



IPS Instituto
Politécnico de Setúbal
Escola Superior de
Tecnologia de Setúbal

RICARDO
JORGE PEREIRA
COSTA

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE
REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL COM
RECURSO A TORRES DE
REFRIGERAÇÃO**

Relatório de Projeto do Mestrado em Engenharia
e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios

ORIENTADOR

Prof. Doutor, Paulo Miguel Marques Fontes

dezembro de 2023

RICARDO
JORGE PEREIRA
COSTA

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE
REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL COM
RECURSO A TORRES DE
REFRIGERAÇÃO**

JÚRI

Presidente: Prof. Doutor João Francisco dos Santos
Fernandes, ESTSetúbal/IPS

Orientador: Prof. Doutor Paulo Miguel Marques
Fontes, ESTSetúbal/IPS

Arguente: Prof. Doutor Amândio Jorge Barroso
Rebola, ESTSetúbal/IPS

dezembro de 2023

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer a todos os professores com quem tive oportunidade de me cruzar nesta jornada, pois sem a sua orientação esta aprendizagem não seria possível.

Quero agradecer também ao Professor Doutor Paulo Fontes que foi o orientador deste projeto, estando sempre disponível para contribuir com o seu conhecimento não só neste projeto, mas também nas aulas por ele lecionadas.

Aos meus colegas na CCenergia pelo seu contributo e em especial ao Eng.º Pedro Lima que se mostrou sempre disponível para esclarecer qualquer dúvida e também na partilha de conhecimento e informação, pois sem esse contributo não seria possível efetuar este projeto.

A todos os meus colegas de turma com quem tive o prazer de me cruzar e aprender com eles, e em especial ao colega e amigo Eng.º Jorge Dias pela sua ajuda ao longo destes anos, e que me motivou sempre a fazer mais e melhor.

Não podia deixar de agradecer aos meus pais e aos meus sogros por sempre acreditarem em mim, em especial à minha irmã e aos meus sobrinhos pela paciência e compreensão de não estar sempre presente quanto queria.

Por fim e não menos importante à pessoa que tornou não só esta jornada, mas todas as outras possíveis, um agradecimento eterno à minha esposa Susana por toda a sua dedicação, por sempre acreditar que seria possível, por todos os sacrifícios feitos e que nunca me deixou desistir.

Resumo

Este projeto de mestrado incide sobre a melhoria da eficiência energética na produção de frio em sistemas de refrigeração de processos em cinco instalações industriais, onde será feita uma caracterização de cada sistema existente, e que, em função das necessidades de arrefecimento de cada processo será proposta uma solução ideal para produção de frio de cada sistema/instalação. A metodologia proposta inclui a recolha e tratamento de dados, permitindo assim avaliar o desempenho dos sistemas atuais, propondo uma solução otimizada com base na informação recolhida. O objetivo principal é a redução dos consumos energéticos de produção de frio para sistemas de refrigeração de processos, o que levará inevitavelmente à redução de custos e impactos ambientais. Prevê-se que as soluções encontradas permitam reduzir os custos com a energia, mas que ao mesmo tempo sejam soluções viáveis em termos económicos, esperando-se assim obter períodos de retorno do investimento bastante atrativos. Será apresentada uma solução de investimento sem recurso a incentivos e outra solução com recurso a incentivos para a redução dos consumos energéticos na indústria em Portugal, nomeadamente o Plano de Promoção de Eficiência no Consumo de Energia, aumentando assim a sustentabilidade dos processos, das empresas e da indústria em geral.

Palavras-chave: Eficiência energética, sistemas de refrigeração, otimização, sustentabilidade, torres de refrigeração

Abstract

This master's project focuses on improving energy efficiency in the production of cold in process refrigeration systems in five industrial facilities, where a characterization of each existing system will be made, and which, depending on the cooling needs of each process, will be proposed an ideal solution for cold production for each system/installation. The proposed methodology includes the collection and processing of data, which allows performance analysis to be carried out of the current system, proposing an optimized solution based on the information collected. The main objective is to reduce energy consumption in cold production for refrigeration systems, which will inevitably lead to economic costs and environmental impacts reductions. It is expected that the solutions found will reduce energy costs, but at the same time be viable solutions in economic terms, so it is expecting to obtain very attractive return on investment periods. An investment solution will be presented without the use of incentives and another solution using incentives to reduce energy consumption in industry in Portugal, as the Energy Consumption Efficiency Promotion Plan, increasing the sustainability of processes, companies and industry in general.

