1 dB	32 dB(A)		
Lw Ar novo	64.7 dB	63.4 dB	73.4 dB	69.4 dB	65.9 dB	56 dB	52.9 dB	47.9 dB	71 dB(A)		
Lw Ar insuflado	64 dB	59.5 dB	63 dB	52.5 dB	52 dB	51.7 dB	51 dB	49.5 dB	60 dB(A)		

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 3  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 22

**(13) Aquecimento**

Dados bateria			Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria		Caudal de ar	2200	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al			0.611	m³/s	Glicol	0 %	
Velocidade frontal	1.9	m/s	Entrada de ar	10.7/34	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60 °C	
Superfície frontal	0.33	m²	Saída de ar	30/10	°C/%HR	Caudal	646 l/h	
Fiadas/Circuitos	2/7		Factor de segurança	50 %		Velocidade	0.4 m/s	
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	14.7	kW	PDC	2 kPa	
Ligações	DN25		Pot.Sensível	14.7	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C	
			PDC	18	Pa			

**(14) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos				2	Velocidade ar	3.7	m/s
Compr. Septos	600	mm						PDC	14	Pa
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz		
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11		

**(15) Filtro D**

Dados filtro			Rendimentos			Qt. Filtros	
Tipo	Filtro compacto		Caudal de ar	2200	m³/h	592 x 592	1
Classe do Filtro	F7			0.611	m³/s		
Superfície frontal	0.372	m²	PDC final	200	Pa		
			PDC cálc.	200	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(16) Saída de ar**

Ar insuflado	Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	2200	m³/h
	0.61	m³/s



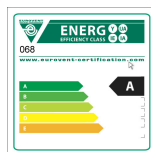
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 15

**Características**

Modelo da unidade: PR 040  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 2440 / 1950 m³/h  
0.68 / 0.54 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.41 / 1.12 m/s

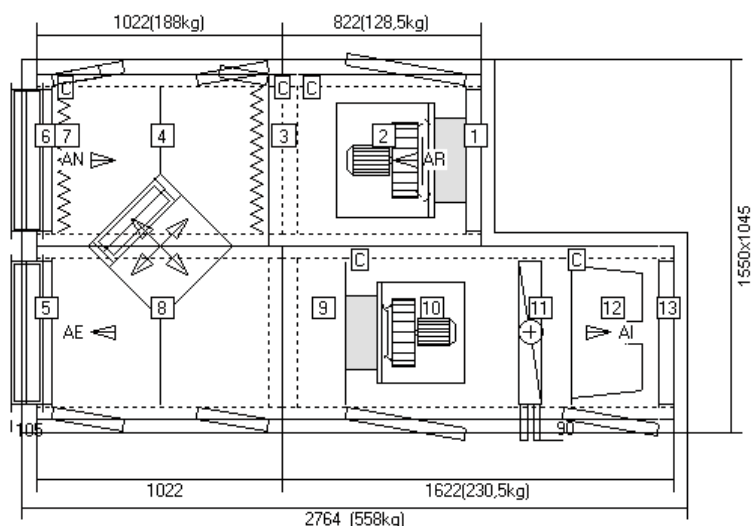
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Planta

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 16

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 822 mm Peso: 128.5 kg

#### (1) Entrada de ar

Air repris Ouverture en ligne totale	
Caudal max. de ar	2440 m <sup>3</sup> /h
	0.68 m <sup>3</sup> /s

#### (2) Ventilador de retorno

		com		Porta					
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-2831	Potência nominal	0.55 kW	Caudal de ar	2440 m <sup>3</sup> /h				
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		0.678 m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	412 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	100 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1410 rpm	Pressão din.	32 Pa				
		Intensidade nominal	1.32 A	Pressão total	544 Pa				
Velocidade Rot.	2363 rpm	Pot. absorv.	0.67 kW						
Eficiência	75 %	SFP3	989 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	0.49 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>									
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	64 dB	63 dB	74 dB	70 dB	67 dB	61 dB	59 dB	54 dB	72 dB(A)
Lw Descarga	67 dB	66 dB	74 dB	69 dB	73 dB	70 dB	68 dB	61 dB	77 dB(A)
Lw radiado	48 dB	44 dB	49 dB	45 dB	38 dB	35 dB	27 dB	15 dB	46 dB(A)
Lp*	31 dB	31 dB	27 dB	32 dB	28 dB	21 dB	18 dB	10 dB	29 dB(A)
Lw Ar de retorno	64 dB	63 dB	74 dB	70 dB	67 dB	61 dB	59 dB	54 dB	72 dB(A)
Lw Ar extraído	64.6 dB	63.3 dB	70.3 dB	65.3 dB	68.8 dB	61.9 dB	58.8 dB	51.8 dB	71 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

### Módulo 2

Comprimento: 1022 mm Peso: 188 kg

#### (3) Filtro A

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>					
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	2440 m <sup>3</sup> /h	592 x 592	1				
Classe do Filtro	G4		0.678 m <sup>3</sup> /s						
Superfície frontal	0.372 m <sup>2</sup>	PDC final	150 Pa						
		PDC calc.	150 Pa						

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

#### (4) Recuperador de calor

		com		Porta					
<b>Dados do recuperador</b>		<b>Rendimentos</b>							
Tipo	Recuperador de placas	Caudal de ar	2440 m <sup>3</sup> /h						
			0.678 m <sup>3</sup> /s						
Material	Média eficiência /AL	Entrada de ar	20/50 °C/%HR						
		Saída de ar	10.2/89 °C/%HR						
Velocidade frontal	3.5 m/s	Pot. Total	9 kW						
		Eficiência	63 %						
		PDC	256 Pa						

#### (5) Saída de ar

Air extrait Registre extérieur antigél standard Galva									
Caudal max. de ar	2440 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	3 Pa	Binário	3.8 Nm				
	0.68 m <sup>3</sup> /s								

## Ar insuflado

#### (6) Entrada de ar

Air neuf Registre extérieur antigél standard Galva									
Caudal max. de ar	1950 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	2 Pa	Binário	3.8 Nm				
	0.54 m <sup>3</sup> /s								



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 17

(7) Filtro		com	Porta		
<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	1950	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	G4		0.542	m³/s	1
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	150	Pa	
		PDC cálc.	150	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

(8) Recuperação de calor		com	Porta		
<i>Dados do recuperador</i>		<i>Rendimentos</i>			
Tipo	Recuperador de placas	Caudal de ar	1950	m³/h	
	com Bypass		0.542	m³/s	
Material	/AL	Entrada de ar	-2/85	°C/%HR	
Velocidade frontal	2.8 m/s	Saída de ar	11.9/31	°C/%HR	
		Pot. Total	9	kW	
		Eficiência	63	%	
		PDC	175	Pa	

**Módulo 3** Comprimento: 1622 mm Peso: 230.5 kg

(9) Secção vazia

(10) Ventilador de insuflação		com	Porta							
<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>		<i>Rendimentos</i>						
Tamanho	RLM 56-2528	Potência nominal	0.55	kW	Caudal de ar					
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		0.542					
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	542					
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	100					
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	2835	rpm	Pressão din.					
		Intensidade nominal	1.42	A	33					
Velocidade Rot.	2928 rpm	Pot. absorv.	0.72	kW	Pressão total					
Eficiência	71 %	SFP4	1329	W/(m³/s)	675					
Potência no veio	0.51 kW									
<i>Níveis Sonoros</i>		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	66 dB	65 dB	76 dB	72 dB	69 dB	63 dB	61 dB	56 dB	74 dB(A)	
Lw Descarga	69 dB	68 dB	76 dB	71 dB	75 dB	72 dB	70 dB	63 dB	79 dB(A)	
Lw radiado	50 dB	46 dB	51 dB	47 dB	40 dB	37 dB	29 dB	17 dB	48 dB(A)	
Lp*	33 dB	29 dB	34 dB	30 dB	23 dB	20 dB	12 dB	0 dB	31 dB(A)	
Lw Ar novo	63.7 dB	62.4 dB	72.4 dB	68.4 dB	64.9 dB	55 dB	51.9 dB	46.9 dB	70 dB(A)	
Lw Ar insuflado	68 dB	65.5 dB	73 dB	68.5 dB	73 dB	69.7 dB	67 dB	59.5 dB	77 dB(A)	

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)  
- 1x Passa cabos para Motor e PTO

(11) Aquecimento					
<i>Dados bateria</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>Dados fluido</i>	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	1950	m³/h	Tipo
Material	Cu/Al		0.542	m³/s	Água
Velocidade frontal	1.6 m/s	Entrada de ar	11.9/31	°C/%HR	Glicol
Superfície frontal	0.33 m²	Saída de ar	28/11	°C/%HR	0
Fiadas/Circuitos	2/7	Factor de segurança	84	%	Entrada/Saída
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	10.8	kW	80/60
Ligações	DN25	Pot.Sensível	10.8	kW	Caudal
		PDC	15	Pa	475
					Velocidade
					0.3
					PDC
					1.1
					kPa
					Temp.min.(anti-gelo)
					0
					°C

(12) Filtro D		com	Porta		
<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	1950	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	F7		0.542	m³/s	1
Superfície frontal	0.372 m²	PDC final	200	Pa	
		PDC cálc.	200	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: URC 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 18

**(13) Saída de ar**

<i>Air soufflé Ouverture en ligne totale</i>		
Caudal max. de ar	1950	m <sup>3</sup> /h
	0.54	m <sup>3</sup> /s



## Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A.



<b>OF</b> 272.329		<b>CLIENTE</b> DFS		<b>MODELO</b> UTA-RP 40 plus 50	
<b>DATA</b> 02-2018		<b>OBRA</b> LEICA - Ampliação Zona da Ótica e Mecânica		<b>REFERÊNCIA</b> UTA 2	

DESIGNAÇÃO	EFIC.	ΔP INICIAL		ΔP FINAL		ΔP CONSID.	
		Pa	%	Pa	%	Pa	%
Filtro Saco	INS	M5	11	200	106		
Filtro Saco	INS	F9	44	300	172		
Filtro Plano	RET	G4	22	150	86		

ATRAVANCAMENTO		
Altura x Largura x Comprimento	mm	254x1017x4990
Peso Total	kg	984

DESIGNAÇÃO	CAUDAL	INVERNO								VERÃO								
		ENTRADA		SAÍDA		ΔP		POTÊNCIA		ENTRADA		SAÍDA		ΔP		POTÊNCIA		
		m³/h	%	°C	%	Pa	Pa	SENS.	TOTAL	°C	%	°C	%	Pa	Pa	SENS.	TOTAL	
H20850/25 - 640	INS.	3.770	-0,8	80	15,5	25	78	216	20,5	20,5	32	39	26,4	54	70	237	7,1	7,1
	RET.	3.500	20	50	6,1	99	67	194	20,5	20,5	24	30	30,0	35	75	205	7,1	7,1

TIPO	FIADAS	CIRC.	Ø <sub>ENT</sub>	Ø <sub>SAL</sub>	AR								POTÊNCIA				FLUÍDO PRIMÁRIO											
					CAUDAL		ENTRADA		SAÍDA		VEL.		ΔP		SENS.		TOTAL		CAUDAL		ENT.		SAÍDA		GLYCOL		ΔP	
					m³/h	%	°C	%	°C	%	m/s	Pa	Pa	kW	kW	l/h	°C	°C	%	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	
Arref.	12	18	1,5"	1,5"	3.770	26,4	54	8,5	99	1,37	131	22,6	37,79	6,560	7	12	5	31,2	Água									
Aquec.	1	3	0,75"	0,75"	3.770	15,5	25	35,48	8	1,37	8	25,2	25,2	1.124	80	60	5	12	Água									

DESIGNAÇÃO	MÁXIMO				
	CAUDAL	REGULAÇÃO	VEL.	ΔP	
	m³/h	°	m/s	Pa	
NO 700x500	AR NOVO	3.770	0	3	14
NO 600x300	AR EXAUSTÃO	3.500	0	5,4	14
NO 600x300	AR RETORNO	3.500	0	5,4	14
NO 770x510	RECUPERADOR	3.500	0	2,5	4
NO 770x310	BY-PASS RECUP.	3.500	0	4,1	9

DESIGNAÇÃO	CAUDAL	ΔP <sub>Ext.</sub>	VEL. ROT.	POT. VEIO	ΔP <sub>EST.</sub>	ΔP <sub>DIR.</sub>	ΔP <sub>TOTAL</sub>	COEF.	
									m³/h
P3552ECM	INS.	3.770	120	2.331	1,08	728	40	768	148
P3551ECM	RET.	3.500	50	1.890	0,53	341	35	376	148

POT. NOMINAL	VEL. ROT.	EFIC.	VEL.	TENS.	COR.	POT. EL.	FREQ.	
								rpm
1,7 kW	INS.	2.600	EC	1-N	400	2,6	1,25	40 - 45 - 49
1 kW	RET.	2.140	EC	1-N	400	1,65	0,62	42 - 44 - 46

-	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	LWS
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
INSUFILAÇÃO - DESCARGA	64	63	74	68	62	56	50	47	69
INSUFILAÇÃO - ADMISSÃO	58	54	63	56	55	44	32	25	59
RETORNO - EXAUSTÃO	66	63	66	64	59	58	54	49	66
RETORNO - EXTRACÇÃO	69	68	71	74	75	72	66	62	79
EXTERIOR	61	60	66	67	64	62	45	33	69

**INSTALADO POR:**

DFS - DECIO SOARES UNIPessoal LDA AV DR FRANCISCO SA CARNEIRO Nº 591 4630-205 MARCO DE CANAVESES	Tel.: 223161007 Fax: 255523599
--	-----------------------------------

<b>EVAC SA</b> ZONA INDUSTRIAL 2ª FASE - LOTE 1 A 4 4560-709 PENAFIEL PORTUGAL	WEB : www.evac.pt E-MAIL : geral@evac.pt	Tel.: +351.255.710.140 Fax: +351.255.712.988
--	---	---





## Equipamentos de Ventilação e Ar Condicionado, S.A.



<b>OF</b>		<b>CLIENTE</b>		<b>MODELO</b>	
272.329		DFS		UTA-RP 30 plus 50	
<b>DATA</b>		<b>OBRA</b>		<b>REFERÊNCIA</b>	
02-2018		LEICA - Ampliação Zona da Ótica e Mecânica		UTA 1	

DESIGNAÇÃO	EFIC.	ΔP INICIAL	ΔP FINAL	ΔP CONSID.	
		Pa	Pa	Pa	
Filtro Saco	INS	M5	9	200	104
Filtro Saco	INS	F9	34	300	167
Filtro Plano	RET	G4	16	150	83

ATRAVANCAMENTO		
Altura x Largura x Comprimento	mm	1874x1017x4335
Peso Total	kg	664

DESIGNAÇÃO	CAUDAL	INVERNO								VERÃO								
		ENTRADA				SAÍDA				ENTRADA				SAÍDA				
		εC	%	εC	%	εC	%	εC	%	εC	%	εC	%	εC	%			
H30850/26 - 670	INS.	2.180	-0,8	80	16,2	24	82	189	12,2	12,2	32	39	26,0	56	75	227	4,3	4,3
	RET.	1.850	20	50	5,3	95	71	180	12,2	12,2	24	50	30,9	33	87	166	4,3	4,3

### BATERIA

TIPO	FIADAS	CIRC.	θ <sub>ENT</sub>	θ <sub>SAL</sub>	AR								FLUÍDO PRIMÁRIO															
					CAUDAL				ENTRADA				SAÍDA				VEL.				ΔP				POTÊNCIA			
					m³/h	εC	%	εC	%	εC	%	εC	%	m/s	Pa	SENS.	TOTAL	CAUDAL	ENT.	SAÍDA	GLYCOL	ΔP						
Arref.	12	11	1,25°	1,25°	2.180	26	56	8,2	99	1,16	93	13,01	22,34	3.880	7	12	5	31,3	Água									
Aquec.	1	2	0,5°	0,5°	2.180	16,2	24	40,1	6	1,16	4	17,47	17,47	780	80	60	5	14	Água									

### REGISTO/CAUDAIS

DESIGNAÇÃO	CAUDAL	MÁXIMO			
		REGULAÇÃO		ΔP	
		m³/h	ε	m/s	Pa
NO 600x300	AR NOVO	2.180	0	3,3	18
NO 500x200	AR EXAUSTÃO	1.850	0	5,1	13
NO 500x200	AR RETORNO	1.850	0	5,1	13
NO 380x610	RECUPERADOR	1.850	0	2,2	3
NO 380x210	BY-PASS RECUP.	1.850	0	6,4	18

### VENTILADOR

DESIGNAÇÃO	CAUDAL	ΔP <sub>EXT.</sub>	VEL. ROT.	POT. VEIO	ΔP <sub>EST.</sub>	ΔP <sub>DIN.</sub>	ΔP <sub>TOTAL</sub>	COEF.	
		Pa	rpm	kW	Pa	Pa	Pa	m².s/h	
P3104ECM	INS.	2.180	100	2.322	0,6	643	23	666	116
P2501ECM	RET.	1.850	50	2.647	0,34	320	40	360	70

### MOTOR

POT. NOMINAL	VEL. ROT.	EFIC.	VEL.	TENS.	COR.	POT. EL.	FREQ.	
							rpm	Hz
1,65kW	INS.	3.140	EC	1-N	400	2,5	0,75	31 - 37 - 42
0,45kW	RET.	3.000	EC	1-N	230	2,8	0,36	42 - 44 - 46

### NÍVEL DE RUÍDO

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	LWS
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
INSUFLAÇÃO - DESCARGA	64	64	71	66	61	55	49	45	66
INSUFLAÇÃO - ADMISSÃO	58	55	62	53	53	43	32	24	56
RETORNO - EXAUSTÃO	60	56	63	61	57	55	55	51	63
RETORNO - EXTRACÇÃO	63	61	68	68	71	72	69	64	77
EXTERIOR	61	58	64	62	65	65	47	37	70

### INSTALADO POR:

DFS - DECIO SOARES UNIPessoal LDA		Tel.: 223161007
AV DR FRANCISCO SA CARNEIRO Nº 591		Fax: 255523599
4630-205 MARCO DE CANAVESES		

<b>EVAC SA</b>		WEB : <a href="http://www.evac.pt">www.evac.pt</a>	Tel.: +351.255.710.140
ZONA INDUSTRIAL 2ª FASE - LOTE 1 A 4		E-MAIL : <a href="mailto:geral@evac.pt">geral@evac.pt</a>	Fax: +351.255.712.988
4560-709 PENAFIEL PORTUGAL			





**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.**

DE	EVAC S.A. - Telma Ramos	MODELO	UTA-RP 20 plus 50
OBRA	Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão	REF.	UTA 2 r2

**1. Implementação da diretiva 2009/125/EC - Regulamento 1253/2014 (requisitos Ecodesign)**

	Insuflação	Extracção	NRVU - BVU
Sist. transmissão de várias vel. ou velocidade variável			
Potência eléctrica absorvida	Pel abs 1,24	0,69	kW
Rendimento estático global - grupo ventilador	$\eta_{sys}$ 60,6	56,7	%
Perda de carga interna - ecodesign	$\Delta P$ 307	197	Pa
Specific Fan Power - ecodesign	SFP <sub>int.</sub>	854	J/m³
Specific Fan Power máximo - ecodesign	SFP <sub>int.máx.</sub>	945	J/m³
SRC com mecanismo de derivação térmica			
Eficiência térmica	$\eta_{L\_NRVU}$	68	%
<small>(Eficiência térmica mínima 67%)</small>			

A unidade está em conformidade com o regulamento, parâmetros 2016.