Keywords: Energy efficiency, refrigeration systems, optimization, sustainability, cooling towers

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Descrição da empresa	1
1.2. Descrição geral do local e do trabalho efetuado	1
1.3. Descrição do relatório	2
Capítulo 2	3
Revisão Bibliográfica	3
2.1. Gestão da Energia Térmica	3
<i>2.1.1. Transferência de calor</i>	4
<i>2.1.2. Permutadores de calor</i>	4
2.2. Refrigeração Industrial	5
<i>2.2.1. Chillers</i>	6
<i>2.2.2. Dry-coolers</i>	6
<i>2.2.3. Torres de Refrigeração</i>	7
2.3. Auditoria Energética	8
Capítulo 3	9
Caracterização do sistema de refrigeração	9
3.1. Instalação 1	9
<i>3.1.1. Esquema simplificado do sistema de refrigeração</i>	9
<i>3.1.2. Características do Chiller</i>	10

3.1.3. <i>Balanço de massa e energia</i>	10
3.1.4. <i>Necessidades, consumos e custos</i>	11
3.2. Instalação 2	11
3.2.1. <i>Esquema simplificado do sistema de refrigeração</i>	11
3.2.2. <i>Características do Chiller</i>	11
3.2.3. <i>Balanço de massa e energia</i>	12
3.2.4. <i>Necessidades, consumos e custos</i>	12
3.3. Instalação 3	13
3.3.1. <i>Esquema do sistema de refrigeração</i>	13
3.3.2. <i>Características dos Chillers</i>	14
3.3.3. <i>Balanço de massa e energia</i>	14
3.3.4. <i>Necessidades, consumos e custos</i>	14
3.4. Instalação 4	15
3.4.1. <i>Esquema do sistema de refrigeração</i>	15
3.4.2. <i>Características do sistema de refrigeração</i>	16
3.4.3. <i>Balanço de massa e energia</i>	17
3.4.4. <i>Necessidades, consumos e custos</i>	17
3.5. Instalação 5	17
3.5.1. <i>Esquema do sistema de refrigeração</i>	18
3.5.2. <i>Características do sistema de refrigeração</i>	18
3.5.3. <i>Balanço de massa e energia</i>	19
3.5.4. <i>Necessidades, consumos e custos</i>	19
3.6. Síntese do capítulo 3	20
Capítulo 4	23
Apresentação das soluções propostas	23
4.1. Instalação 1	24
4.1.1. <i>Estudo e análise da solução proposta - Torre</i>	25
4.1.2. <i>Estudo e análise da solução proposta – Troca de Chillers</i>	29
4.1.3. <i>Impactos Organizacionais Esperados</i>	30

4.2. Instalação 2	30
4.2.1. <i>Estudo e análise da solução proposta - Torre</i>	32
4.2.1. <i>Impactos Organizacionais Esperados</i>	34
4.3. Instalação 3	34
4.3.1. <i>Estudo e análise da solução proposta - Torre</i>	36
4.3.2. <i>Estudo e análise da solução proposta – Água do Rio</i>	37
4.3.1. <i>Impactos Organizacionais Esperados</i>	39
4.4. Instalação 4	39
4.4.1. <i>Estudo e análise da solução proposta – Torre</i>	41
4.4.1. <i>Impactos Organizacionais Esperados</i>	43
4.5. Instalação 5	43
4.5.1. <i>Estudo e análise da solução proposta - Torre</i>	44
4.5.1. <i>Impactos Organizacionais Esperados</i>	46
4.6. Síntese do capítulo 4	46
Capítulo 5	51
Conclusões	51
5.1. Propostas de melhoria / trabalhos futuros	51
5.2. Considerações finais	51
Bibliografia	53
Anexo 1	55
Anexo 1.1	55
Anexo 1.2	55
Anexo 1.3	56
Anexo 1.4	56
Anexo 1.5	58
Anexo 1.6	60
Anexo 1.7	61
Anexo 1.8	62
Anexo 1.9	62

Anexo 2	64
Anexo 2.1	64
Anexo 2.2	64
Anexo 2.3	65
Anexo 2.4	66
Anexo 2.5	67
Anexo 2.6	68

Lista de Figuras

Figura 2.1 Permutador em co-corrente (adaptado de [6])	5
Figura 2.2 Permutador em contra-corrente (adaptado de [6])	5
Figura 2.3 Ciclo básico de compressão de vapor (adaptado de [7])	6
Figura 2.4 Esquema de um dry-cooler (adaptado de [8])	6
Figura 2.5 - Esquema funcionamento torre evaporativa (adaptado de [13])	8
Figura 3.1 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 1)	9
Figura 3.2 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 2)	11
Figura 3.3 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 3)	13
Figura 3.4 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 4)	16
Figura 3.5 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 5)	18
Figura 3.6 Comparação energia elétrica refrigeração vs global da instalação.....	20
Figura 3.7 €/kWht por cada instalação.....	21
Figura 3.8 Desempenho Energético por Instalação.....	21
Figura 4.1 Variação da temperatura durante o ano	24
Figura 4.2 N° Horas vs Temperatura Bolbo Húmido.....	25
Figura 4.3 Variação da temperatura durante o ano	31
Figura 4.4 N° Horas vs Temperatura Bolbo Húmido.....	32
Figura 4.5 Variação da temperatura durante o ano	34
Figura 4.6 N° Horas vs Temperatura Bolbo Húmido.....	35
Figura 4.7 Temperatura Água do Rio.....	36
Figura 4.8 Variação da temperatura durante o ano	40
Figura 4.9 N° Horas vs Temperatura Bolbo Húmido.....	41
Figura 4.10 Variação da temperatura durante o ano	43
Figura 4.11 N° Horas vs Temperatura Bolbo Húmido	44
Figura 4.12 Comparação energia elétrica refrigeração vs global da instalação.....	47
Figura 4.13 Custo por kWht	47
Figura 4.14 Desempenho Energético	48