**2. Especificações Construtivas**

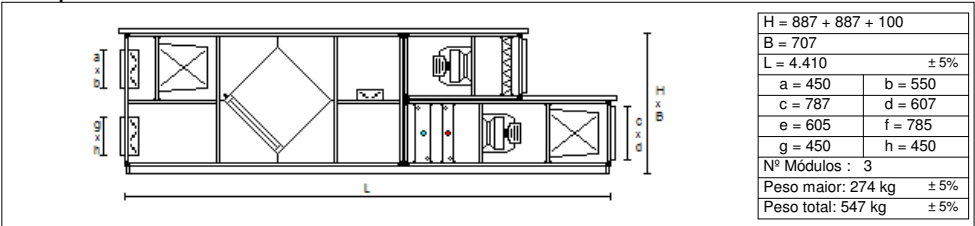
Estrutura de 50 em alumínio tratado. Painéis de dupla chapa com isolamento de poliuretano com densidade 44 kg/m³.  
 Chapa exterior em aço galvanizado plastificada de cor cinza.  
 Chapa interior em aço galvanizado.  
 Unidade para montagem à intempérie

Tendo em consideração as recomendações da norma: EN 13053  
 Classificação segundo a Norma EN 1886:2007: D1(M) / L1(M) / G1-F9 / T3 / TB3

**3. Especificações Gerais**

	Insuflação	Extracção	Ar novo	
Caudal Ar	3.000	2.900	1.150	Nm³/h
Densidade: 1,204 kg/m³	1,003	0,97	0,385	kg/s
Pressão estática requerida	150	150		Pa
Condições do ar - Inverno				
Temperatura bolbo seco		20	-0,8	°C
Humidade relativa		50	90	%
Condições do ar - Verão				
Temperatura bolbo seco		24	32	°C
Humidade relativa		50	39	%

**4. Esquisso**



**5. UTA - Classificação da eficiência energética**

	Insuflação	Extracção	
Temperatura de projecto inverno	tODA -0,8		°C
Factor: Perda carga Sist. Recup. Calor/eficiência	tpe 8,73		Pa/%
Velocidade referência	Vs 1,74	1,69	m/s
Perda de carga interna	DPS-interno 731	310	Pa
Pressão de correcção devido à velocidade	DPx 58	8	Pa
Pressão de correcção devido à perda de carga do SRC	DPy -5	-33	Pa
Pressão de correcção devido à eficiência do SRC	DPz 34	34	Pa
Potência de ventilação referência	Pref 1,26	0,73	kW
Factor de potência absorvida	fs-Pref	0,97	



A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio. Versão : 4.7.0.11 Data de impressão :14-03-2017



A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
 A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.


**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.**

www.evac.pt

OBRA: Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão

MODELO: UTA-RP 20 plus 50

REF.: UTA 2 r2

**6. Secção de entrada - Retorno**

Para ligação a conduta

**7. Secção de filtragem inicial - Retorno**

	Eficiência	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Plano	G4 (EN779)	48	150	99	

**8. Secção do ventilador - Retorno**

Ventilador centrífugo de simples aspiração, pás recuadas, concebido para o uso sem envolvente "Plug Fan".

Modelo	P3105ECM				
Caudal	2.900	Nm³/h	Pressão estática disponível	150	Pa
Vel. Rotação	2.345	rpm	Pressão estática total	486	Pa
Potência no veio	0,54	kW	Pressão dinâmica	42	Pa
SFP (Class 3)	774	W/(m³/s)	Pressão total	528	Pa
Motor Eficiência EC					
Potência nominal	2,5	kW	Potência absorvida	0,69	kW
Número de polos	-		Classe protecção/isolamento	IP54/I	
Vel. rotação nominal	3640	rpm	Tensão nominal	3~ 380..480	V
Frequência funcionamento	32,2	Hz	Corrente nominal	4	A

O efeito do sistema no ventilador é tido em conta no seu desempenho.

Extras:

 Interruptor motor eléctrico  
 Óculo e iluminação

**9. Secção de saída - Retorno**

 Para ligação a conduta  
 Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)

**10. Secção de entrada - Insuflação**

 Para ligação a conduta  
 Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)

**11. Secção de filtragem inicial - Insuflação**

	Eficiência	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Saco (535 mm)	M5 (EN779)	6	200	103	

Extras:  
Pressostato diferencial: Filtro Saco

**12. Secção térmica - Recuperação de calor**

Permutador de placas alhetas em alumínio - H20600/2.5 - 260

Tabeleiro de recolha de condensados em aço inox 304L.

By-pass Térmico

	Inverno		Verão		
	Extracção	Insuflação	Extracção	Insuflação	
Caudal	1.050	1.150	1.050	1.150	m³/h
Perda carga	197	225	208	246	Pa
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Entrada	20 / 50	-0,8 / 90	24 / 50	32 / 39	°C / %
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Saída	6,7 / 99	14,1 / 31	29,7 / 36	26,8 / 53	°C / %
Potência sensível	5,7	5,7	2,0	2,0	kW
Potência total	5,7	5,7	2,0	2,0	kW
Rendimento térmico	64	72	71	65	%
Temperatura de condensação	9,3			16,5	°C
Condensados	1,5			0	L/h

**13. Secção de mistura**

Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.7.0.11

Data de impressão :14-03-2017


 A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
 A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.
Pg. 2  
(cont.)



www.evac.pt

**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.**

OBRA: Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão

MODELO: UTA-RP 20 plus 50

REF.: UTA 2 r2

**14. Secção térmica - Bateria de Arrefecimento / Bateria de Aquecimento**

Permutador compacto com alhetas em alumínio e tubo em cobre.  
 Tabuleiro de recolha de condensados em aço inox 304L.

Fiadas	8	3	
Ligação	1,25"	1"	
<b>Condições do ar</b>			
Caudal	3.000	3.000	m³/h
Velocidade facial no alhetado	2,38	2,38	m/s
Perda carga (seca/húmida)	159/222	41	Pa
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Entrada	25,1 / 51	17,7 / 45	°C / %
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Saída	11,4 / 99	33,6 / 18	°C / %
Potência sensível	13,73	15,97	kW
Fluido primário - Água/Glicol	0	0	%(kg)
Caudal	3.170	2.780	L/h
Potência total	18,48	15,97	kW
Temperatura - Entrada / Saída	7 / 12	45 / 40	°C
Perda carga	29,6	24,3	kPa

projectado para condições secas

**15. Secção do ventilador - Insuflação**

Ventilador centrífugo de simples aspiração, pás recuadas, concebido para o uso sem envolvente "Plug Fan".

Modelo	P3105ECM				
Caudal	3.000	Nm³/h	Pressão estática disponível	150	Pa
Vel. Rotação	2.853	rpm	Pressão estática total	901	Pa
Potência no veio	1,04	kW	Pressão dinâmica	45	Pa
SFP (Class 3)	1.164	W/(m³/s)	Pressão total	946	Pa
SFPv / SFPe	1.912 / 2.366	W/(m³/s)			
<b>Motor Eficiência EC</b>					
Potência nominal	2,5	kW	Potência absorvida	1,24	kW
Número de polos	-		Classe protecção/isolamento	IP54/I	
Vel. rotação nominal	3640	rpm	Tensão nominal	3- 380..480	V
Frequência funcionamento	39,2	Hz	Corrente nominal	4	A

O efeito do sistema no ventilador é tido em conta no seu desempenho.  
 Extras:  
 Interruptor motor eléctrico  
 Óculo e iluminação

**16. Secção de filtragem final - Insuflação**

	Eficiência F9 (EN779)	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Saco (535 mm)		82	300	191	

Extras:  
 Pressostato diferencial: Filtro Saco

**17. Secção de saída - Insuflação**

Para ligação a conduta

**18. Espectro Acústico**

	LWS	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Insuflação - Descarga	75 dB(A)	68	67	75	72	73	64	57	53	dB
Insuflação - Admissão	54 dB(A)	57	56	60	54	47	39	28	22	dB
Insuflação - Exterior	63 dB(A)	58	56	59	60	56	57	39	30	dB
Retorno - Exaustão	74 dB(A)	62	61	70	68	70	67	61	57	dB
Retorno - Extracção	72 dB(A)	62	62	69	70	66	65	60	57	dB
Retorno - Exterior	59 dB(A)	52	52	56	57	53	53	34	26	dB
Total - Exterior	64 dB(A)	59	57	61	62	58	58	40	31	dB

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.7.0.11

Data de impressão :14-03-2017



A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
 A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.



**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.**

www.evac.pt

DE	EVAC S.A. - Telma Ramos	MODELO	UTA-RP 30 plus 50
OBRA	Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão	REF.	UTA 1 r1

**1. Implementação da diretiva 2009/125/EC - Regulamento 1253/2014 (requisitos Ecodesign)**

	Insuflação	Extracção	NRVU - BVU
Sist. transmissão de várias vel. ou velocidade variável			
Potência eléctrica absorvida	Pel abs 1,31	0,72 ✓	kW
Rendimento estático global - grupo ventilador	$\eta_{sys}$ 59,7	55,5	%
Perda de carga interna - ecodesign	$\Delta P$ 307	195	Pa
Specific Fan Power - ecodesign	SFP <sub>int.</sub> 866	1134	J/m³
Specific Fan Power máximo - ecodesign	SFP <sub>int.máx.</sub> 1134		J/m³
SRC com mecanismo de derivação térmica		84 ✓	%
Eficiência térmica (Eficiência térmica mínima 73%)	$\eta_{L,NRVU}$		%

A unidade está em conformidade com o regulamento, parâmetros 2018.

**2. Especificações Construtivas**

Estrutura de 50 em alumínio tratado. Painéis de dupla chapa com isolamento de poliuretano com densidade 44 kg/m³.

Chapa exterior em aço galvanizado plastificada de cor cinza.

Chapa interior em aço galvanizado.

Unidade para montagem à intempérie

Tendo em consideração as recomendações da norma: EN 13053

Classificação segundo a Norma EN 1886:2007: D1(M) / L1(M) / G1-F9 / T3 / TB3

**3. Especificações Gerais**

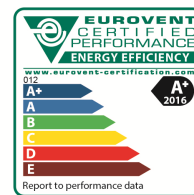
	Insuflação	Extracção	Ar novo	
Caudal Ar	3.500	3.100	1.600	Nm³/h
Densidade: 1,204 kg/m³	1,171	1,037	0,535	kg/s
Pressão estática requerida	150	150		Pa
Condições do ar - Inverno				
Temperatura bolbo seco		20	-0,8	°C
Humidade relativa		50	90	%
Condições do ar - Verão				
Temperatura bolbo seco		24	32	°C
Humidade relativa		50	39	%

**4. Esquisso**

H = 887 + 887 + 100	
B = 1.017	
L = 4.320 ± 5%	
a = 750	b = 350
c = 787	d = 917
e = 745	f = 875
g = 750	h = 350
Nº Módulos : 3	
Peso maior: 285 kg ± 5%	
Peso total: 619 kg ± 5%	

**5. UTA - Classificação da eficiência energética**

	Insuflação	Extracção	
Temperatura de projecto inverno	tODA -0,8		°C
Factor: Perda carga Sist. Recup. Calor/eficiência	tpe 8,73		Pa/%
Velocidade referência	Vs 1,35	1,19	m/s
Perda de carga interna	DPS-interno 635	294	Pa
Pressão de correcção devido à velocidade	DPx -22	-25	Pa
Pressão de correcção devido à perda de carga do SRC	DPy -4	-55	Pa
Pressão de correcção devido à eficiência do SRC	DPz -2	-2	Pa
Potência de ventilação referência	Pref 1,43	0,86	kW
Factor de potência absorvida	fs-Pref 0,89		



A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.7.0.11

Data de impressão :14-03-2017



A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Pg. 1 (cont.)



www.evac.pt

EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.

OBRA: Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão

MODELO: UTA-RP 30 plus 50

REF.: UTA 1 r1

**6. Secção de entrada - Retorno**

Para ligação a conduta

**7. Secção de filtragem inicial - Retorno**

	Eficiência G4 (EN779)	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Plano		30	150	90	

**8. Secção do ventilador - Retorno**

Ventilador centrífugo de simples aspiração, pás recuadas, concebido para o uso sem envolvente "Plug Fan".

Modelo	P3105ECM				
Caudal	3.100	Nm³/h	Pressão estática disponível	150	Pa
Vel. Rotação	2.403	rpm	Pressão estática total	464	Pa
Potência no veio	0,57	kW	Pressão dinâmica	48	Pa
SFP (Class 1)	738	W/(m³/s)	Pressão total	512	Pa
Motor Eficiência EC					
Potência nominal	2,5	kW	Potência absorvida	0,72	kW
Número de polos	-		Classe protecção/isolamento	IP54/I	
Vel. rotação nominal	3640	rpm	Tensão nominal	3~ 380..480	V
Frequência funcionamento	33	Hz	Corrente nominal	4	A

O efeito do sistema no ventilador é tido em conta no seu desempenho.

Extras:

Interruptor motor eléctrico  
Óculo e iluminação**9. Secção de saída - Retorno**Para ligação a conduta  
Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)**10. Secção de entrada - Insuflação**Para ligação a conduta  
Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)**11. Secção de filtragem inicial - Insuflação**

	Eficiência M5 (EN779)	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Saco (535 mm)		6	200	103	
Extras:					
Pressostato diferencial: Filtro Saco					

**12. Secção térmica - Recuperação de calor**

Permutador de placas alhetas em alumínio - H30750/2.4 - 470

Tabeleiro de recolha de condensados em aço inox 304L.

By-pass Térmico

	Inverno		Verão		
	Extracção	Insuflação	Extracção	Insuflação	
Caudal	1.200	1.600	1.200	1.600	m³/h
Perda carga	195	246	181	295	Pa
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Entrada	20 / 50	-0,8 / 90	24 / 50	32 / 39	°C / %
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Saída	4,7 / 95	15,1 / 29	31,0 / 33	26,5 / 54	°C / %
Potência sensível	8,3	8,3	2,8	2,8	kW
Potência total	8,3	8,3	2,8	2,8	kW
Rendimento térmico	74	76	87	69	%
Temperatura de condensação	9,4			16,5	°C
Condensados	3,3			0	L/h

**13. Secção de mistura**

Registo proporcional - Classe 2 (EN 1751)

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.7.0.11

Data de impressão :14-03-2017



A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Pg. 2  
(cont.)


**EVAC - EQUIPAMENTOS DE VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO S.A.**

www.evac.pt

OBRA: Amp.Unid Industrial LEICA-Vila Nova Famalicão

MODELO: UTA-RP 30 plus 50

REF.: UTA 1 r1

**14. Secção térmica - Bateria de Arrefecimento / Bateria de Aquecimento**

Permutador compacto com alhetas em alumínio e tubo em cobre.					
Tabuleiro de recolha de condensados em aço inox 304L.					
Fiadas	6		2		
Ligação	1,25"		1"		
Condições do ar					
Caudal	3.500		3.500		m³/h
Velocidade facial no alhetado	1,86		1,86		m/s
Perda carga (seca/húmida)	77/109		18		Pa
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Entrada	25,1 / 52		17,7 / 42		°C / %
Temperatura bolbo seco / Humidade relativa - Saída	11,7 / 97		32,3 / 18		°C / %
Potência sensível	15,66		17,07		kW
Fluido primário - Água/Glicol	0		0		%(kg)
Caudal	3.720		2.970		L/h
Potência total	21,66		17,07		kW
Temperatura - Entrada / Saída	7 / 12		45 / 40		°C
Perda carga	23		18,4		kPa
projectado para condições secas					

**15. Secção do ventilador - Insuflação**

Ventilador centrífugo de simples aspiração, pás recuadas, concebido para o uso sem envolvente "Plug Fan".					
Modelo	P3105ECM				
Caudal	3.500	Nm³/h	Pressão estática disponível	150	Pa
Vel. Rotação	2.918	rpm	Pressão estática total	804	Pa
Potência no veio	1,1	kW	Pressão dinâmica	61	Pa
SFP (Class 2)	1.011	W/(m³/s)	Pressão total	865	Pa
SFPv / SFPe	1.665 / 2.113	W/(m³/s)			
Motor Eficiência EC					
Potência nominal	2,5	kW	Potência absorvida	1,31	kW
Número de polos	-		Classe protecção/isolamento	IP54/I	
Vel. rotação nominal	3640	rpm	Tensão nominal	3~ 380..480	V
Frequência funcionamento	40,1	Hz	Corrente nominal	4	A
O efeito do sistema no ventilador é tido em conta no seu desempenho.					
Extras:					
Interruptor motor eléctrico					
Óculo e iluminação					

**16. Secção de filtragem final - Insuflação**

	Eficiência F9 (EN779)	Perda carga		Cálculo	Pa
		Inicial	Final		
Filtro Saco (535 mm)		61	300	180	
Extras:					
Pressostato diferencial: Filtro Saco					

**17. Secção de saída - Insuflação**

Para ligação a conduta

**18. Espectro Acústico**

	LWS	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz
Insuflação - Descarga	76 dB(A)	67	67	76	72	74	65	57	54	dB
Insuflação - Admissão	55 dB(A)	59	56	61	56	48	39	30	24	dB
Insuflação - Exterior	64 dB(A)	58	56	61	62	58	58	40	31	dB
Retorno - Exaustão	73 dB(A)	63	60	70	68	70	66	60	56	dB
Retorno - Extracção	73 dB(A)	63	63	70	71	66	66	61	58	dB
Retorno - Exterior	60 dB(A)	53	53	57	58	54	54	35	28	dB
Total - Exterior	65 dB(A)	59	58	62	63	59	59	41	33	dB

A EVAC reserva-se o direito de alterar as 'performances' e dimensões sem aviso prévio.