Figura 4.15 Custos Energia Elétrica por Ano.....	49
Figura 4.16 Consumo de energia elétrica por ano.....	49
Figura 4.17 Consumo Energia Elétrica por Ano	50

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 Identificação das instalações e respectivo CAE (adaptado de [2])	1
Tabela 3.1 Características do Chiller	10
Tabela 3.2 Balanço de massa e energia	10
Tabela 3.3 Necessidades, consumos e custos.....	11
Tabela 3.4 Características do Chiller	12
Tabela 3.5 Balanço de massa e energia	12
Tabela 3.6 Necessidades, consumos e custos.....	13
Tabela 3.7 Características dos Chillers	14
Tabela 3.8 Balanço de massa e energia (9/11/14/17/18/19).....	14
Tabela 3.9 Balanço de massa e energia (20/21/22/24/25/28).....	14
Tabela 3.10 Necessidades, consumos e custos.....	15
Tabela 3.11 Características do sistema de refrigeração	16
Tabela 3.12 Balanço de massa e energia.....	17
Tabela 3.13 Necessidades, consumos e custos.....	17
Tabela 3.14 Características dos Chillers	19
Tabela 3.15 Balanço de massa e energia.....	19
Tabela 3.16 Necessidades, consumos e custos.....	19
Tabela 4.1 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido	25
Tabela 4.2 Modo de Funcionamento	27
Tabela 4.3 Cálculo da Água de Reposição.....	28
Tabela 4.4 Cenário de Referência	28
Tabela 4.5 Solução Proposta	29
Tabela 4.6 Economias.....	29

Tabela 4.7 Comparação entre cenário de referência e solução proposta.....	30
Tabela 4.8 Economia	30
Tabela 4.9 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido	31
Tabela 4.10 Modo de funcionamento.....	32
Tabela 4.11 Cálculo da Água de Reposição.....	33
Tabela 4.12 Cenário de Referência	33
Tabela 4.13 Solução Proposta	33
Tabela 4.14 Economia	33
Tabela 4.15 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido	35
Tabela 4.16 Modo de funcionamento.....	36
Tabela 4.17 Cálculo da Água de Reposição.....	37
Tabela 4.18 Eletrobombas	38
Tabela 4.19 Cenário de Referência	38
Tabela 4.20 Solução Proposta - Torre	38
Tabela 4.21 Economia	38
Tabela 4.22 Solução Proposta - Água do Rio.....	38
Tabela 4.23 Economia	39
Tabela 4.24 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido	40
Tabela 4.25 Modo de Funcionamento	41
Tabela 4.26 Água de Reposição.....	42
Tabela 4.27 Cenário de referência.....	42
Tabela 4.28 Solução Proposta	42
Tabela 4.29 Economia	42
Tabela 4.30 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido	44
Tabela 4.31 Modo de funcionamento.....	45
Tabela 4.32 Água de reposição	45
Tabela 4.33 Cenário de referência.....	46
Tabela 4.34 Solução proposta	46
Tabela 4.35 Economia	46

Lista de Siglas e Acrónimos

CAE	Classificação Portuguesa das Atividades Económicas
EER	Energy Efficiency Ratio
ESE	Empresa de Serviços Energéticos
ESEER	European Seasonal Energy Efficiency Ratio
GEE	Gases Efeito Estufa
GES	Grande Edifício de Serviços
HAP	Hourly Analysis Program
PPEC	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia

Lista de Símbolos

A	Área	[m ²]
B	Perdas pelas purgas	[m ³ /h]
C	Ciclos de concentração	
cp	Calor Específico	[kJ/kg.°C]
D	Perdas por arrasto	[m ³ /h]
E	Perdas por evaporação	[m ³ /h]
h	Coeficiente de transferência de calor	[W/m ² K]
h _{fg}	Entalpia de mudança de fase	[kJ/kg]
k	Condutibilidade Térmica	[W/mK]
m	Caudal mássico	[kg/s]
M	Água de reposição	[m ³ /h]
ρ	Densidade	[kg/m ³]
Q	Potência Térmica	[W]
Q _v	Caudal Volumétrico	[m ³]
T _s	Temperatura de superfície	[°C]
ΔT	Diferença de temperatura	[°C]
ε	Emissividade	
σ	Constante de Stefan – Boltzmann	[W/m ² K ⁴]

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, em que no capítulo um é apresentada uma breve descrição da empresa onde foi possível obter os dados necessários através de relatórios de auditorias feitas às instalações estudadas, pois sendo o autor deste relatório colaborador desta mesma empresa optou-se por escolher um tema sobre produção de frio para refrigeração de processos industriais. É também efetuada uma descrição do trabalho realizado, sendo apresentados vários cenários, em várias instalações diferentes em empresas clientes. Por fim é feita uma descrição dos vários capítulos que compõem este relatório.

1.1. Descrição da empresa

A CCENERGIA – AUDITORIA E CONSULTORIA ENERGÉTICA, LDA fundada em 2004 é uma empresa de consultoria e serviços integrados de energia, com monitorização e entrega de resultados, atuando com foco na sustentabilidade e transição energética, através de uma equipa de gestão, engenharia e inovação. Atua principalmente nos vários sectores da indústria bem como nos grandes edifícios de serviços (GES) com foco na eficiência energética, na eletrificação, na descarbonização, no uso das energias renováveis, no armazenamento de energia e na analítica de dados [1].