Versão : 4.7.0.11

Data de impressão :14-03-2017



A EVAC participa no Programa de Certificação de Unidades de Tratamento de Ar EUROVENT.  
A gama UTA está certificada sob o nº 99 05 012, e apresentada no Directório de Unidades de Tratamento de Ar Certificadas.

Pg. 3  
(últ. pg.)



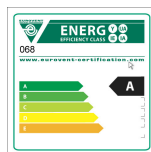
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CANTINA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 1

**Características**

Modelo da unidade: PR 160  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 7600 / 8700 m³/h  
2.11 / 2.42 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.33 / 1.52 m/s

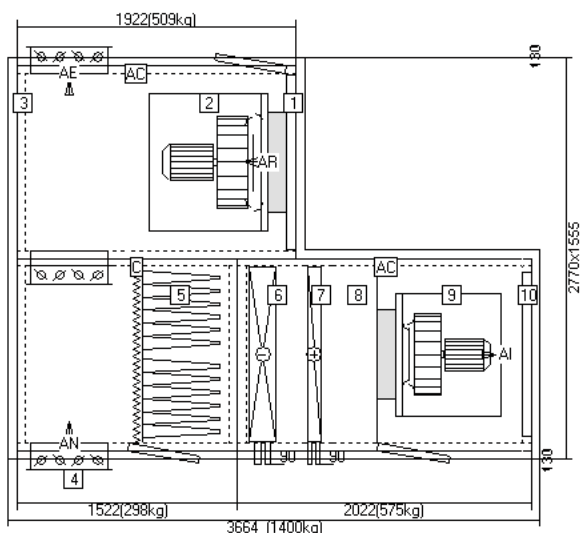
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Planta

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CANTINA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 2

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 1922 mm Peso: 509 kg

#### (1) Entrada de ar

Air repris Ouverture en ligne totale	
Caudal max. de ar	7600 m <sup>3</sup> /h
	2.11 m <sup>3</sup> /s

#### (2) Ventilador de retorno

		com		Porta						
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>						
Tamanho	RLM 56-5663	Potência nominal	2.2 kW	Caudal de ar	7600	m <sup>3</sup> /h				
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		2.111	m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	23	Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2	Pressão disp.	120	Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	955 rpm	Pressão din.	20	Pa				
		Intensidade nominal	5.6 A	Pressão total	163	Pa				
Velocidade Rot.	752 rpm	Pot. absorv.	0.64 kW							
Eficiência	71 %	SFP1	303 W/(m <sup>3</sup> /s)							
Potência no veio	0.48 kW									
<b>Níveis Sonoros</b>										
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total	
Lw Aspiração	64 dB	70 dB	65 dB	62 dB	59 dB	57 dB	51 dB	49 dB	65 dB(A)	
Lw Descarga	67 dB	72 dB	66 dB	66 dB	65 dB	64 dB	56 dB	53 dB	70 dB(A)	
Lw radiado	48 dB	51 dB	40 dB	37 dB	30 dB	31 dB	19 dB	10 dB	40 dB(A)	
Lp*	31 dB	31 dB	34 dB	23 dB	20 dB	13 dB	14 dB	2 dB	23 dB(A)	
Lw Ar de retorno	64 dB	70 dB	65 dB	62 dB	59 dB	57 dB	51 dB	49 dB	65 dB(A)	
Lw Ar extraído	72.9 dB	76.9 dB	70.9 dB	67.9 dB	65.9 dB	63.9 dB	56.9 dB	53.9 dB	71 dB(A)	
*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre										

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

#### (3) Saída de ar

Air extrait Registre dosage droite standard Galva		standard Galva					
Caudal max. de ar	7600 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	20 Pa	Binário	10.1	Nm	
	2.11 m <sup>3</sup> /s						

## Ar insuflado

### Módulo 2

Comprimento: 1522 mm Peso: 298 kg

#### (4) Secção de mistura

Air neuf Registre dosage droite standard Galva		standard Galva					
Caudal max. de ar	8700 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	26 Pa	Binário	10.1	Nm	
	2.42 m <sup>3</sup> /s						
<b>Air recyclé Registre dosage gauche standard Galva</b>							
Caudal max. de ar	8700 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	26 Pa	Binário	10.1	Nm	
	2.42 m <sup>3</sup> /s						

#### (5) Filtro

		com		Porta			
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>			
Tipo	Pré-filtro sintético & sacco	Caudal de ar	8700 m <sup>3</sup> /h	592 x 592		4/4	
			2.417 m <sup>3</sup> /s				
Classe do Filtro	G4/F7	PDC final	350 Pa				
Superfície frontal	1.486 m <sup>2</sup>	PDC cálc.	350 Pa				

Acessórios - 2x Tomadas de pressão



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CANTINA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 3

**Módulo 3**

Comprimento: 2022 mm Peso: 575 kg

**(6) Arrefecimento**

Dados bateria			Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria		Caudal de ar	8700	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al			2.417	m³/s	Glicol	0 %	
Velocidade frontal	1.9	m/s	Entrada de ar	26.1/48	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C
Superfície frontal	1.28	m²	Saída de ar	13/91	°C/%HR	Caudal	8235	l/h
Fiadas/Circuitos	6/58		Factor de segurança	9	%	Velocidade	0.6	m/s
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	48	kW	PDC	6.4	kPa
Ligações	DN65		Pot.Sensível	38.5	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
			Condensação	19.8	l/h			
			PDC	90	Pa			

Acessórios - 1x Tabuleiro inox 304L

**(7) Aquecimento**

Dados bateria			Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria		Caudal de ar	8700	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al			2.417	m³/s	Glicol	0 %	
Velocidade frontal	1.9	m/s	Entrada de ar	17.2/55	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	1.28	m²	Saída de ar	36/17	°C/%HR	Caudal	2417	l/h
Fiadas/Circuitos	2/30		Factor de segurança	36	%	Velocidade	0.4	m/s
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	55	kW	PDC	1.5	kPa
Ligações	DN32		Pot.Sensível	55	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
			PDC	19	Pa			

**(8) Secção vazia****(9) Ventilador de insuflação**

Dados do ventilador			Dados motor			Rendimentos			
Tamanho	RLM 56-5056		Potência nominal	3	kW	Caudal de ar	8700	m³/h	
	Standard		Tensão	230/400V-3ph-50Hz			2.417	m³/s	
Pás	Ventilador		Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	485	Pa	
	Plug Fan		Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	130	Pa	
Amortecedores	Amortecedores de borracha		Velocidade nominal	1435	rpm	Pressão din.	42	Pa	
			Intensidade nominal	6.3	A	Pressão total	657	Pa	
Velocidade Rot.	1466	rpm	Pot. absorv.	2.61	kW				
Eficiência	75	%	SFP3	1080	W/(m³/s)				
Potência no veio	2.12	kW							
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	77 dB	83 dB	78 dB	75 dB	72 dB	70 dB	64 dB	62 dB	78 dB(A)
Lw Descarga	80 dB	85 dB	79 dB	79 dB	78 dB	77 dB	69 dB	66 dB	83 dB(A)
Lw radiado	61 dB	64 dB	53 dB	50 dB	43 dB	44 dB	32 dB	23 dB	53 dB(A)
Lp*	44 dB	44 dB	47 dB	36 dB	33 dB	26 dB	27 dB	15 dB	36 dB(A)
Lw Ar novo	74.9 dB	79.9 dB	73.9 dB	70.9 dB	67.9 dB	65.9 dB	58.9 dB	55.9 dB	74 dB(A)
Lw Ar insuflado	80 dB	85 dB	79 dB	79 dB	78 dB	77 dB	69 dB	66 dB	83 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**(10) Saída de ar**

Air soufflé		
Caudal max. de ar	8700	m³/h
	2.42	m³/s



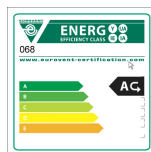
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CENTRAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 27

### Características

Modelo da unidade: PR 160  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 6000 / 10000 m³/h  
1.67 / 2.78 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.05 / 1.75 m/s

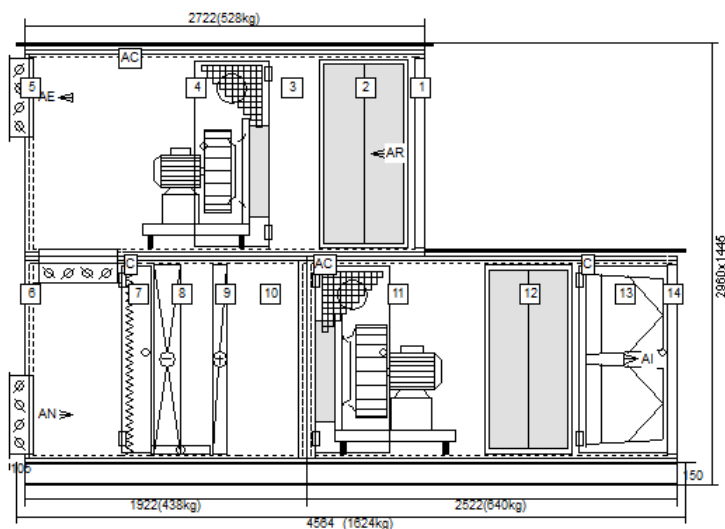
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CENTRAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 28

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 2722 mm Peso: 528 kg

#### (1) Entrada de ar

<i>Air repris Ouverture en ligne totale</i>	
Caudal max. de ar	6000 m <sup>3</sup> /h
	1.67 m <sup>3</sup> /s

#### (2) Atenuador

Largura septos	200 mm	Nº septos	4	Velocidade ar	3.1 m/s			
Compr. Septos	600 mm			PDC	9 Pa			
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

#### (3) Secção vazia

#### (4) Ventilador de retorno

com Porta

<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>		<i>Rendimentos</i>					
Tamanho	RLM 56-5056 Standard	Potência nominal	1.5 kW	Caudal de ar	6000 m <sup>3</sup> /h				
		Tensão	230/400V-3ph-50Hz		1.667 m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador Plug Fan	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	22 Pa				
		Protecção térm./Efi.	PTO / IE2	Pressão disp.	200 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	935 rpm	Pressão din.	20 Pa				
		Intensidade nominal	3.7 A	Pressão total	242 Pa				
Velocidade Rot.	937 rpm	Pot. absorv.	0.73 kW						
Eficiência	75 %	SFP1	438 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	0.54 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	66 dB	72 dB	67 dB	64 dB	61 dB	59 dB	53 dB	51 dB	67 dB(A)
Lw Descarga	69 dB	74 dB	68 dB	68 dB	67 dB	66 dB	58 dB	55 dB	72 dB(A)
Lw radiado	50 dB	53 dB	42 dB	39 dB	32 dB	33 dB	21 dB	12 dB	42 dB(A)
Lp*	33 dB	33 dB	36 dB	25 dB	22 dB	15 dB	16 dB	4 dB	25 dB(A)
Lw Ar de retorno	61 dB	65 dB	56 dB	47 dB	39 dB	40 dB	36 dB	40 dB	53 dB(A)
Lw Ar extraído	71.9 dB	76.9 dB	70.9 dB	68.9 dB	65.9 dB	64.9 dB	57.9 dB	54.9 dB	72 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

#### (5) Saída de ar

<i>Air extrait Registre dosage en ligne standard Galva</i>	
Caudal max. de ar	6000 m <sup>3</sup> /h
	1.67 m <sup>3</sup> /s
Perda de carga	11 Pa
Binário	10.8 Nm

## Ar insuflado

### Módulo 2

Comprimento: 1922 mm Peso: 438 kg

#### (6) Secção de mistura

<i>Air neuf Registre dosage en ligne standard Galva</i>	
Caudal max. de ar	10000 m <sup>3</sup> /h
	2.78 m <sup>3</sup> /s
Perda de carga	32 Pa
Binário	10.8 Nm
<i>Air recyclé Registre dosage dessus standard Galva</i>	
Caudal max. de ar	10000 m <sup>3</sup> /h
	2.78 m <sup>3</sup> /s
Perda de carga	32 Pa
Binário	10.8 Nm



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CENTRAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 29

**(7) Filtro**

		com	Porta		
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	10000	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	G4		2.778	m³/s	4
Superfície frontal	1.486 m²	PDC final	150	Pa	
		PDC calc.	90	Pa	

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

<b>Dados bateria</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Dados fluido</b>	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	10000	m³/h	Tipo Água
Material	Cu/Al		2.778	m³/s	Glicol 0 %
Velocidade frontal	2.2 m/s	Entrada de ar	27.6/42	°C/%HR	Entrada/Saída 7/12 °C
Superfície frontal	1.28 m²	Saída de ar	17/81	°C/%HR	Caudal 6562 l/h
Fiadas/Circuitos	4/48	Factor de segurança	20	%	Velocidade 0.6 m/s
Passo das alhetas	2.1 mm	Pot. Total	38.2	kW	PDC 5.2 kPa
Ligações	DN50	Pot.Sensível	35.8	kW	Temp.min.(anti-gelo) 0 °C
		Condensação	4.8	l/h	
		PDC	62	Pa	

**(9) Aquecimento**

<b>Dados bateria</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Dados fluido</b>	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	10000	m³/h	Tipo Água
Material	Cu/Al		2.778	m³/s	Glicol 0 %
Velocidade frontal	2.2 m/s	Entrada de ar	16.4/58	°C/%HR	Entrada/Saída 80/60 °C
Superfície frontal	1.28 m²	Saída de ar	35/18	°C/%HR	Caudal 2826 l/h
Fiadas/Circuitos	2/30	Factor de segurança	30	%	Velocidade 0.4 m/s
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	64.3	kW	PDC 2.1 kPa
Ligações	DN32	Pot.Sensível	64.3	kW	Temp.min.(anti-gelo) 0 °C
		PDC	24	Pa	

**(10) Secção vazia****Módulo 3**

Comprimento: 2522 mm Peso: 640 kg

**(11) Ventilador de insuflação**

		com	Porta						
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-5663	Potência nominal	3	kW	Caudal de ar 10000 m³/h				
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		2.778 m³/s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA 357 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp. 200 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	970	rpm	Pressão din. 35 Pa				
		Intensidade nominal	7	A	Pressão total 592 Pa				
Velocidade Rot.	1212 rpm	Pot. absorv.	2.84	kW					
Eficiência	74 %	SFP3	1022	W/(m³/s)					
Potência no veio	2.22 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	75 dB	81 dB	76 dB	73 dB	70 dB	68 dB	62 dB	60 dB	76 dB(A)
Lw Descarga	78 dB	83 dB	77 dB	77 dB	76 dB	75 dB	67 dB	64 dB	81 dB(A)
Lw radiado	59 dB	62 dB	51 dB	48 dB	41 dB	42 dB	30 dB	21 dB	51 dB(A)
Lp*	42 dB	42 dB	45 dB	34 dB	31 dB	24 dB	25 dB	13 dB	34 dB(A)
Lw Ar novo	73.9 dB	78.9 dB	72.9 dB	70.9 dB	67.9 dB	65.9 dB	59.9 dB	56.9 dB	74 dB(A)
Lw Ar insuflado	72.7 dB	74.7 dB	64.2 dB	58.7 dB	53.2 dB	54.9 dB	48.2 dB	50.7 dB	64 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Greiha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA CENTRAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 30

**(12) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	4	Velocidade ar	5.1	m/s	
Compr. Septos	600	mm			PDC	19	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

**(13) Filtro D**

Dados filtro		com Porta			Rendimentos		Qt. Filtros	
Tipo	saco longo				Caudal de ar	10000	m³/h	592 x 592
Classe do Filtro	F7					2.778	m³/s	4
Superfície frontal	1.486	m²			PDC final	200	Pa	
					PDC cálc.	130	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(14) Saída de ar**

Air soufflé Ouverture en ligne totale		
Caudal max. de ar	10000	m³/h
	2.78	m³/s

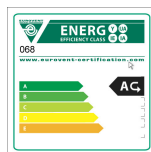


WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA COLAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 31

**Características**

<i>Modelo da unidade:</i>	PR 120	<i>Caixa</i>	
<i>Caudal de ar Retorno/Insuflação</i>	6800 / 8000 m³/h	<i>Espessura da chapa</i>	1.0 mm ext. / 0.8 mm int.
	1.89 / 2.22 m³/s	<i>Acabamento interior</i>	Galvanizado
<i>Tipo de unidade</i>	Unidade Exterior	<i>Acabamento exterior</i>	Pré-pintado
<i>Altitude</i>	0 m	<i>Fixações interiores</i>	Galvanizado
<i>Velocidade do ar no túnel</i>	1.6 / 1.88 m/s	<i>Isolamento</i>	Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886

Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)

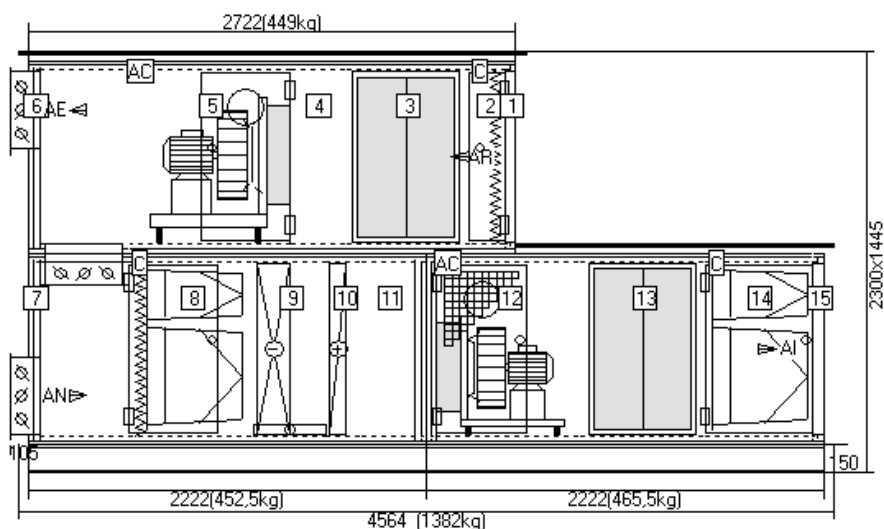
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)

Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)

Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)

Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA COLAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 32

**Ar de retorno**

**Módulo 1**

Comprimento: 2722 mm Peso: 449 kg

**(1) Entrada de ar**

<i>Air repris Ouverture en ligne totale</i>	
Caudal max. de ar	6800 m³/h
	1.89 m³/s

**(2) Filtro A**

		com	Porta			
<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>			<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	6800	m³/h	287x 592	2
Classe do Filtro	G4		1.889	m³/s	592 x 592	2
Superfície frontal	1.115 m²	PDC final	150	Pa		
		PDC cálc.	150	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(3) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	4	Velocidade ar	4.6	m/s
Compr. Septos	600	mm			PDC	18	Pa
<i>Níveis Sonoros</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz 8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17 11

**(4) Secção vazia**

**(5) Ventilador de retorno**

		com	Porta				
<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>			<i>Rendimentos</i>		
Tamanho	RLM 56-4550	Potência nominal	1.5	kW	Caudal de ar	6800 m³/h	
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			1.889 m³/s	
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	194 Pa	
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	250 Pa	
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1440	rpm	Pressão din.	41 Pa	
		Intensidade nominal	3.4	A	Pressão total	485 Pa	
Velocidade Rot.	1493 rpm	Pot. absorv.	1.57	kW			
Eficiência	74 %	SFP3	831	W/(m³/s)			
Potência no veio	1.23 kW						
<i>Níveis Sonoros</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz 8 kHz Total
Lw Aspiração	73 dB	82 dB	77 dB	73 dB	68 dB	66 dB	59 dB 51 dB 75 dB(A)
Lw Descarga	73 dB	82 dB	77 dB	74 dB	76 dB	74 dB	68 dB 60 dB 80 dB(A)
Lw radiado	57 dB	63 dB	52 dB	48 dB	39 dB	40 dB	27 dB 12 dB 51 dB(A)
Lp*	40 dB	40 dB	46 dB	35 dB	31 dB	22 dB	23 dB 10 dB 34 dB(A)
Lw Ar de retorno	67.8 dB	74.5 dB	65.5 dB	55.5 dB	45 dB	46.1 dB	41 dB 39 dB 62 dB(A)
Lw Ar extraído	73.9 dB	78.9 dB	79.9 dB	74.9 dB	73.9 dB	71.9 dB	66.9 dB 58.9 dB 79 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo

- 1x Tomadas de pressão

**(6) Saída de ar**

<i>Air extrait Registre dosage en ligne standard Galva</i>							
Caudal max. de ar	6800 m³/h	Perda de carga	22	Pa	Binário	9	Nm
	1.89 m³/s						



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA COLAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 33

## Ar insuflado

### Módulo 2

Comprimento: 2222 mm Peso: 452.5 kg

#### (7) Secção de mistura

Air neuf		Registre dosage en ligne		standard Galva				
Caudal max. de ar	8000	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	31	Pa	Binário	9	Nm
	2.22	m <sup>3</sup> /s						
Air recyclé		Registre dosage dessus		standard Galva				
Caudal max. de ar	8000	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	31	Pa	Binário	9	Nm
	2.22	m <sup>3</sup> /s						

#### (8) Filtro

Dados filtro		com		Porta			
Tipo		Pré-filtro	Rendimentos		Qt. Filtros		
		sintético & saco	Caudal de ar	8000	m <sup>3</sup> /h	287x 592	2/2
				2.222	m <sup>3</sup> /s	592 x 592	2/2
Classe do Filtro	G4/F5		PDC final	350	Pa		
Superfície frontal	1.115	m <sup>2</sup>	PDC calc.	350	Pa		

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

#### (9) Arrefecimento

Dados bateria		Rendimentos		Dados fluido				
Tipo	Bateria	Caudal de ar	8000	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água		
Material	Cu/Al		2.222	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%	
Velocidade frontal	2.5	m/s	Entrada de ar	24.7/47	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C
Superfície frontal	0.9	m <sup>2</sup>	Saída de ar	15/79	°C/%HR	Caudal	4874	l/h
Fiadas/Circuitos	6/42		Factor de segurança	38	%	Velocidade	0.5	m/s
Passo das alhetas	2.1	mm	Pot. Total	28.4	kW	PDC	4.4	kPa
Ligações	DN50		Pot.Sensível	26.2	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
			Condensação	9.6	l/h			
			PDC	131	Pa			

#### (10) Aquecimento

Dados bateria		Rendimentos		Dados fluido				
Tipo	Bateria	Caudal de ar	8000	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água		
Material	Cu/Al		2.222	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%	
Velocidade frontal	2.5	m/s	Entrada de ar	18.4/56	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	0.9	m <sup>2</sup>	Saída de ar	31/26	°C/%HR	Caudal	1489	l/h
Fiadas/Circuitos	2/20		Factor de segurança	81	%	Velocidade	0.3	m/s
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	33.9	kW	PDC	1.2	kPa
Ligações	DN32		Pot.Sensível	33.9	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
			PDC	29	Pa			

#### (11) Secção vazia



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA COLAGEM  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 34

**Módulo 3**

Comprimento: 2222 mm Peso: 465.5 kg

**(12) Ventilador de insuflação**

Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 56-4045	Potência nominal	5.5 kW	Caudal de ar	8000 m³/h				
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz		2.222 m³/s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	765 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2	Pressão disp.	250 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	2930 rpm	Pressão din.	88 Pa				
		Intensidade nominal	10.1 A	Pressão total	1103 Pa				
Velocidade Rot.	2497 rpm	Pot. absorv.	3.98 kW						
Eficiência	75 %	SFP4	1791 W/(m³/s)						
Potência no veio	3.27 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	77 dB	76 dB	87 dB	82 dB	76 dB	73 dB	71 dB	65 dB	84 dB(A)
Lw Descarga	84 dB	80 dB	89 dB	84 dB	85 dB	83 dB	81 dB	74 dB	90 dB(A)
Lw radiado	61 dB	57 dB	62 dB	57 dB	47 dB	47 dB	39 dB	26 dB	58 dB(A)
Lp*	44 dB	44 dB	44 dB	40 dB	45 dB	40 dB	30 dB	30 dB	41 dB(A)
Lw Ar novo	75.9 dB	78.9 dB	81.9 dB	76.9 dB	74.9 dB	72.9 dB	67.9 dB	59.9 dB	80 dB(A)
Lw Ar insuflado	78.7 dB	71.7 dB	76.2 dB	65.7 dB	62.2 dB	62.9 dB	62.2 dB	60.7 dB	72 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**(13) Atenuador**

Largura septos	200 mm	Nº septos	4	Velocidade ar	5.5 m/s			
Compr. Septos	600 mm			PDC	24 Pa			
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

**(14) Filtro D**

Dados filtro		Dados motor		Rendimentos	
Tipo	saco longo	Caudal de ar	8000 m³/h	Qt. Filtros	287x 592
Classe do Filtro	F7		2.222 m³/s		2
Superfície frontal	1.115 m²	PDC final	200 Pa		2
		PDC cálc.	200 Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(15) Saída de ar**

Air soufflé	Ouverture en ligne totale
Caudal max. de ar	8000 m³/h
	2.22 m³/s



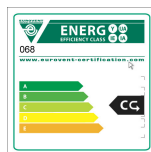
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA MECANICA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 41

**Características**

Modelo da unidade: TR 1000  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 69000 / 79000 m³/h  
19.17 / 21.94 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.93 / 2.21 m/s

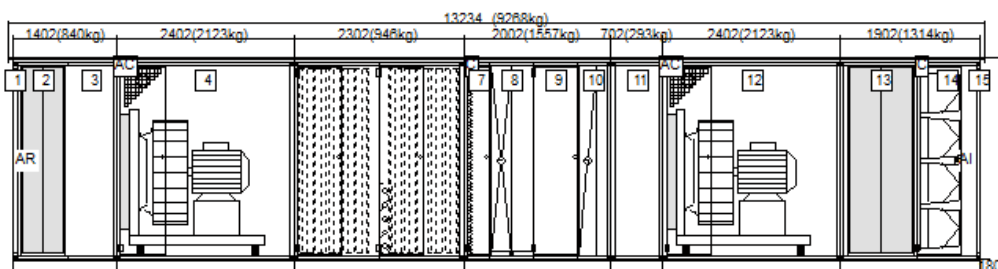
Tipo de estrutura Alumínio  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : C

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2  
Fuga Bypass filtro : classe F9

Transmissão térmica : classe T4  
Factor de pontes térmicas : classe TB3  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 180 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA MECANICA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 42

### Ar de retorno

#### Módulo 1

Comprimento: 1402 mm Peso: 840 kg

##### (1) Entrada de ar

Ar de retorno	Abertura frontal total
Caudal max. de ar	69000 m <sup>3</sup> /h
	19.17 m <sup>3</sup> /s

##### (2) Atenuador

Largura septos	200 mm	Nº septos	11	Velocidade ar	4.5 m/s			
Compr. Septos	600 mm			PDC	10 Pa			
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	4	6	9	14	17	14	12	8

##### (3) Secção vazia

#### Módulo 2

Comprimento: 2402 mm Peso: 2123 kg

##### (4) Ventilador de retorno

		com	Porta						
Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 55-1214	Potência nominal	30 kW	Caudal de ar	69000	m <sup>3</sup> /h			
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz		19.167	m <sup>3</sup> /s			
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	110	Pa			
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	270	Pa			
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	735 rpm	Pressão din.	73	Pa			
		Intensidade nominal	57 A	Pressão total	453	Pa			
Velocidade Rot.	613 rpm	Pot. absorv.	14.49 kW						
Eficiência	70 %	SFP3	756 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	12.44 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	99 dB	94 dB	88 dB	86 dB	84 dB	78 dB	73 dB	67 dB	89 dB(A)
Lw Descarga	99 dB	92 dB	89 dB	89 dB	88 dB	83 dB	76 dB	72 dB	92 dB(A)
Lw radiado	91 dB	84 dB	73 dB	57 dB	52 dB	47 dB	39 dB	32 dB	71 dB(A)
Lp*	74 dB	74 dB	67 dB	56 dB	40 dB	35 dB	30 dB	22 dB	54 dB(A)
Lw Ar de retorno	95 dB	88 dB	79 dB	72 dB	67 dB	64 dB	61 dB	59 dB	77 dB(A)
Lw Ar extraído	99.9 dB	93.9 dB	88.9 dB	87.9 dB	85.9 dB	80.9 dB	74.9 dB	69.9 dB	90 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

#### Módulo 3

Comprimento: 2302 mm Peso: 946 kg

##### (5) Saída de ar

		com	Porta					
Ar extraído		Registo de mistura esquerdo		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	69000 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	100 Pa	Binário	38.3	Nm		
	19.17 m <sup>3</sup> /s							

### Ar insuflado

##### (6) Entrada de ar

		com	Porta					
Ar novo		Registo de mistura esquerdo		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	79000 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	131 Pa	Binário	38.3	Nm		
	21.94 m <sup>3</sup> /s							
Ar recirculado		Registo de mistura frontal		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	79000 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	56 Pa	Binário	58.1	Nm		
	21.94 m <sup>3</sup> /s							



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA MECANICA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 43

**Módulo 4**

Comprimento: 2002 mm Peso: 1557 kg

(7) Filtro		com	Porta		
<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	79000	m³/h	610x610 24
Classe do Filtro	G4		21.944	m³/s	
Superfície frontal	8.919 m²	PDC final	150	Pa	
		PDC cálc.	102	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

<i>Dados bateria</i>		<i>Rendimentos</i>			<i>Dados fluido</i>		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	79000	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		21.944	m³/s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.5 m/s	Entrada de ar	26.2/48	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C
Superfície frontal	8.72 m²	Saída de ar	15/95	°C/%HR	Caudal	49824	l/h
Fiadas/Circuitos	4/80	Factor de segurança	2	%	Velocidade	1	m/s
Passo das alhetas	2 mm	Pot. Total	290	kW	PDC	14.8	kPa
Ligações	DN80	Pot.Sensível	290	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		PDC	57	Pa			

**(9) Secção vazia 600mm**

com Porta

**(10) Aquecimento**

<i>Dados bateria</i>		<i>Rendimentos</i>			<i>Dados fluido</i>		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	79000	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		21.944	m³/s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.5 m/s	Entrada de ar	17.1/55	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	8.72 m²	Saída de ar	31/23	°C/%HR	Caudal	16708	l/h
Fiadas/Circuitos	2/40	Factor de segurança	78	%	Velocidade	0.7	m/s
Passo das alhetas	2 mm	Pot. Total	380	kW	PDC	5	kPa
Ligações	DN80	Pot.Sensível	380	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		PDC	24	Pa			

**Módulo 5**

Comprimento: 702 mm Peso: 293 kg

**(11) Secção vazia****Módulo 6**

Comprimento: 2402 mm Peso: 2123 kg

(12) Ventilador de insuflação		com	Porta							
<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>			<i>Rendimentos</i>					
Tamanho	RLM 55-1214	Potência nominal	30	kW	Caudal de ar	79000	m³/h			
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz			21.944	m³/s			
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	468	Pa			
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE		Pressão disp.	350	Pa			
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	735	rpm	Pressão din.	96	Pa			
		Intensidade nominal	57	A	Pressão total	914	Pa			
Velocidade Rot.	772 rpm	Pot. absorv.	30.85	kW						
Eficiência	74 %	SFP4	1406	W/(m³/s)						
Potência no veio	27.07 kW									
<i>Níveis Sonoros</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total	
Lw Aspiração	103 dB	98 dB	92 dB	90 dB	88 dB	82 dB	77 dB	71 dB	93 dB(A)	
Lw Descarga	103 dB	96 dB	93 dB	93 dB	92 dB	87 dB	80 dB	76 dB	96 dB(A)	
Lw radiado	95 dB	88 dB	77 dB	61 dB	56 dB	51 dB	43 dB	36 dB	75 dB(A)	
Lp*	78 dB	78 dB	71 dB	60 dB	44 dB	39 dB	34 dB	26 dB	58 dB(A)	
Lw Ar novo	101.9 dB	95.9 dB	90.9 dB	88.9 dB	86.9 dB	81.9 dB	75.9 dB	70.9 dB	92 dB(A)	
Lw Ar insuflado	96.7 dB	86.7 dB	78.2 dB	71.7 dB	67.2 dB	64.9 dB	61.2 dB	62.7 dB	77 dB(A)	

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA MECANICA  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 44

**Módulo 7**

Comprimento: 1902 mm Peso: 1314 kg

**(13) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	11	Velocidade ar	5.2	m/s
Compr. Septos	900	mm			PDC	14	Pa
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz 8 kHz
Atenuação	6	8	13	20	24	21	17 11

**(14) Filtro D**

<i>Dados filtro</i>		<i>com</i>		<i>Porta</i>		<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	saco longo	Caudal de ar	79000	m³/h	610x610	24	
Classe do Filtro	F7		21.944	m³/s			
Superfície frontal	8.919	m²	PDC final	200	Pa		
			PDC cálc.	140	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(15) Saída de ar**

Ar insuflado	Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	79000	m³/h
	21.94	m³/s



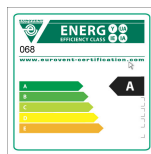
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Norte ch14  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 53

**Características**

Modelo da unidade: TR 700  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 41400 / 46200 m³/h  
11.5 / 12.83 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.87 / 2.09 m/s

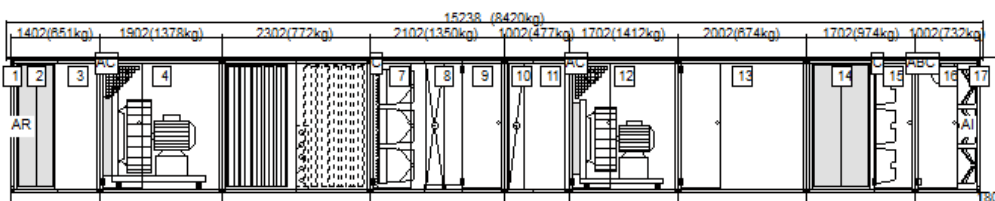
Tipo de estrutura Alumínio  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2  
Fuga Bypass filtro : classe F9

Transmissão térmica : classe T4  
Factor de pontes térmicas : classe TB3  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo  
B = Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 180 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Norte ch14  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 54

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 1402 mm Peso: 651 kg

#### (1) Entrada de ar

Ar de retorno		Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	41400	m³/h	
	11.5	m³/s	