1.2. Descrição geral do local e do trabalho efetuado

Por motivos de sigilo profissional, não serão revelados os nomes dos clientes onde estes trabalhos foram efetuados, sendo que cada cliente será designado por instalação 1, instalação 2 e assim sucessivamente. A tabela 1.1 mostra as respetivas instalações onde os trabalhos foram efetuados e a respetiva Classificação Portuguesa de Atividades Económicas (CAE) de cada instalação, bem como a sua designação.

Tabela 1.1 Identificação das instalações e respetivo CAE (adaptado de [2])

Instalação	Divisão	Subclasse	Designação
1	15		Indústria do couro e dos produtos do couro
		15111	Curtimenta e acabamento de peles sem pêlo
2	16		Indústrias da madeira e da cortiça e suas obras, excepto mobiliário; fabricação de obras de cestaria e de espartaria
		16230	Fabricação de outras obras de carpintaria para a construção
3	25		Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos
		25290	Fabricação de outros reservatórios e recipientes metálicos
4	27		Fabricação de equipamento eléctrico
		27122	Fabricação de material de distribuição e de controlo para instalações eléctricas de baixa tensão
		27320	Fabricação de outros fios e cabos eléctricos e electrónicos
5	29		Fabricação de veículos automóveis, reboques, semi-reboques e componentes para veículos automóveis
		29320	Fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis

Em cada instalação foi realizado um diagnóstico direcionado a cada sistema de refrigeração onde está incluído a produção de frio através de Chillers e Drycoolers, bem como à rede de distribuição de água arrefecida, sendo que este relatório se foca apenas nos equipamentos de produção de frio.

Estes diagnósticos direcionados pressupõem as seguintes etapas:

- Registo dos consumos elétricos
- Levantamento das características dos principais equipamentos e sistemas consumidores de energia
- Balanço de massa e energia (caudal de água, temperaturas de ida e retorno, pressão de ida e retorno, etc.)
- Medição de temperatura ambiente

1.3. Descrição do relatório

No capítulo dois é feita uma revisão bibliográfica sobre os temas apresentados neste trabalho, focando-se principalmente na gestão de energia térmica, na transferência de calor, na refrigeração industrial onde se aborda os principais equipamentos que serão abordados neste trabalho, e por fim, e de forma resumida apresenta-se a definição de auditoria energética e a sua descrição quanto aos dois tipos de auditoria. No capítulo três é efetuada uma descrição das instalações abordadas, bem como a caracterização dos respetivos sistemas de refrigeração das cinco instalações abordadas neste trabalho, onde será apresentado o esquema simplificado de cada sistema de refrigeração, as características do sistema de refrigeração, balanço de massa e energia e as necessidades térmicas, consumos e custos de cada instalação. No capítulo quatro será apresentada a solução otimizada para cada instalação, com recurso às torres de refrigeração, sendo que na instalação 3 será apresentada outra solução de arrefecimento em que será usada água proveniente de um rio junto à instalação. Será ainda apresentada outra solução apenas com a troca de chillers de uma instalação para outra. Em cada instalação e após serem apresentadas as respetivas soluções de melhoria no que diz respeito à implementação da torre de refrigeração, serão apresentados os impactos organizacionais esperados para cada instalação. No capítulo cinco serão apresentadas as propostas de melhoria e trabalhos futuros, bem como as considerações finais.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica que servirá de suporte à elaboração deste relatório, mas que também servirá de apoio a qualquer leitor que tenha interesse neste tema pois a sua leitura permitirá auxiliar na interpretação deste relatório. Esta revisão bibliográfica pretende de forma genérica abordar os vários temas que serão alvo de estudo neste relatório, abordando temas como a gestão de energia térmica, a refrigeração industrial e quais os equipamentos principais que fazem parte, e por fim a importância da realização de auditorias energéticas na indústria bem como os tipos de auditorias energéticas.

2.1. Gestão da Energia Térmica

Antes de se passar ao tema da gestão de energia e qual a sua importância para a indústria, é necessário tentar definir alguns conceitos, como a definição de energia e quais as formas em que esta se pode apresentar. Existem inúmeras definições de energia, sendo que se poderá dizer que a energia poderá ser definida como a capacidade que um determinado sistema tem em produzir trabalho ou ceder calor. Já esta poderá apresentar-se de várias formas, tais como, energia mecânica, energia térmica, energia de ligação química, energia de ligação física, energia de radiação eletromagnética e energia elétrica [3].

Este projeto está focado principalmente na energia térmica pelo que se poderá definir a energia térmica como *“uma forma de energia que está diretamente associada à temperatura absoluta de um sistema, e corresponde classicamente à soma das energias cinéticas microscópicas que suas partículas constituintes possuem em virtude dos seus movimentos de translação, vibração e rotação”* [4].