#### (2) Atenuador

Largura septos	200	mm	Nº septos	9	Velocidade ar	4.4	m/s	
Compr. Septos	600	mm			PDC	9	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	4	6	9	14	17	14	12	8

#### (3) Secção vazia

### Módulo 2

Comprimento: 1902 mm Peso: 1378 kg

#### (4) Ventilador de retorno

Dados do ventilador		com		Porta		Rendimentos			
Tamanho	RLM 56-1011	Potência nominal	11	kW	Caudal de ar	41400	m³/h		
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz			11.5	m³/s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	79	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE		Pressão disp.	200	Pa		
Amortecedores	Amortecedores	Velocidade nominal	725	rpm	Pressão din.	64	Pa		
	de borracha	Intensidade nominal	23.5	A	Pressão total	343	Pa		
Velocidade Rot.	699 rpm	Pot. absorv.	7.03	kW					
Eficiência	68 %	SFP2	611	W/(m³/s)					
Potência no veio	5.84 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	95 dB	90 dB	84 dB	82 dB	80 dB	74 dB	69 dB	63 dB	85 dB(A)
Lw Descarga	95 dB	88 dB	85 dB	85 dB	84 dB	79 dB	72 dB	68 dB	88 dB(A)
Lw radiado	87 dB	80 dB	69 dB	53 dB	48 dB	43 dB	35 dB	28 dB	67 dB(A)
Lp*	70 dB	70 dB	63 dB	52 dB	36 dB	31 dB	26 dB	18 dB	50 dB(A)
Lw Ar de retorno	91 dB	84 dB	75 dB	68 dB	63 dB	60 dB	57 dB	55 dB	73 dB(A)
Lw Ar extraído	95.9 dB	94.9 dB	86.9 dB	84.9 dB	83.9 dB	78.9 dB	71.9 dB	66.9 dB	88 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

### Módulo 3

Comprimento: 2302 mm Peso: 772 kg

#### (5) Saída de ar

Ar extraído		Registo de mistura direito		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	41400	m³/h	Perda de carga	64	Pa	Binário	29	Nm
	11.5	m³/s						

## Ar insuflado

#### (6) Entrada de ar

Ar novo		Registo de mistura esquerdo		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	46200	m³/h	Perda de carga	79	Pa	Binário	29	Nm
	12.83	m³/s						
Ar recirculado		Registo de mistura frontal		Std galvanizado				
Caudal max. de ar	46200	m³/h	Perda de carga	29	Pa	Binário	47.6	Nm
	12.83	m³/s						



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Norte ch14  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 55

**Módulo 4**

Comprimento: 2102 mm Peso: 1350 kg

(7) Filtro		com	Porta			
Dados filtro		Rendimentos			Qt. Filtros	
Tipo	Pré-filtro sintético & saco	Caudal de ar	46200	m <sup>3</sup> /h	610x610	15/15
Classe do Filtro	G4/F7	PDC final	12.833	m <sup>3</sup> /s		
Superfície frontal	5.574 m <sup>2</sup>	PDC cálc.	350	Pa		
			235	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	46200	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		12.833	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.4 m/s	Entrada de ar	24.2/46	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C
Superfície frontal	5.28 m <sup>2</sup>	Saída de ar	12/100	°C/%HR	Caudal	34254	l/h
Fiadas/Circuitos	8/80	Factor de segurança	15	%	Velocidade	0.7	m/s
Passo das alhetas	2 mm	Pot. Total	199.5	kW	PDC	6.6	kPa
Ligações	DN100	Pot.Sensível	190.4	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		Condensação	44.4	l/h			
		PDC	125	Pa			

**(9) Secção vazia 600mm**

com Porta

**Módulo 5**

Comprimento: 1002 mm Peso: 477 kg

**(10) Aquecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	46200	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		12.833	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.4 m/s	Entrada de ar	19.6/54	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	5.28 m <sup>2</sup>	Saída de ar	29/30	°C/%HR	Caudal	6379	l/h
Fiadas/Circuitos	2/30	Factor de segurança	79	%	Velocidade	0.3	m/s
Passo das alhetas	3 mm	Pot. Total	145.1	kW	PDC	1.2	kPa
Ligações	DN65	Pot.Sensível	145.1	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		PDC	22	Pa			

**(11) Secção vazia**



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Norte ch14  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 56

**Módulo 6**

Comprimento: 1702 mm Peso: 1412 kg

**(12) Ventilador de insuflação**

		com	Porta						
Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 56-9010	Potência nominal	30 kW	Caudal de ar	46200	m³/h			
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz		12.833	m³/s			
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	1040	Pa			
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2	Pressão disp.	300	Pa			
Amortecedores de borracha	Amortecedores	Velocidade nominal	980 rpm	Pressão din.	127	Pa			
		Intensidade nominal	57 A	Pressão total	1467	Pa			
Velocidade Rot.	1322 rpm	Pot. absorv.	29.02 kW						
Eficiência	75 %	SFP5	2261 W/(m³/s)						
Potência no veio	25.19 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	99 dB	101 dB	94 dB	90 dB	88 dB	85 dB	80 dB	74 dB	94 dB(A)
Lw Descarga	99 dB	101 dB	95 dB	94 dB	94 dB	91 dB	83 dB	79 dB	98 dB(A)
Lw radiado	91 dB	91 dB	79 dB	61 dB	56 dB	54 dB	46 dB	39 dB	77 dB(A)
Lp*	74 dB	74 dB	74 dB	62 dB	44 dB	39 dB	37 dB	29 dB	60 dB(A)
Lw Ar novo	97.9 dB	97.9 dB	89.9 dB	85.9 dB	84.9 dB	80.9 dB	73.9 dB	67.9 dB	90 dB(A)
Lw Ar insuflado	92 dB	90 dB	78 dB	71 dB	68 dB	67.4 dB	62 dB	63 dB	78 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Greiha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**Módulo 7**

Comprimento: 2002 mm Peso: 674 kg

**(13) Secção vazia 1900mm**

com Porta

**Módulo 8**

Comprimento: 1702 mm Peso: 974 kg

**(14) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	9	Velocidade ar	4.9	m/s	
Compr. Septos	900	mm			PDC	13	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	6	8	13	20	24	21	17	11

**(15) Filtro**

		com	Porta			
Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros		
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	46200	m³/h	610x610	15
Classe do Filtro	F9		12.833	m³/s		
Superfície frontal	5.574 m²	PDC final	300	Pa		
		PDC cálc.	209	Pa		

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**Módulo 9**

Comprimento: 1002 mm Peso: 732 kg

**(16) Filtro D**

		com	Porta			
Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros		
Tipo	HEPA	Caudal de ar	46200	m³/h	610x610	15
Classe do Filtro	H13		12.833	m³/s		
Superfície frontal	5.574 m²	PDC final	500	Pa		
		PDC cálc.	357	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Óculo  
- 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)

**(17) Saída de ar**

Ar insuflado	Abertura frontal total		
Caudal max. de ar	46200	m³/h	
	12.83	m³/s	

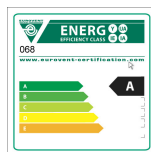


WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Sul  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 81

**Características**

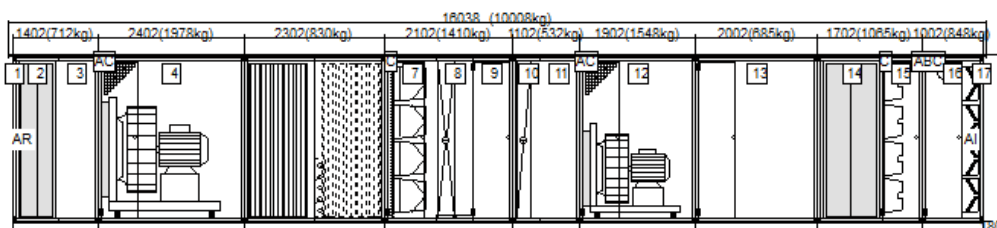
<b>Modelo da unidade:</b>	TR 900	<b>Tipo de estrutura</b>	Alumínio
<b>Caudal de ar Retorno/Insuflação</b>	48550 / 54300 m³/h	<b>Espessura da chapa</b>	1.0 mm ext. / 0.8 mm int.
	13.49 / 15.08 m³/s	<b>Acabamento interior</b>	Galvanizado
<b>Tipo de unidade</b>	Unidade Exterior	<b>Acabamento exterior</b>	Pré-pintado
<b>Altitude</b>	0 m	<b>Fixações interiores</b>	Galvanizado
<b>Velocidade do ar no túnel</b>	1.66 / 1.85 m/s	<b>Isolamento</b>	Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2  
Fuga Bypass filtro : classe F9

Transmissão térmica : classe T4  
Factor de pontes térmicas : classe TB3  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo  
B = Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 180 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Sul  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 82

### Ar de retorno

#### Módulo 1

Comprimento: 1402 mm Peso: 712 kg

##### (1) Entrada de ar

Ar de retorno	Abertura frontal total
Caudal max. de ar	48550 m <sup>3</sup> /h
	13.49 m <sup>3</sup> /s

##### (2) Atenuador

Largura septos	200 mm	Nº septos	9	Velocidade ar	3.9 m/s				
Compr. Septos	600 mm			PDC	8 Pa				
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Atenuação	4	6	9	14	17	14	12	8	

##### (3) Secção vazia

#### Módulo 2

Comprimento: 2402 mm Peso: 1978 kg

##### (4) Ventilador de retorno

Dados do ventilador		com		Porta		Rendimentos			
Tamanho	RLM 55-1214	Potência nominal	30 kW	Caudal de ar	48550 m <sup>3</sup> /h				
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz		13.486 m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	62 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	200 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	735 rpm	Pressão din.	36 Pa				
		Intensidade nominal	57 A	Pressão total	298 Pa				
Velocidade Rot.	458 rpm	Pot. absorv.	6.71 kW						
Eficiência	73 %	SFP1	498 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	5.51 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	90 dB	85 dB	79 dB	77 dB	75 dB	69 dB	64 dB	58 dB	80 dB(A)
Lw Descarga	90 dB	83 dB	80 dB	80 dB	79 dB	74 dB	67 dB	63 dB	83 dB(A)
Lw radiado	82 dB	75 dB	64 dB	48 dB	43 dB	38 dB	30 dB	23 dB	62 dB(A)
Lp*	65 dB	65 dB	58 dB	47 dB	31 dB	26 dB	21 dB	13 dB	45 dB(A)
Lw Ar de retorno	86 dB	79 dB	70 dB	63 dB	58 dB	55 dB	52 dB	50 dB	68 dB(A)
Lw Ar extraído	92.9 dB	92.9 dB	84.9 dB	81.9 dB	79.9 dB	76.9 dB	69.9 dB	63.9 dB	85 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

#### Módulo 3

Comprimento: 2302 mm Peso: 830 kg

##### (5) Saída de ar

Ar extraído	Registo de mistura direito	Std galvanizado
Caudal max. de ar	48550 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga 50 Pa
	13.49 m <sup>3</sup> /s	Binário 38.3 Nm

### Ar insuflado

##### (6) Entrada de ar

Ar novo	Registo de mistura esquerdo	Std galvanizado
Caudal max. de ar	54300 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga 62 Pa
	15.08 m <sup>3</sup> /s	Binário 38.3 Nm
Ar recirculado	Registo de mistura frontal	Std galvanizado
Caudal max. de ar	54300 m <sup>3</sup> /h	Perda de carga 40 Pa
	15.08 m <sup>3</sup> /s	Binário 47.6 Nm



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Sul  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 83

**Módulo 4**

Comprimento: 2102 mm Peso: 1410 kg

(7) Filtro		com	Porta			
Dados filtro		Rendimentos			Qt. Filtros	
Tipo	Pré-filtro sintético & saco	Caudal de ar	54300	m <sup>3</sup> /h	610x610	20/20
			15.083	m <sup>3</sup> /s		
Classe do Filtro	G4/F7	PDC final	350	Pa		
Superfície frontal	7.432 m <sup>2</sup>	PDC cálc.	225	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	54300	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		15.083	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.1 m/s	Entrada de ar	24.2/48	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C
Superfície frontal	7.04 m <sup>2</sup>	Saída de ar	13/91	°C/%HR	Caudal	39319	l/h
Fiadas/Circuitos	6/60	Factor de segurança	14	%	Velocidade	1.1	m/s
Passo das alhetas	2 mm	Pot. Total	229.1	kW	PDC	19.3	kPa
Ligações	DN100	Pot.Sensível	205.5	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		Condensação	58.6	l/h			
		PDC	75	Pa			

**(9) Secção vazia 600mm**

com Porta

**Módulo 5**

Comprimento: 1102 mm Peso: 532 kg

**(10) Aquecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	54300	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al		15.083	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.1 m/s	Entrada de ar	19.5/54	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	7.04 m <sup>2</sup>	Saída de ar	29/30	°C/%HR	Caudal	7660	l/h
Fiadas/Circuitos	2/40	Factor de segurança	86	%	Velocidade	0.3	m/s
Passo das alhetas	3 mm	Pot. Total	174.3	kW	PDC	1.1	kPa
Ligações	DN65	Pot.Sensível	174.3	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
		PDC	17	Pa			

**(11) Secção vazia**



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA montagem Sul  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 84

**Módulo 6**

Comprimento: 1902 mm Peso: 1548 kg

**(12) Ventilador de insuflação**

		com	Porta						
Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 56-1011	Potência nominal	30 kW	Caudal de ar	54300 m³/h				
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz		15.083 m³/s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	927 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2	Pressão disp.	300 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	980 rpm	Pressão din.	111 Pa				
		Intensidade nominal	57 A	Pressão total	1338 Pa				
Velocidade Rot.	1107 rpm	Pot. absorv.	31.03 kW						
Eficiência	75 %	SFP5	2057 W/(m³/s)						
Potência no veio	26.93 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	98 dB	100 dB	93 dB	89 dB	87 dB	84 dB	79 dB	73 dB	93 dB(A)
Lw Descarga	98 dB	100 dB	94 dB	93 dB	93 dB	90 dB	82 dB	78 dB	97 dB(A)
Lw radiado	90 dB	90 dB	78 dB	60 dB	55 dB	53 dB	45 dB	38 dB	76 dB(A)
Lp*	73 dB	73 dB	73 dB	61 dB	43 dB	38 dB	36 dB	28 dB	59 dB(A)
Lw Ar novo	95.9 dB	95.9 dB	87.9 dB	83.9 dB	81.9 dB	78.9 dB	72.9 dB	65.9 dB	88 dB(A)
Lw Ar insuflado	91 dB	89 dB	77 dB	70 dB	67 dB	66.4 dB	61 dB	62 dB	77 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Greiha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**Módulo 7**

Comprimento: 2002 mm Peso: 685 kg

**(13) Secção vazia 1900mm**

com Porta

**Módulo 8**

Comprimento: 1702 mm Peso: 1065 kg

**(14) Atenuador**

Largura septos	200 mm	Nº septos	9	Velocidade ar	4.3 m/s			
Compr. Septos	900 mm			PDC	10 Pa			
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	6	8	13	20	24	21	17	11

**(15) Filtro**

		com	Porta		
Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros	
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	54300 m³/h	610x610	20
Classe do Filtro	F9		15.083 m³/s		
Superfície frontal	7.432 m²	PDC final	300 Pa		
		PDC cálc.	200 Pa		

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**Módulo 9**

Comprimento: 1002 mm Peso: 848 kg

**(16) Filtro D**

		com	Porta		
Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros	
Tipo	HEPA	Caudal de ar	54300 m³/h	610x610	20
Classe do Filtro	H13		15.083 m³/s		
Superfície frontal	7.432 m²	PDC final	500 Pa		
		PDC cálc.	338 Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão - 1x Óculo  
- 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)

**(17) Saída de ar**

Ar insuflado	Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	54300 m³/h	
	15.08 m³/s	

# Wesper

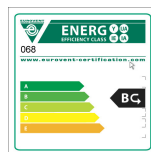
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA OPTICA 1 e 2 ddeck  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 41

## Características

Modelo da unidade: PR 360  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 19800 / 26000 m³/h  
5.5 / 7.22 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.59 / 2.09 m/s

Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : B

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068

Vista lateral

A = Óculo  
C = Tomadas de pressão

B = Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA OPTICA 1 e 2 ddeck  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 42

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 1322 mm Peso: 355 kg

#### (1) Entrada de ar

Air repris Ouverture en ligne totale	
Caudal max. de ar	19800 m <sup>3</sup> /h
	5.5 m <sup>3</sup> /s

#### (2) Atenuador

Largura septos	200 mm	Nº septos	6	Velocidade ar	4.6 m/s			
Compr. Septos	600 mm			PDC	15 Pa			
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

#### (3) Secção vazia

### Módulo 2

Comprimento: 2522 mm Peso: 1147 kg

#### (4) Ventilador de retorno

		com		Porta					
Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos					
Tamanho	RLM 56-9010	Potência nominal	5.5 kW	Caudal de ar	19800 m <sup>3</sup> /h				
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		5.5 m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard	PDC CTA	47 Pa				
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / HE	Pressão disp.	250 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	735 rpm	Pressão din.	23 Pa				
		Intensidade nominal	13.2 A	Pressão total	320 Pa				
Velocidade Rot.	597 rpm	Pot. absorv.	2.9 kW						
Eficiência	75 %	SFP2	527 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	2.35 kW								
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	84 dB	79 dB	73 dB	71 dB	69 dB	63 dB	58 dB	52 dB	74 dB(A)
Lw Descarga	84 dB	77 dB	74 dB	74 dB	73 dB	68 dB	61 dB	57 dB	77 dB(A)
Lw radiado	68 dB	60 dB	48 dB	46 dB	40 dB	37 dB	26 dB	13 dB	49 dB(A)
Lp*	51 dB	51 dB	43 dB	31 dB	29 dB	23 dB	20 dB	9 dB	32 dB(A)
Lw Ar de retorno	79 dB	72 dB	62 dB	54 dB	47 dB	44 dB	41 dB	41 dB	60 dB(A)
Lw Ar extraído	85.9 dB	84.9 dB	77.9 dB	74.9 dB	73.9 dB	69.9 dB	62.9 dB	57.9 dB	79 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

#### (5) Saída de ar

Air extrait Registre dosage en ligne standard Galva	
Caudal max. de ar	28 Pa Binário 20.7 Nm
	5.5 m <sup>3</sup> /s

## Ar insuflado

### Módulo 3

Comprimento: 2322 mm Peso: 903 kg

#### (6) Secção de mistura

Air neuf Registre dosage en ligne standard Galva	
Caudal max. de ar	48 Pa Binário 20.7 Nm
	7.22 m <sup>3</sup> /s
Air recyclé Registre dosage dessus standard Galva	
Caudal max. de ar	48 Pa Binário 20.7 Nm
	7.22 m <sup>3</sup> /s



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA OPTICA 1 e 2 ddeck  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 43

**(7) Filtro**

Dados filtro		Rendimentos			Qt. Filtros	
Tipo	Pré-filtro sintético & saco	Caudal de ar	26000	m³/h	592 x 592	9/9
Classe do Filtro	G4/F5	PDC final	350	Pa		
Superfície frontal	3.345 m²	PDC calc.	218	Pa		

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	26000	m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al		7.222	m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	2.5 m/s	Entrada de ar	28.9/49	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12 °C
Superfície frontal	2.92 m²	Saída de ar	20/74	°C/%HR	Caudal	18304 l/h
Fiadas/Circuitos	4/118	Factor de segurança	58	%	Velocidade	0.7 m/s
Passo das alhetas	2.1 mm	Pot. Total	106.8	kW	PDC	6.4 kPa
Ligações	DN65	Pot.Sensível	78.2	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C
		Condensação	78	l/h		
		PDC	107	Pa		

**(9) Aquecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	26000	m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al		7.222	m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	2.5 m/s	Entrada de ar	11.8/73	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60 °C
Superfície frontal	2.92 m²	Saída de ar	30/23	°C/%HR	Caudal	6973 l/h
Fiadas/Circuitos	2/70	Factor de segurança	44	%	Velocidade	0.4 m/s
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	158.7	kW	PDC	2.2 kPa
Ligações	DN50	Pot.Sensível	158.7	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C
		PDC	30	Pa		

**Módulo 4**

Comprimento: 2122 mm Peso: 1047 kg

**(10) Secção vazia****(11) Ventilador de insuflação**

Dados do ventilador		Dados motor			Rendimentos				
Tamanho	RLM 56-8090	Potência nominal	11	kW	Caudal de ar	26000	m³/h		
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz			7.222	m³/s		
Pás	Ventilador Plug Fan	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	562	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	300	Pa		
Velocidade Rot.	1097 rpm	Velocidade nominal	960	rpm	Pressão din.	60	Pa		
Eficiência	75 %	Intensidade nominal	23	A	Pressão total	922	Pa		
Potência no veio	8.88 kW	Pot. absorv.	10.58	kW					
		SFP4	1465	W/(m³/s)					
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	90 dB	92 dB	85 dB	81 dB	79 dB	76 dB	71 dB	65 dB	85 dB(A)
Lw Descarga	90 dB	92 dB	86 dB	85 dB	85 dB	82 dB	74 dB	70 dB	89 dB(A)
Lw radiado	74 dB	73 dB	60 dB	56 dB	50 dB	50 dB	39 dB	26 dB	61 dB(A)
Lp*	57 dB	56 dB	43 dB	39 dB	33 dB	33 dB	22 dB	9 dB	43 dB(A)
Lw Ar novo	87.9 dB	87.9 dB	80.9 dB	76.9 dB	75.9 dB	71.9 dB	65.9 dB	59.9 dB	81 dB(A)
Lw Ar insuflado	84.7 dB	83.7 dB	73.2 dB	66.7 dB	62.2 dB	61.9 dB	55.2 dB	56.7 dB	72 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Greiha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO  
- 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA OPTICA 1 e 2 ddeck  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 44

**Módulo 5**

Comprimento: 1422 mm Peso: 479 kg

**(12) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	6	Velocidade ar	6.1	m/s	
Compr. Septos	600	mm			PDC	24	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

**(13) Filtro D**

<i>Dados filtro</i>		<i>com Porta</i>			<i>Rendimentos</i>		<i>Qt. Filtros</i>	
Tipo	saco longo	Caudal de ar	26000	m <sup>3</sup> /h	592 x 592	9		
Classe do Filtro	F7	PDC final	200	Pa				
Superfície frontal	3.345 m <sup>2</sup>	PDC cálc.	135	Pa				

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(14) Saída de ar**

<i>Air soufflé Ouverture en ligne totale</i>	
Caudal max. de ar	26000 m <sup>3</sup> /h
	7.22 m <sup>3</sup> /s



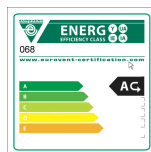
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA revestimento 1 e 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 97

**Características**

Modelo da unidade: PR 160  
Caudal de ar Retorno/Insuflação 7400 / 10000 m³/h  
2.06 / 2.78 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.3 / 1.75 m/s

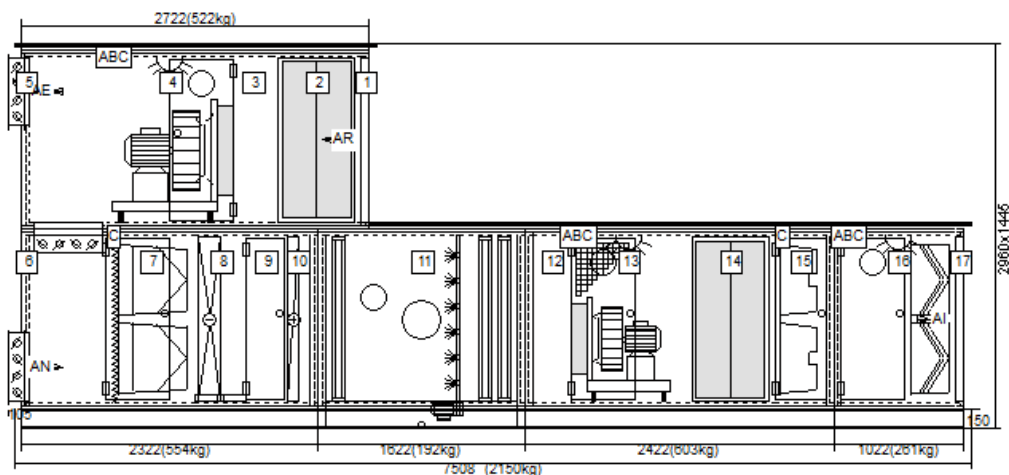
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo B = Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA revestimento 1 e 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 98

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 2722 mm Peso: 522 kg

#### (1) Entrada de ar

Ar de retorno	Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	7400	m³/h
	2.06	m³/s

#### (2) Atenuador

Largura septos	200	mm	Nº septos	4	Velocidade ar	3.8	m/s	
Compr. Septos	600	mm			PDC	12	Pa	
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11

#### (3) Secção vazia

#### (4) Ventilador de retorno

com Porta

Dados do ventilador		Dados motor			Rendimentos				
Tamanho	RLM 56-5663	Potência nominal	2.2	kW	Caudal de ar	7400	m³/h		
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			2.056	m³/s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	32	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	200	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	955	rpm	Pressão din.	19	Pa		
		Intensidade nominal	5.6	A	Pressão total	251	Pa		
Velocidade Rot.	828	rpm	Pot. absorv.	0.91	kW				
Eficiência	74	%	SFP1	443	W/(m³/s)				
Potência no veio	0.69	kW							
Níveis Sonoros	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	65 dB	71 dB	66 dB	63 dB	60 dB	58 dB	52 dB	50 dB	66 dB(A)
Lw Descarga	68 dB	73 dB	67 dB	67 dB	66 dB	65 dB	57 dB	54 dB	71 dB(A)
Lw radiado	49 dB	52 dB	41 dB	38 dB	31 dB	32 dB	20 dB	11 dB	41 dB(A)
Lp*	32 dB	35 dB	24 dB	21 dB	14 dB	15 dB	3 dB	0 dB	24 dB(A)
Lw Ar de retorno	60 dB	64 dB	55 dB	46 dB	38 dB	39 dB	35 dB	39 dB	52 dB(A)
Lw Ar extraído	76.9 dB	75.9 dB	81.9 dB	74.9 dB	69.9 dB	66.9 dB	60.9 dB	54.9 dB	77 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
- 1x Tomadas de pressão

#### (5) Saída de ar

Ar extraído	Registo de mistura frontal	Std galvanizado						
Caudal max. de ar	7400	m³/h	Perda de carga	17	Pa	Binário	10.8	Nm
	2.06	m³/s						

## Ar insuflado

### Módulo 2

Comprimento: 2322 mm Peso: 554 kg

#### (6) Secção de mistura

Ar novo	Registo de mistura frontal	Std galvanizado						
Caudal max. de ar	10000	m³/h	Perda de carga	32	Pa	Binário	10.8	Nm
	2.78	m³/s						
Ar recirculado	Registo de mistura superior	Std galvanizado						
Caudal max. de ar	10000	m³/h	Perda de carga	32	Pa	Binário	10.8	Nm
	2.78	m³/s						



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA revestimento 1 e 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 99

**(7) Filtro** com Porta

Dados filtro		Rendimentos			Qt. Filtros	
Tipo	Pré-filtro sintético & saco	Caudal de ar	10000	m³/h	592 x 592	4/4
Classe do Filtro	G4/F7	PDC final	2.778	m³/s		
Superfície frontal	1.486 m²	PDC calc.	350	Pa		
			220	Pa		

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**(8) Arrefecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	10000	m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al		2.778	m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	2.2 m/s	Entrada de ar	25.9/47	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12 °C
Superfície frontal	1.28 m²	Saída de ar	13/90	°C/%HR	Caudal	9718 l/h
Fiadas/Circuitos	8/68	Factor de segurança	15	%	Velocidade	0.6 m/s
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	56.7	kW	PDC	7.4 kPa
Ligações	DN65	Pot.Sensível	43.6	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C
		Condensação	24	l/h		
		PDC	160	Pa		

**(9) Secção vazia 300mm** com Porta

**(10) Aquecimento**

Dados bateria		Rendimentos			Dados fluido	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	10000	m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al		2.778	m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	2.2 m/s	Entrada de ar	15.8/56	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60 °C
Superfície frontal	1.28 m²	Saída de ar	32/21	°C/%HR	Caudal	2348 l/h
Fiadas/Circuitos	2/30	Factor de segurança	58	%	Velocidade	0.3 m/s
Passo das alhetas	2.5 mm	Pot. Total	53.4	kW	PDC	1.5 kPa
Ligações	DN32	Pot.Sensível	53.4	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0 °C
		PDC	24	Pa		

**Módulo 3**

Comprimento: 1622 mm Peso: 192 kg

**(11) Humidificador**

Dados do humidificador		Rendimentos			Dados fluido	
Tipo	Lavador Standard	Caudal de ar	10000	m³/h	Tipo	Água
	Eficiência		2.778	m³/s	Entrada/Saída	25 °C
Velocidade frontal	1.7 m/s	Entrada de ar	35/18	°C/%HR	Caudal	4324 l/h
Superfície frontal	1.59 m²	Saída de ar	25/52	°C/%HR	Pot.Bomba	0.55 kW
		Eficiência	57	%		
		PDC	40	Pa		

**Módulo 4**

Comprimento: 2422 mm Peso: 603 kg

**(12) Secção vazia**



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 13-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA revestimento 1 e 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 100

**(13) Ventilador de insuflação**

		com		Porta					
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-4550	Potência nominal	7.5	kW	Caudal de ar	10000	m³/h		
	Standard	Tensão	400/690V-3ph-50Hz			2.778	m³/s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	1020	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	300	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1455	rpm	Pressão din.	88	Pa		
		Intensidade nominal	14.5	A	Pressão total	1408	Pa		
Velocidade Rot.	2402 rpm	Pot. absorv.	6.23	kW					
Eficiência	75 %	SFP5	2243	W/(m³/s)					
Potência no veio	5.23 kW								
<b>Níveis Sonoros</b>									
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	82 dB	82 dB	90 dB	84 dB	78 dB	75 dB	73 dB	67 dB	86 dB(A)
Lw Descarga	86 dB	82 dB	91 dB	86 dB	87 dB	85 dB	83 dB	76 dB	92 dB(A)
Lw radiado	66 dB	63 dB	65 dB	59 dB	49 dB	49 dB	41 dB	28 dB	60 dB(A)
Lp*	49 dB	46 dB	48 dB	42 dB	32 dB	32 dB	24 dB	11 dB	43 dB(A)
Lw Ar novo	79.9 dB	77.9 dB	84.9 dB	77.9 dB	71.9 dB	68.9 dB	63.9 dB	56.9 dB	80 dB(A)
Lw Ar insuflado	80 dB	72 dB	76 dB	66 dB	63 dB	63.4 dB	62 dB	60 dB	72 dB(A)
*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre									

**Acessórios**  
 - 1x Óculo  
 - 1x Tomadas de pressão  
 - 1x Passa cabos para Motor e PTO  
 - 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
 - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)

**(14) Atenuador**

Largura septos	200	mm	Nº septos	4	Velocidade ar	5.1	m/s		
Compr. Septos	600	mm			PDC	19	Pa		
<b>Níveis Sonoros</b>									
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Atenuação	5	7	11	17	22	19	17	11	

**(15) Filtro**

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>					
Tipo	Filtro compacto	Caudal de ar	10000	m³/h	592 x 592	4			
Classe do Filtro	F9		2.778	m³/s					
Superfície frontal	1.486 m²	PDC final	300	Pa					
		PDC cálc.	196	Pa					

**Acessórios** - 2x Tomadas de pressão

**Módulo 5**

Comprimento: 1022 mm Peso: 261 kg

**(16) Filtro D**

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>					
Tipo	HEPA	Caudal de ar	10000	m³/h	592 x 592	4			
Classe do Filtro	H13		2.778	m³/s					
Superfície frontal	1.486 m²	PDC final	500	Pa					
		PDC cálc.	329	Pa					

**Acessórios** - 1x Tomadas de pressão  
 - 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
 - 1x Óculo

**(17) Saída de ar**

Ar insuflado		Abertura frontal total	
Caudal max. de ar	10000	m³/h	
	2.78	m³/s	



eCLIM  
Version 2.0.0

Date 06/08/2013 Page 1  
Project LEICA  
Client  
Quotation n°  
Done by

<b>Slim@ir Air Handling Unit</b>	
Unit Model	<b>SR 0318</b>
Unit Reference	<b>UTA Areamento</b>

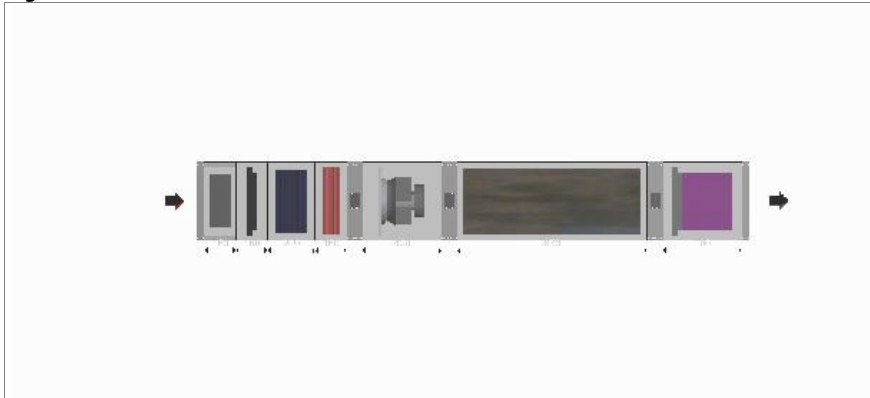
**Features**

Supply air volume	6000	m <sup>3</sup> /h	<b>Casing:</b>		
	1.667	m <sup>3</sup> /s	Outer skin thickness	1.0 mm	mm
Extract air volume		m <sup>3</sup> /h	Inner skin thickness	0.8 mm	mm
		m <sup>3</sup> /s	Outer skin material	Galvanised	
Air velocity in tunnel	2.5	m/s	Inner skin material	Galvanised	
Altitude	0	m	Insulation material	Glass Wool	
Unit Type	Indoor		Panel thickness	25 mm	mm
Access Method	Side access with hinged doors opposed to coil connection side				
Baseframe	No				
Ex-works unit net price	15725	Euros			

**Classification according to European standard EN 1886**

Casing mechanical resistance	D1	Thermal transmittance	T3
Casing air tightness	L1	Thermal bridging factor	TB3
Filter bypass leakage	F9	TUV Test N°	MB 447

**Drawing :**





eCLIM  
Version 2.0.0

Date 06/08/2013 Page 2  
Project LEICA  
Client  
Quotation n°  
Done by

<b>Slim@ir Air Handling Unit</b>	
Unit Model	<b>SR 0318</b>
Unit Reference	<b>UTA Areamento</b>

<b>Transport section 1</b>	Length :	800	mm	Weight :	181	Kg
----------------------------	----------	-----	----	----------	-----	----

**[1] One-way section**

<b>Recirculating Air</b>					
Opening type	Inside Damper	Torque	4	Nm	
Position	Full Face In Line	Number of actuators required	1		
Material	Galva	Air pressure drop	7.9	Pa	
Class (EN 1751)	0	Face velocity	4.23	m/s	

**[2] Filter**

Air volume	6000	m³/h	Nber of filter elements		
	1.667	m³/s	- 287 x 287 mm	0	
Face velocity	3.27	m/s	- 287 x 592 mm	3	
Filter type	Synthetic flat filter				
Filter class (EN 779)	G4				
Withdrawal method	Side access with hinged doors opposed to coil connection side		Initial air pressure drop	95	Pa
			Final air pressure drop (EN 13053)	150	Pa
			Design air pressure drop	123	Pa