A gestão da energia térmica tem uma grande importância na indústria, pois existe cada vez mais a necessidade de se melhorar a eficiência energética na indústria, não apenas por uma questão de redução de custos, mas também para reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE). A energia térmica é bastante usada em vários processos industriais tais como processos de aquecimento e arrefecimento, e também na produção de energia elétrica. Deste modo é extremamente importante fazer uma boa gestão da energia térmica, pois só assim se consegue alcançar a melhoria da eficiência energética dos vários processos, o que levará consequentemente a reduzir as emissões de GEE e a uma redução de custos com a energia, o que tornará as empresas mais sustentáveis.

2.1.1. Transferência de calor

De acordo com [5] *“o calor é definido como sendo a forma de transferência de energia através da fronteira de um sistema, numa dada temperatura, a um outro sistema, que apresenta uma temperatura inferior, em virtude da diferença entre as temperaturas dos dois sistemas.”*

“O calor é transferido do sistema com temperatura superior ao sistema que apresenta temperatura inferior e a transferência de calor ocorre unicamente devido à diferença entre as temperaturas dos dois sistemas.”

Existem três métodos de transferência de calor, sendo eles a condução, em que esta transferência se dá entre átomos e moléculas adjacentes, a convecção, em que a transferência se efetua devido ao movimento dos átomos e das moléculas, e por fim a radiação, em que esta transferência é efetuada através de radiação eletromagnética, não necessitando de um meio para se propagar.

De acordo com as equações 2.1, 2.2 e 2.3 pode-se calcular a taxa de transferência de calor por condução, convecção e radiação respectivamente.

A equação 2.1 representa a taxa de transferência de calor por condução e é função da diferença de temperatura e também da habilidade da substância realizar a transferência de energia. A taxa de transferência de calor por condução é proporcional à condutibilidade térmica k , a área total A , e ao gradiente de temperatura dx . O sinal negativo indica o sentido da transferência de calor que vai da temperatura mais alta para a temperatura mais baixa. A equação 2.2 representa a transferência de calor por convecção, e é correlacionado pela lei de refrigeração de Newton, onde as propriedades de transferência estão agrupadas no coeficiente de calor por convecção h . Este coeficiente é função das propriedades físicas do meio. A equação 2.3 apresenta a emissão de calor por radiação, onde T_s é a temperatura da superfície e o sigma (σ) é a constante de Stefan-Boltzmann, e o ε representa a emissividade que depende do tipo de superfície do material [5].

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (2.1)$$

$$Q = h A \Delta T \quad [W] \quad (2.2)$$

$$Q = \varepsilon A \sigma T \quad [W] \quad (2.3)$$

2.1.2. Permutadores de calor

De acordo com [6] os permutadores de calor *“são equipamentos de facilitam a transferência de calor entre dois fluidos a temperaturas diferentes, evitando a mistura deles. A transferência de calor num permutador, geralmente, envolve convecção em cada fluido e condução através da parede que separa os dois fluidos.”*

Existem 2 tipos de classificação quanto à direção de escoamento dos fluidos, co-corrente, em que os fluidos se movem no mesmo sentido, ou seja, ambos os fluidos entram e saem pelo mesmo lado do permutador, e contra-corrente, em que os fluidos se movem em sentidos diferentes, e entram por extremidades opostas do permutador [6]. As figuras 2.1 e 2.2 mostram respectivamente um esquema de um permutador em co-corrente e em contra-corrente.



Figura 2.1 Permutador em co-corrente (adaptado de [6])



Figura 2.2 Permutador em contra-corrente (adaptado de [6])

A potência trocada pelo fluido térmico pode ser calculada através da equação 2.4 se apenas existir mudança de fase, onde o Q representa a potência térmica trocada, m representa o caudal mássico, e o h_{fg} a diferença de entalpias.

$$Q = m h_{fg} \quad [W] \quad (2.4)$$

Se não existir mudança de fase então a potência é calculada através da equação 2.5, onde o c_p representa o calor específico, e o ΔT a diferença de temperatura.

$$Q = m c_p (\Delta T) \quad [W] \quad (2.5)$$

2.2. Refrigeração Industrial

A refrigeração industrial desempenha um papel fundamental em vários tipos de indústria, desse modo é necessário garantir a eficiência dos processos de refrigeração.

Os sistemas de refrigeração contribuem com uma parte significativa do consumo energético em alguns tipos de indústria, e é nesse sentido que terá de ser garantido uma otimização destes mesmos processos, de modo que se possa reduzir o consumo de energia elétrica necessária. Deste modo é fundamental analisar os equipamentos que fazem parte de um sistema de refrigeração industrial, onde neste caso, será feita uma breve introdução aos chillers, dry-coolers e torres de refrigeração.

2.2.1. Chillers

Os chillers utilizam um ciclo de compressão de vapor para retirar calor de um meio a uma temperatura mais baixa, para um meio a uma temperatura mais elevada. Para se entender melhor este funcionamento define-se a seguir o que é o ciclo frigorífico.

O ciclo frigorífico é composto principalmente por 4 componentes, o compressor, o condensador, o evaporador, e a válvula de expansão. Por fim faz também parte deste sistema o fluido frigorígeno, em que este consegue mudar de fase do estado líquido para o estado gasoso.

A figura 2.3 mostra um ciclo de compressão de vapor.