**[3] Cooling coil**

Air volume	6000	m³/h	Air in	34,1	°C
	1.667	m³/s		38.6	%
Face velocity	3.1	m/s	Air out	15.8	°C
Coil type	Chilled water	WM1		92.2	%
Material	Tubes	Copper	Total capacity	47.59	kW
	Fins	Aluminium	Sensible capacity	35.23	kW
Treatment	Without		Condensation	17.7	l/h
Fin spacing	2.5	mm	Air pressure drop	216	Pa
Number of rows	6		Fluid	Water	
Number of circuits	24		Glycol	0	%
Connection size, inlet threaded	1"	inch	Fluid inlet/outlet temperature	8/13	°C
Connection size, outlet threaded	1"	inch	Fluid flow rate	8156	l/h
Eliminator	Yes		Fluid pressure drop	51.5	kPa
Eliminator air pressure drop	43	Pa	Fluid velocity	1.5	m/s

**Accessories :**

1	X	Droplet eliminator metallic
---	---	-----------------------------

**[4] Heating coil**

Air volume	6000	m³/h	Air in	-2	°C
	1.667	m³/s		90.0	%
Face velocity	3.1	m/s	Air out	31.8	°C



eCLIM  
Version 2.0.0

Date 06/08/2013 Page 3  
Project LEICA  
Client  
Quotation n°  
Done by

<b>Slim@ir Air Handling Unit</b>	
Unit Model	<b>SR 0318</b>
Unit Reference	<b>UTA Areamento</b>

Coil type	Hot water	WM1	9.9	%
Material	Tubes	Copper		
	Fins	Aluminium	Total capacity	73.44 kW
Treatment	Without		Air pressure drop	45 Pa
Fin spacing	2.1	mm	Fluid	Water
Number of rows	2		Glycol	0 %
Number of circuits	12		Fluid inlet/outlet temperature	80/60 °C
Connection size, inlet threaded	1"	inch	Fluid flow rate	3228 l/h
Connection size, outlet threaded	1"	inch	Fluid pressure drop	15.7 kPa
			Fluid velocity	1.2 m/s

<b>Transport section 2</b>	Length :	480	mm	Weight :	168.99	Kg
----------------------------	----------	-----	----	----------	--------	----

**[5] Supply fan**

Air volume	6000	m³/h	Rated power per motor	0.7	kW
	1.667	m³/s	Supply voltage	230/1/50-60	V/Ph/Hz
Unit air pressure drop	610	Pa	Efficiency class	EC	
External static pressure	220	Pa	Index of protection	IP44	
Dynamic pressure	35	Pa	Thermal protection	PTC	
Total pressure	865	Pa	Motor rated speed	3450	rpm
Fan discharge	Orientation	Front Discharge, standard	Rated current per motor	3	A
Fan type/size	K3G 250-AV29-B2		Absorbed power per motor	0.73	kW
No. of fan(s)	3		No. of motor(s)	3	
Fan material	Galvanised		Specific fan power (EN 13779)	SFP4	
Fan grade	Standard			1314	W/(m³/s)
Fan blades	EC Plug Fan		Operating frequency		Hz
Fan speed	3488	rpm	Maximum operating frequency		Hz
Efficiency	66	%			
Fan shaft power		kW	Fan-motor base isolators	None	

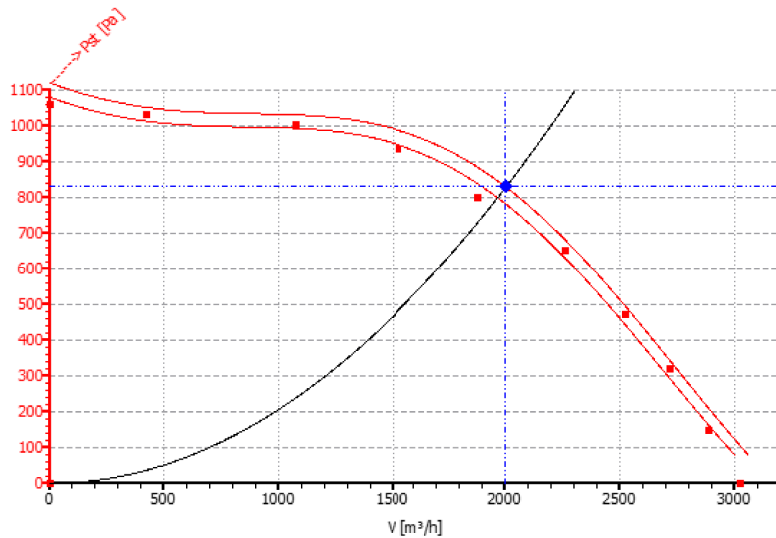
	63 Hz(dB)	125 Hz(dB)	250 Hz(dB)	500 Hz(dB)	1 kHz(dB)	2 kHz(dB)	4 kHz(dB)	8 kHz(dB)	Global (dBA)
<b>Lw Inlet</b>	82,40	71,70	72,90	75,10	71,50	68,60	66,30	68,00	77,19
<b>Lw Outlet</b>	82,60	72,90	74,80	77,20	77,80	77,90	72,00	71,00	83,00
<b>Lw radiated</b>	76.6	72.6	65.6	54.6	50.6	49.6	48.6	44.6	61.9
<b>Lp calculated at 2 m</b>	50.4	42.5	43.0	37.4	36.6	36.8	35.6	29.5	43.4



eCLIM  
Version 2.0.0

Date 06/08/2013 Page 4  
Project LEICA  
Client  
Quotation n°  
Done by

<b>Slim@ir Air Handling Unit</b>	
Unit Model	<b>SR 0318</b>
Unit Reference	<b>UTA Areamento</b>



<b>Transport section 3</b>	Length :	1040	mm	Weight :	119	Kg
----------------------------	----------	------	----	----------	-----	----

**[6] Silencer**

Air volume	6000	m³/h	Baffle length	900	mm
	1.667	m³/s	Baffle height	334	mm
Face velocity	2.6	m/s	Baffle width	200	
Air pressure drop	9	Pa	Number of baffles	6	

<b>Sound Attenuation (dB)</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
	3	9	17	21	20	17	13	10

<b>Transport section 4</b>	Length :	480	mm	Weight :	73	Kg
----------------------------	----------	-----	----	----------	----	----

**[7] Filter**

Air volume	6000	m³/h	Nber of filter elements	
	1.667	m³/s	- 287 x 287 mm	0
Face velocity	3.27	m/s	- 287 x 592 mm	3
Filter type	Short bag 305 mm			
Filter class (EN 779)	F7			
Withdrawal method	Side access with hinged doors	Initial air pressure drop	133	Pa



eCLIM  
Version 2.0.0

Date 06/08/2013 Page 5  
 Project LEICA  
 Client  
 Quotation n°  
 Done by

<b>Slim@ir Air Handling Unit</b>	
Unit Model	<b>SR 0318</b>
Unit Reference	<b>UTA Areamento</b>

opposed to coil connection side			
	Final air pressure drop (EN 13053)	200	Pa
	Design air pressure drop	167	Pa



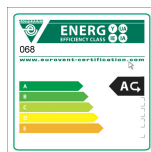
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA Cozinha  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 35

**Características**

Modelo da unidade: PR 090  
Caudal de ar insuflação 5400 m³/h  
1.5 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.56 m/s

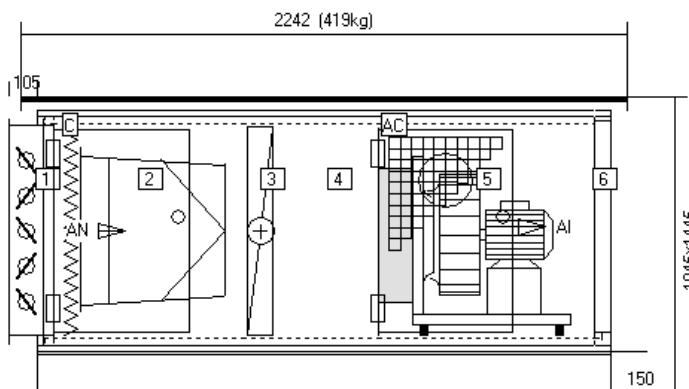
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTA Cozinha  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 36

**Módulo 1**

Comprimento: 2122 mm Peso: 419 kg

**(1) Secção de mistura**

Air neuf		Registre extérieur antigel standard Galva							
Caudal max. de ar	5400	m³/h	Perda de carga	4	Pa	Binário	7.4	Nm	
	1.5	m³/s							

**(2) Filtro**

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>				<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>			
Tipo	Pré-filtro sintético & saco	Caudal de ar	5400	m³/h		592 x 592	2/2		
Classe do Filtro	G4/F7	PDC final	350	Pa					
Superfície frontal	0.743 m²	PDC cálc.	350	Pa					

Acessórios - 2x Tomadas de pressão

**(3) Aquecimento**

<b>Dados bateria</b>			<b>Rendimentos</b>			<b>Dados fluido</b>		
Tipo	Bateria		Caudal de ar	5400	m³/h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al			1.5	m³/s		Glicol	0 %
Velocidade frontal	2	m/s	Entrada de ar	-2/85	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60	°C
Superfície frontal	0.74	m²	Saída de ar	18/20	°C/%HR	Caudal	1626	l/h
Fiadas/Circuitos	2/14		Factor de segurança	81	%	Velocidade	0.5	m/s
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	37	kW	PDC	3.2	kPa
Ligações	DN32		Pot.Sensível	37	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C
			PDC	22	Pa			

**(4) Secção vazia****(5) Ventilador de insuflação**

		com		Porta					
<b>Dados do ventilador</b>				<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>			
Tamanho	RLM 56-4045	Potência nominal	1.5	kW	Caudal de ar	5400	m³/h		
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			1.5	m³/s		
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	376	Pa		
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	150	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	1440	rpm	Pressão din.	40	Pa		
		Intensidade nominal	3.4	A	Pressão total	566	Pa		
Velocidade Rot.	1748	rpm	Pot. absorv.	1.44	kW				
Eficiência	75	%	SFP3	960	W/(m³/s)				
Potência no veio	1.13	kW							
<b>Níveis Sonoros</b>									
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	70 dB	78 dB	76 dB	73 dB	68 dB	66 dB	59 dB	51 dB	75 dB(A)
Lw Descarga	73 dB	82 dB	77 dB	74 dB	76 dB	74 dB	68 dB	60 dB	80 dB(A)
Lw radiado	54 dB	59 dB	51 dB	48 dB	39 dB	40 dB	27 dB	12 dB	50 dB(A)
Lp*	37 dB	37 dB	37 dB	42 dB	34 dB	31 dB	22 dB	23 dB	33 dB(A)
Lw Ar novo	68.9 dB	75.1 dB	72.6 dB	70.1 dB	65.1 dB	62.9 dB	55.1 dB	46.6 dB	72 dB(A)
Lw Ar insuflado	73 dB	82 dB	77 dB	74 dB	76 dB	74 dB	68 dB	60 dB	80 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**(6) Saída de ar**

Air soufflé			
Caudal max. de ar	5400	m³/h	
	1.5	m³/s	



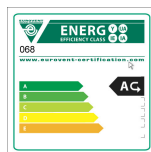
WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto: UTAN MAQUINAS 1 e 2  
Referência: LEICA - Lousado  
Projecto:  
Cliente:  
Página 45

**Características**

Modelo da unidade: PR 160  
Caudal de ar insuflação 10000 m³/h  
2.78 m³/s  
Tipo de unidade Unidade Exterior  
Altitude 0 m  
Velocidade do ar no túnel 1.75 m/s

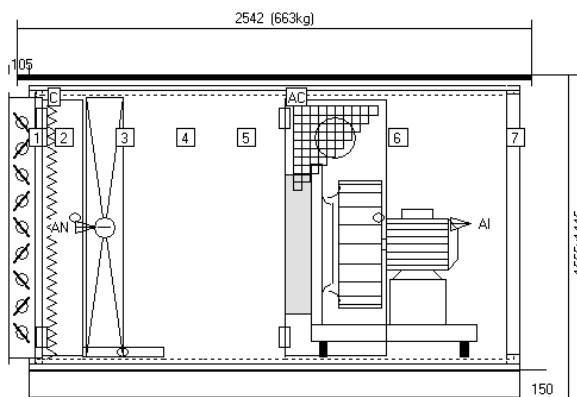
Caixa  
Espessura da chapa 1.0 mm ext. / 0.8 mm int.  
Acabamento interior Galvanizado  
Acabamento exterior Pré-pintado  
Fixações interiores Galvanizado  
Isolamento Lã de Vidro (35kg/m3) / 50 mm



Classe de eficiência energética : A

Classificação segundo a Norma EN 1886  
Resistência da caixa : classe 2A - D1 (PR & TR)  
Estanqueidade da caixa : classe B/B - L2/L2 (PR & TR)  
Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2(PR) / T4(TR)  
Factor de pontes térmicas : classe TB2(PR) / TB3(TR)  
Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



WinClim II  
Versão :2.0.83

Data 14-06-2012  
Nº Projecto:  
Referência: UTAN MAQUINAS 1 e 2  
Projecto: LEICA - Lousado  
Cliente:  
Página 46

**Módulo 1**

Comprimento: 2422 mm Peso: 663 kg

**(1) Secção de mistura**

Air neuf		Registre extérieur antigal		standard Galva					
Caudal max. de ar	10000	m³/h	Perda de carga	5	Pa	Binário	11.9	Nm	
	2.78	m³/s							

**(2) Filtro**

		com		Porta					
<b>Dados filtro</b>				<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>			
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	10000	m³/h		592 x 592	4		
Classe do Filtro	G4		2.778	m³/s					
Superfície frontal	1.486	m²	PDC final	150	Pa				
			PDC cálc.	150	Pa				

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(3) Arrefecimento**

<b>Dados bateria</b>				<b>Rendimentos</b>		<b>Dados fluido</b>			
Tipo	Bateria	Caudal de ar	10000	m³/h		Tipo	Água		
Material	Cu/Al		2.778	m³/s		Glicol	0	%	
Velocidade frontal	2.2	m/s	Entrada de ar	34.1/34.4	°C/%HR	Entrada/Saída	7/12	°C	
Superfície frontal	1.28	m²	Saída de ar	20/72	°C/%HR	Caudal	8588	l/h	
Fiadas/Circuitos	4/48		Factor de segurança	21	%	Velocidade	0.8	m/s	
Passo das alhetas	2.5	mm	Pot. Total	50	kW	PDC	8.5	kPa	
Ligações	DN50		Pot.Sensível	47.6	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0	°C	
			Condensação	15.6	l/h				
			PDC	64	Pa				

**(4) Aquecimento**

<b>Dados bateria</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Dados fluido</b>	
Tipo	Secção sem bateria				

**(5) Secção vazia****(6) Ventilador de insuflação**

		com		Porta						
<b>Dados do ventilador</b>				<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>				
Tamanho	RLM 56-5663	Potência nominal	2.2	kW	Caudal de ar	10000	m³/h			
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz			2.778	m³/s			
Pás	Ventilador	Protecção	IP55 Standard		PDC CTA	219	Pa			
	Plug Fan	Protecção térm./Efi.	PTO / IE2		Pressão disp.	300	Pa			
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Velocidade nominal	955	rpm	Pressão din.	35	Pa			
		Intensidade nominal	5.6	A	Pressão total	554	Pa			
Velocidade Rot.	1186	rpm	Pot. absorv.	2.68	kW					
Eficiência	74	%	SFP3	965	W/(m³/s)					
Potência no veio	2.07	kW								
<b>Níveis Sonoros</b>		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	74 dB	80 dB	75 dB	72 dB	69 dB	67 dB	61 dB	59 dB	75 dB(A)	
Lw Descarga	77 dB	82 dB	76 dB	76 dB	75 dB	74 dB	66 dB	63 dB	80 dB(A)	
Lw radiado	58 dB	61 dB	50 dB	47 dB	40 dB	41 dB	29 dB	20 dB	50 dB(A)	
Lp*	41 dB	41 dB	41 dB	44 dB	33 dB	30 dB	23 dB	24 dB	33 dB(A)	
Lw Ar novo	72.7 dB	78.4 dB	73.4 dB	69.9 dB	65.9 dB	64 dB	57.9 dB	55.9 dB	72 dB(A)	
Lw Ar insuflado	77 dB	82 dB	76 dB	76 dB	75 dB	74 dB	66 dB	63 dB	80 dB(A)	

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Acessórios - 1x Óculo - 1x Tomadas de pressão  
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado) - 1x Passa cabos para Motor e PTO

**(7) Saída de ar**

Air soufflé			
Caudal max. de ar	10000	m³/h	
	2.78	m³/s	



Data 06-08-2013  
 Nº Projecto:  
 Referência: UTA Polimento  
 Projecto: LEICA  
 Cliente: RODATERMICA  
 Página 1

**Características**

Modelo da unidade:	PR 200	Caixa	
Caudal de ar Retorno/Insuflação	6600 / 12400 m³/h	Espessura da chapa	1.0 mm ext. / 0.8 mm int.
	1.83 / 3.44 m³/s	Acabamento interior	Galvanizado
Tipo de unidade	Unidade Exterior	Acabamento exterior	Pré-pintado
Altitude	0 m	Isolamento	Lã Mineral (50 kg/m³)
Velocidade do ar no túnel	0.92 / 1.74 m/s		/ 50 mm
Temperatura exterior de projecto	-2 °C		
Relação mistura	0 %		
SFPe/SFPv Global	1597/1203 W/(m³/s)		
SFPv Global (sem var. velocidade)	1135 W/(m³/s)		



Classe de eficiência energética : D

Classificação segundo a Norma EN 1886

Resistência da caixa : classe D1 (PR & TR)

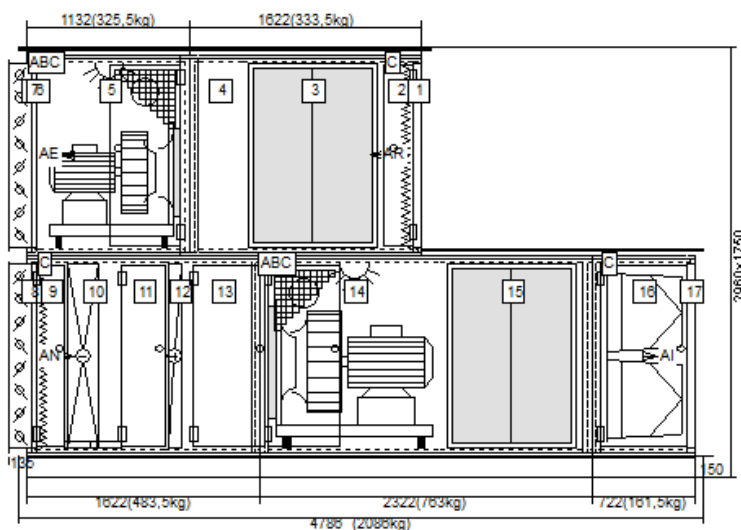
Estanqueidade da caixa : classe L2/L2 (PR & TR)

Fuga Bypass filtro : classe F9 (PR & TR)

Transmissão térmica : classe T2 (PR) / T4 (TR)

Factor de pontes termicas : classe TB2 (PR) / TB3 (TR)

Certificação EUROVENT nº 04.12.068



Vista lateral

A = Óculo

B = Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)

C = Tomadas de pressão

Unidade com Chassis 150 mm (Galvanizado) e telhado



Data 06-08-2013  
 Nº Projecto:  
 Referência: UTA Polimento  
 Projecto: LEICA  
 Cliente: RODATERMICA  
 Página 2

## Ar de retorno

### Módulo 1

Comprimento: 1622 mm Peso: 333.5 kg

#### (1) Entrada de ar

Ar de retorno	Abertura frontal total		
Caudal max. de ar	6600	m <sup>3</sup> /h	
	1.83	m <sup>3</sup> /s	

#### (2) Filtro A

		com	Porta	FPLG4-SYN-48-4/2	
<b>Dados filtro</b>		<b>Rendimentos</b>		<b>Qt. Filtros</b>	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	6600	m <sup>3</sup> /h	287x 592
			1.833	m <sup>3</sup> /s	592 x 592
Classe do Filtro	G4	PDC inic./final	12/150	Pa	
Superfície frontal	1.858 m <sup>2</sup>	PDC cálc.	81	Pa	

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

#### (3) Atenuador

Largura septos	200	mm	Nº septos	5	Velocidade ar	2.7	m/s	
Compr. Septos	900	mm			PDC	8	Pa	
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<b>Atenuação</b>	6	10	16	25	31	28	25	16

#### (4) Secção vazia

### Módulo 2

Comprimento: 1132 mm Peso: 325.5 kg

#### (5) Ventilador de retorno

		com	Porta						
<b>Dados do ventilador</b>		<b>Dados motor</b>		<b>Rendimentos</b>					
Tamanho	RLM 56-5056	Potência nom./abs.	1.5/1.18	kW	Caudal de ar	6600	m <sup>3</sup> /h		
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz		@ 1.2 kg/m <sup>3</sup>	1.833	m <sup>3</sup> /s		
Pás	Ventilador Plug Fan	Tipo motor	IP55 Standard		PDC CTA	91 (22)	Pa		
			PTO / IE2		Pressão disp.	220	Pa		
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Freq. func./máx.	57/68	Hz	Pressão din.	25	Pa		
		Velocidade nom.	945	rpm	Pressão total	336 (267)	Pa		
Velocidade func./máx.	1070/1280	Intens. nom./abs.	3.6/2.83	A					
Eficiência	75 %	SFPe/SFPv	644/513	W/(m <sup>3</sup> /s)					
Potência no veio	0.82								
<b>Níveis Sonoros</b>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	69 dB	75 dB	70 dB	67 dB	64 dB	62 dB	56 dB	54 dB	70 dB(A)
Lw Descarga	72 dB	77 dB	71 dB	71 dB	70 dB	69 dB	61 dB	58 dB	75 dB(A)
Tolerância	--- dB	+5 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB(A)
Lw radiado	53 dB	56 dB	45 dB	42 dB	35 dB	36 dB	24 dB	15 dB	45 dB(A)
Lp*	36 dB	39 dB	28 dB	25 dB	18 dB	19 dB	7 dB	0 dB	28 dB(A)
Lw Ar de retorno	62.8 dB	64.5 dB	53.5 dB	41.5 dB	32 dB	33.1 dB	30 dB	37 dB	51 dB(A)
Lw Ar extraído	71.8 dB	76.8 dB	70.8 dB	70.8 dB	69.8 dB	68.8 dB	60.8 dB	57.8 dB	75 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre

Values in brackets ( ) are for clean filter and coil w/o condensation

Acessórios - 1x Óculo  
 - 1x Tomadas de pressão  
 - 1x Passa cabos para Motor e PTO

- 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)  
 - 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)

#### (6) Secção universal



Data 06-08-2013  
 Nº Projecto:  
 Referência: UTA Polimento  
 Projecto: LEICA  
 Cliente: RODATERMICA  
 Página 3

**(7) Saída de ar**

<i>Ar extraído Registo exterior anti-gelo Std galvanizado</i>							
Caudal max. de ar	6600	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	1	Pa	Binário	1 x 14.7 Nm
	1.83	m <sup>3</sup> /s					

**Ar insuflado**

**Módulo 3**

Comprimento: 1622 mm Peso: 483.5 kg

**(8) Secção de mistura**

<i>Ar novo Registo exterior anti-gelo Std galvanizado</i>							
Caudal max. de ar	12400	m <sup>3</sup> /h	Perda de carga	5	Pa	Binário	1 x 14.7 Nm
	3.44	m <sup>3</sup> /s					

**(9) Filtro**

		<i>com</i>	<i>Porta</i>	<i>FPLG4-SYN-48-4/2</i>			
<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>Qt. Filtros</i>			
Tipo	Filtro	Caudal de ar	12400	m <sup>3</sup> /h	287x 592	2	
	sintético		3.444	m <sup>3</sup> /s	592 x 592	4	
Classe do Filtro	G4	PDC inic./final	30/150	Pa			
Superfície frontal	1.858	m <sup>2</sup>	PDC cálc.	90	Pa		

Acessórios - 1x Tomadas de pressão

**(10) Arrefecimento**

*BF-WM1-?O-6R-48T-78C-1350-2.1*

<i>Dados bateria</i>		<i>Rendimentos</i>			<i>Dados fluido</i>		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	12400	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al	@ 1.13 kg/m <sup>3</sup>	3.444	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.1	m/s	Entrada de ar	34.1/36.8	°C/%HR	Entrada/Saída	8/13
Superfície frontal	1.65	m <sup>2</sup>	Saída de ar	15/92	°C/%HR	Caudal	17415
Fiadas/Circuitos	6/78		Factor de segurança	6	%	Velocidade	0.9
Passo das alhetas	2.1	mm	Pot. Total	101.5	kW	PDC	15.7
Ligações	DN65		Pot. Sensível	79.7	kW	Temp.min.(anti-gelo)	0
			Condensação	47.6	l/h		°C
			PD dry/wet	69/111	Pa		

Acessórios - 1x Tabuleiro inox 304L

**(11) Secção vazia 300mm**

*com* *Porta*

**(12) Aquecimento**

*BC-WM1-?O-2R-48T-36C-1350-2.1*

<i>Dados bateria</i>		<i>Rendimentos</i>			<i>Dados fluido</i>		
Tipo	Bateria	Caudal de ar	12400	m <sup>3</sup> /h	Tipo	Água	
Material	Cu/Al	@ 1.29 kg/m <sup>3</sup>	3.444	m <sup>3</sup> /s	Glicol	0	%
Velocidade frontal	2.1	m/s	Entrada de ar	-2/90	°C/%HR	Entrada/Saída	80/60
Superfície frontal	1.65	m <sup>2</sup>	Saída de ar	32/9	°C/%HR	Caudal	6239
Fiadas/Circuitos	2/36		Factor de segurança	13	%	Velocidade	0.8
Passo das alhetas	2.1	mm	Pot. Total	141.9	kW	PDC	6.1
Ligações	DN32		PDC	24	Pa	Temp.min.(anti-gelo)	0
							°C

**(13) Secção vazia**

*com* *Porta*



Data 06-08-2013  
 Nº Projecto:  
 Referência: UTA Polimento  
 Projecto: LEICA  
 Cliente: RODATERMICA  
 Página 4

**Módulo 4**

Comprimento: 2322 mm Peso: 763 kg

**(14) Ventilador de insuflação**

<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>		<i>Rendimentos</i>					
Tamanho	RLM 56-6371	Potência nom./abs.	4/4.01 kW	Caudal de ar	12400 m <sup>3</sup> /h				
	Standard	Tensão	230/400V-3ph-50Hz	@ 1.2 kg/m <sup>3</sup>	3.444 m <sup>3</sup> /s				
Pás	Ventilador	Tipo motor	IP55 Standard	PDC CTA	378 (206) Pa				
	Plug Fan	PTO / IE2		Pressão disp.	250 Pa				
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Freq. func./máx.	59/64 Hz	Pressão din.	34 Pa				
		Velocidade nom.	960 rpm	Pressão total	662 (490) Pa				
Velocidade func./máx.	1130/1220 rpm	Intens. nom./abs.	10/10.02 A						
Eficiência	74 %	SFPe/SFPv	1164/862 W/(m <sup>3</sup> /s)						
Potência no veio	3.1 kW								
<i>Níveis Sonoros</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Total
Lw Aspiração	77 dB	83 dB	78 dB	75 dB	72 dB	70 dB	64 dB	62 dB	78 dB(A)
Lw Descarga	80 dB	85 dB	79 dB	79 dB	78 dB	77 dB	69 dB	66 dB	83 dB(A)
Tolerância	--- dB	+5 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB	+3 dB(A)
Lw radiado	61 dB	64 dB	53 dB	50 dB	43 dB	44 dB	32 dB	23 dB	53 dB(A)
Lp*	44 dB	47 dB	36 dB	33 dB	26 dB	27 dB	15 dB	6 dB	36 dB(A)
Lw Ar novo	74.7 dB	79.9 dB	74.4 dB	70.9 dB	67.4 dB	65 dB	58.9 dB	56.4 dB	74 dB(A)
Lw Ar insuflado	73.7 dB	73.7 dB	61.2 dB	52.7 dB	46.2 dB	47.9 dB	42.2 dB	47.7 dB	60 dB(A)

\*Pressão acústica calculada a 2.0 m em campo livre  
 Values in brackets ( ) are for clean filter and coil w/o condensation

**Acessórios**

- 1x Óculo
- 1x Tomadas de pressão
- 1x Passa cabos para Motor e PTO
- 1x Iluminação 24 V (IP44 - 75W - E27)
- 1x Grelha de protecção atrás da porta (Galvanizado)

**(15) Atenuador**

Largura septos	200 mm	Nº septos	5	Velocidade ar	5 m/s			
Compr. Septos	900 mm			PDC	18 Pa			
<i>Níveis Sonoros</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atenuação	6	10	16	25	31	28	25	16

**Módulo 5**

Comprimento: 722 mm Peso: 161.5 kg

**(16) Filtro D**

<i>Dados filtro</i>		<i>Rendimentos</i>		<i>FPOF7-SYN-500-4/2</i>	
Tipo	saco longo	Caudal de ar	12400 m <sup>3</sup> /h	Qt. Filtros	2
Classe do Filtro	F7		3.444 m <sup>3</sup> /s	287 x 592	4
Superfície frontal	1.858 m <sup>2</sup>	PDC inic./final	60/200 Pa	592 x 592	
		PDC calc.	130 Pa		

**Acessórios** - 1x Tomadas de pressão

**(17) Saída de ar**

Ar insuflado	Abertura frontal total
Caudal max. de ar	12400 m <sup>3</sup> /h
	3.44 m <sup>3</sup> /s



## Systair® EC - EC Isol

bateria de aquecimento a água quente circular disponível na versão isolada

### INFORMAÇÃO GERAL

#### Vantagens

- Ideal para instalação terminal ou para pós-aquecimento.
- Ligação à conduta equipada com junta ou borracha.
- Para regular com válvula de 2 ou 3 vias.
- Versão isolada: isolamento com lã de rocha.

#### Gama

Gama composta por 12 modelos, para as 2 versões:

- Diâmetros: de 125 até 710 mm.
- Potências: de 2 até 58 kW.
- Alimentação a água quente.

#### Aplicação / Utilização

- Bateria de aquecimento terminal para pleno ou para conduta.
- Montagem como acessório de equipamento de ventilação.
- **Versão isolada:** Ideal como acessório de caixa de ventilação: **Rectilys® ECM** ou ventilador de conduta **Canal' Air® C ECM**.

#### Construção/ Composição

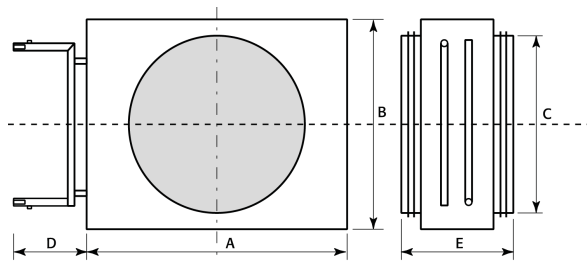
- Virola circular em aço galvanizado.
- Bateria água quente com alhetas de alumínio com tubos em cobre e coletor em aço.
- Ligações às condutas equipadas com junta ou borracha.
- Versão isolada: envolvente em aço com isolamento de lã de rocha; características:  $\lambda = 0,035 \text{ W/m.K}$ .
- Bateria de aquecimento a água (2 fiadas), alhetas (passo de 2,1 mm) em alumínio com circuito em cobre e coletor em aço.

#### Acondicionamento

- Vendido à unidade.

DESCRIÇÃO TÉCNICA

ATRAVANCAMENTOS E PESOS



Systair® EC

Modelos	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	Ligação Ø [polegadas]	Peso [Kg]
125	245	180	125	110	280	1/2"	17,5
160	270	205	160				18,3
200	295	230	200				20,4
250	345	280	250				24,5
315	420	355	315				31,5
355	445	380	355				34,5
400	495	430	400				39,7
450	545	480	450			45,7	
500	595	530	500			3/4"	52,9
560	670	605	560				62,3
630	745	680	630				71,8
710	820	755	710			1"	82,9

Systair® EC Isolado

Modelos	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	Espessura isolamento [mm]	Ligação Ø [polegadas]	Peso [Kg]
125	322	203	125	70	280	10	1/2"	17,5
160	347	233	160					18,3
200	350	258	200					20,4
250	452	338	250					24,5
315	527	409	315					31,5
355	552	434	355					34,5
400	602	484	400					39,7
450	642	534	450			20	45,7	
500	702	584	500				3/4"	52,9
560	777	659	560					62,3
630	852	734	630			1"	71,8	
710	917	799	710				82,9	

LIMITES DE UTILIZAÇÃO

Bateria Systair® EC

- Este equipamento terá que ser sempre montado após o ventilador.
- Em caso de montagem a montante (para pré-aquecimento do ar) assegurar que a temperatura do ar de saída da bateria não exceda o limite admissível superior pelo ventilador ou da unidade de tratamento de ar.
- Aconselha-se pelo menos 1 m de espaço livre entre a saída do ventilador e a bateria para que o fluxo seja repartido de maneira homogênea na superfície do permutador.

SELEÇÃO

TABELA DE SELEÇÃO

Systair® EC e EC Isolado:  
regime de água 90/70° C, temperatura de entrada do ar de 15° C

Modelos	Caudal de ar [m³/h]	Velocidade do ar [m/s]	Potência [kW]	Temperatura do ar [°C]		Perda de carga no ar [Pa]	Caudal de água [l/s]	Perda de carga na água [kPa]
				Entrada	Saída			
125	350	3	2,6	15	36,9	42	0,03	0,5
160	454		3,6		38,4	42	0,04	1
200	571		4,8		39,8	44	0,06	1,6
250	846		7,7		41,8	42	0,09	4,7
315	1361		12,5		42,1	44	0,15	5,7
355	1559		14,5		42,4	44	0,18	4,3
400	1997		19		43,1	44	0,23	8
450	2488		23		42,3	45	0,28	4,3
500	3033		28		42,2	44	0,33	3,7
560	4050		38		42,7	46	0,47	6
630	4994		47		42,8	45	0,58	3,8
710	6156		58		42,8	45	0,71	4,8

COEFICIENTES DE CORREÇÃO DAS POTÊNCIAS CALORÍFICAS

Systair® EC e EC Isolado:  
regime de água +7/12° C, temperatura de entrada do ar de 32° C.

Temperatura de entrada do ar [°C]	Regime de água									
	45/40	50/30 50/45	60/40	65/45	70/50	75/55	80/60	85/65	90/70	95/75
-15	0,8	0,87	1	1,07	1,15*	1,23	1,3	1,38	1,45	1,52
-10	0,73	0,8	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3	1,38	1,45
-5	0,67	0,73	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3	1,38
0	0,6	0,67	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23	1,3
+5	0,53	0,6	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15	1,23
+10	0,47	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07	1,15
+15	0,49	0,47	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1	1,07
+20	0,33	0,49	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92	1
+25	0,27	0,33	0,39	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84	0,92
+30	0,2	0,27	0,31	0,39	0,45	0,53	0,61	0,69	0,76	0,84

Tabela:

- Coeficientes de correção a aplicar às potências da tabela de seleção em função das diferentes temperaturas de entrada do ar e de alimentação de água (base de cálculo: ar 15° C, água 90/70° C).

\*Exemplo:

- Potência de uma bateria Systair® EC 125 considerada nas seguintes condições:
- T° entrada do ar = -15° C
- Regime de água = 70/50° C
- Para ar a -15° C, o coeficiente de correção nas potências caloríficas a aplicar é de 1,15.
- Para uma bateria Systair® EC 125, a potência corrigida nestas condições será, então, de: 2,6 x 1,15 = 2,99 kW.