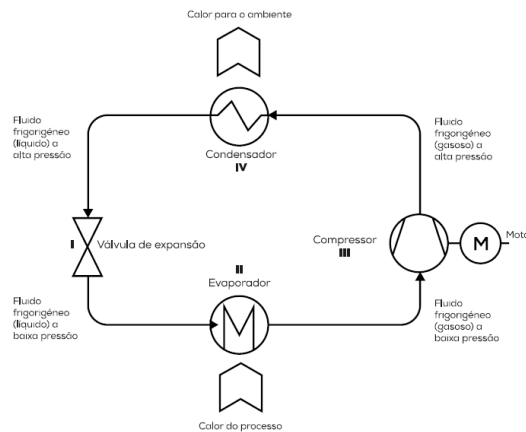


Figura 2.3 Ciclo básico de compressão de vapor (adaptado de [7])

2.2.2. Dry-coolers

Os dry-coolers também conhecidos como refrigeradores a ar, utilizam permutadores de calor a ar para arrefecer os fluidos nos vários processos industriais, onde este arrefecimento é efetuado através de ventiladores que utilizam a temperatura ambiente para arrefecer os respetivos fluidos. A figura 2.4 mostra o esquema de funcionamento de um dry-cooler.

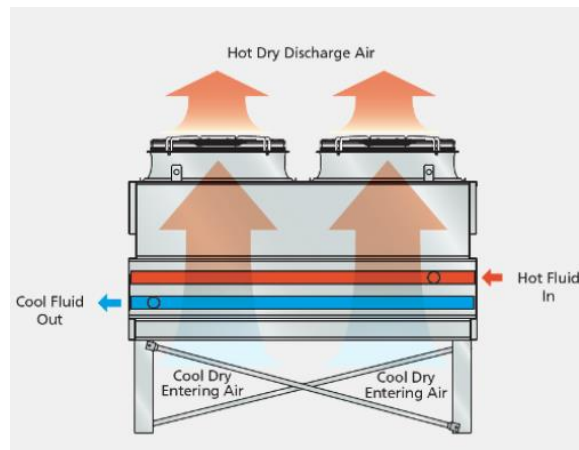


Figura 2.4 Esquema de um dry-cooler (adaptado de [8])

2.2.3. Torres de Refrigeração

Existem principalmente três tipos de torres de arrefecimento, evaporativas, híbridas e secas. De acordo com o presente projeto, será abordado a torre do tipo evaporativa.

As torres de arrefecimento evaporativo são equipamentos que permitem arrefecer a água de processos industriais, por transferência de calor para o meio ambiente, através de contacto direto entre a água de processo que cai por gravidade através de uns chuveiros no topo da torre e o ar que entra, quer por ação natural ou mecânica por recurso a ventiladores, fazendo com que parte desta água seja evaporada. O ar que entra na torre faz com que a água que saia dos chuveiros seja arrefecida e cai para um tanque onde será novamente usada no processo de refrigeração. A água que, entretanto, evaporou terá de ser repostada, ao qual se dá o nome de água de compensação [9].

As perdas de água numa torre de refrigeração não deveriam ser superiores a 2 % do respetivo caudal de circulação, sendo que estas perdas se devem por vários fatores, tais como as perdas por evaporação, que é a quantidade de água perdida para o ambiente em função da quantidade de água evaporada, as perdas por arrastamento que não deverão ser superiores a 0.1 % do caudal de circulação, e por fim as perdas pelas purgas necessárias para evitar a concentração excessiva de sais que aumentam a dureza da água [10].

É necessário também definir o numero de ciclos de concentração para se calcular a água de reposição, sendo que estes ciclos de concentração indicam a relação que existe de impurezas na água que está em circulação em relação à água de reposição, ou seja, um ciclo de concentração de 2 indica que a água de circulação tem duas vezes mais concentração de impurezas do que a concentração de impurezas da água que é repostada [10].

Em relação ao dimensionamento da torre há que ter em conta vários aspetos, sendo que para o trabalho a ser desenvolvido mais à frente será importante esclarecer alguns termos como temperatura de bolbo húmido, temperatura de bolbo seco, gama, também conhecido como “range” e aproximação “approach”

De acordo com [11] pode-se definir temperatura de bolbo húmido como “*um tipo de medida de temperatura, lida por um termómetro coberto com um pano embebido em água (termómetro de bolbo húmido) sobre o qual o ar é passado, que reflete as propriedades físicas de um sistema constituído pela evaporação da água no ar. Com 100% de humidade relativa, a temperatura do bolbo húmido é igual à temperatura do ar*”.

A temperatura de bolbo seco diz respeito à temperatura do ar medida com qualquer termómetro.

A gama é a diferença entre a temperatura de retorno para a torre da água e a temperatura de saída da água, sendo que a aproximação é a diferença entre a temperatura de bolbo húmido e a temperatura de saída da água da torre [12].

O esquema da figura 2.5 mostra o funcionamento de uma torre de refrigeração do tipo evaporativa.

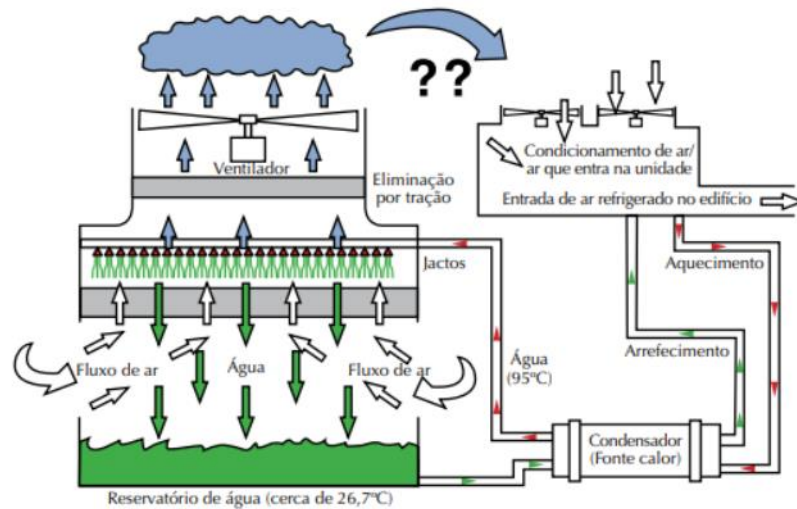


Figura 2.5 - Esquema funcionamento torre evaporativa (adaptado de [13])

2.3. Auditoria Energética

De acordo com [14] “a auditoria energética é a ferramenta que permite identificar onde, como e quando, se consome energia numa instalação industrial, caracterizando os fluxos energéticos e esclarecendo como é transformada a energia e os custos associados.”

Existem dois tipos de auditoria energética, uma auditoria energética preliminar e uma auditoria energética detalhada.

A auditoria energética preliminar consiste de forma simples e rápida e através de uma visita à instalação observar e identificar falhas e numa recolha de dados suscetíveis de fornecer alguma informação sobre consumos específicos de energia, onde eventualmente poderão ser complementados através de algumas medições pontuais. Uma auditoria detalhada consiste numa caracterização da instalação em termos energéticos, analisando todas as formas de energia dos vários processos industriais, incluindo os respetivos cálculos de redução de custos de energia, apresentando um estudo de viabilidade económica para as medidas de melhoria identificadas na auditoria [14].

Capítulo 3

Caracterização do sistema de refrigeração

Este capítulo apresenta em geral para cada instalação uma breve descrição da mesma, e em específico a caracterização do sistema de refrigeração, onde é apresentado o esquema simplificado do sistema de refrigeração, levantamento das características dos equipamentos consumidores de energia, o respetivo balanço de massa e energia, e também as necessidades de arrefecimento do processo, consumos e custos associados ao sistema de refrigeração.

3.1. Instalação 1

Esta empresa identificada como instalação 1 dedica-se à atividade de curtimenta e acabamento de peles sem pelo. O regime normal de funcionamento da instalação é de um turno diário das 08h00 às 18h00 durante 5 dias da semana, 260 dias por ano, com um total de 2600 horas, e conta com uma área coberta de cerca de 21937 m². Esta instalação apresenta um consumo anual de energia elétrica de 5.407.038 kWh.

3.1.1. Esquema simplificado do sistema de refrigeração

A figura 3.1 mostra o esquema simplificado do sistema de refrigeração, onde foram medidas as temperaturas de entrada e saída do Chiller, potencia elétrica e caudal. A temperatura máxima de saída de água do chiller é de 20.8 °C.

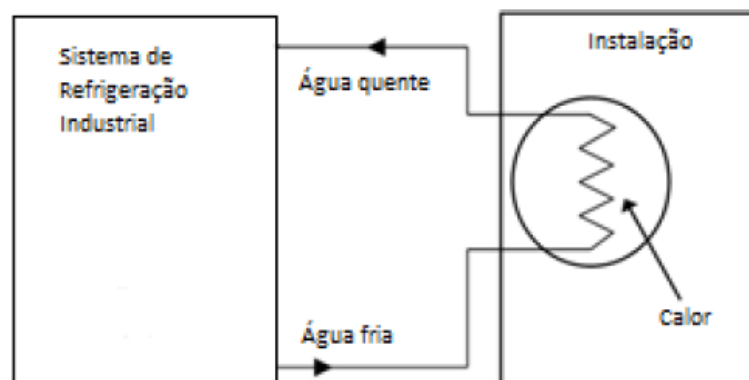


Figura 3.1 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 1)

3.1.2. Características do Chiller

A tabela 3.1 mostra as características do Chiller da respetiva instalação. **Ver anexo 1.1.**

Tabela 3.1 Características do Chiller

Referência	Chiller1
Marca	Carrier
Modelo	30RQP 520
Capacidade de arrefecimento (kWt)	518
Caudal de água (l/s)	12.5
Potência elétrica (kW)	186
Refrigerante	R410A
Temperatura de água à entrada (°C)	16.9
Temperatura da água à saída (°C)	7

3.1.3. Balanço de massa e energia

Tendo como base a medição efetuada foi possível obter as temperaturas de entrada e saída de água, o caudal, e a potência elétrica. **Ver anexo 1.2** Por fim foi calculada a potência de arrefecimento, o caudal mássico e o Energy Efficiency Ratio (EER) através das equações 2.5, 3.1 e 3.2.

A equação 3.1 apresenta o caudal mássico representado por m , o caudal volumétrico representado por Q_v e o ρ que representa a massa volúmica.

A equação 3.2 representa o EER, onde a potência térmica é representada por kWt, e a potência elétrica é representada por kW_e.

$$m = Q_v * \rho \quad [\text{kg/s}] \quad (3.1)$$

$$EER = \frac{Q_t}{P_e} \quad (3.2)$$

Foi usado por defeito o valor de massa volúmica da água de 998.6 kg/m³ e para o calor específico foi usado 4.186 kJ/kg.°C. A tabela 3.2 apresenta os respetivos cálculos efetuados, bem como as temperaturas de entrada e saída da água, o caudal e a potência elétrica.

Tabela 3.2 Balanço de massa e energia

Valores médios registados	Chiller1
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	20,68 (14,8 / 26,6)
Temperatura de entrada água (°C)	15,1
Temperatura de saída água (°C)	8,9
ΔT (°C)	6,2
Caudal de água (l/s)	10,9
Capacidade de Arrefecimento (kW)	283
Potência elétrica média (kW)	146
EER médio registado	1,9

3.1.4. Necessidades, consumos e custos

Tendo em conta o regime normal de funcionamento da instalação que é de um turno diário das 08h00 às 18h00 durante 5 dias por semana, 260 dias por ano, num total de 2600 horas por ano, apresenta-se na tabela 3.3 as necessidades de arrefecimento, os consumos de energia elétrica e o respetivo custo por ano. Foi considerado um custo médio de energia elétrica de 0.15 €/kWh para todas as instalações para permitir a sua comparação.

Tabela 3.3 Necessidades, consumos e custos

Energia Térmica	Energia Elétrica	
kWh/ano	kWh/ano	€/ano
730 938	380 718	57 108

3.2. Instalação 2

Esta empresa identificada como instalação 2 dedica-se à fabricação de outras obras de carpintaria para a construção. O regime normal de funcionamento da instalação é de três turnos diários, 268 dias por ano, com um total de 6432 horas, e conta com uma área coberta de cerca de 31 700 m². Esta instalação apresenta um consumo anual de energia elétrica de 12 123 000 kWh.

3.2.1. Esquema simplificado do sistema de refrigeração

A figura 3.2 mostra o esquema simplificado do sistema de refrigeração, onde foram medidas as temperaturas de entrada e saída do Chiller, potencia elétrica e caudal. A temperatura máxima de saída de água do chiller é de 19.5 °C.



Figura 3.2 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 2)

3.2.2. Características do Chiller

Tendo em conta a informação prestada pelo cliente e com base na informação recolhida apenas não foi possível obter alguma informação das características nominais do chiller, tais

como a marca, modelo e caudal nominal. A tabela 3.4 mostra as características do chiller da respetiva instalação.

Tabela 3.4 Características do Chiller

Referência	Chiller
Capacidade de arrefecimento (kWt)	1500
Potência elétrica (kW)	640
Refrigerante	R134a
Temperatura de água à entrada (°C)	20
Temperatura da água à saída (°C)	15

3.2.3. Balanço de massa e energia

Tendo como base a medição efetuada foi possível obter as temperaturas de entrada e saída de água, o caudal, e a potência elétrica. **Ver anexo 1.3.** Por fim foram calculados o caudal mássico, a potência de arrefecimento e o Energy Efficiency Ratio (EER) através das equações referidas anteriormente como (3.1), (3.2) e (3.3) respetivamente.

Foi usado por defeito o valor de massa volumica da água de 998.6 kg/m³ e para o calor específico foi usado 4.186 kJ/kg.°C. A tabela 3.5 apresenta os respetivos cálculos efetuados, bem como as temperaturas de entrada e saída da água, o caudal e a potência elétrica.

Tabela 3.5 Balanço de massa e energia

Valores médios registados	Chiller
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	19,26 (14,9 / 23,6)
Tentrada água (°C)	19,4
Tsaída água (°C)	13,9
ΔT (°C)	5,5
Caudal água (l/s)	26,9
Capacidade de Arrefecimento (kW)	615
Potência elétrica média (kW)	291
EER médio registado	2,1

3.2.4. Necessidades, consumos e custos

Tendo em conta o regime normal de funcionamento da instalação que é de três turnos diários, 268 dias por ano, num total de 6432 horas, apresenta-se na tabela 3.6 as necessidades de arrefecimento, os consumos de energia elétrica e o respetivo custo por ano. Foi considerado um custo médio de energia elétrica de 0.15 €/kWh.

Tabela 3.6 Necessidades, consumos e custos

Energia Térmica	Energia Elétrica	
	kWh/ano	€/ano
3 953 672	1 871 208	280 681

3.3. Instalação 3

Esta empresa identificada como instalação 3 dedica-se à fabricação de outros reservatórios e recipientes metálicos. O regime normal de funcionamento da instalação é de três turnos diários, 280 dias por ano, com um total de 6 720 horas, e conta com uma área coberta de cerca de 22 640 m². Esta instalação apresenta um consumo anual de energia elétrica de 16 315 337 kWh.

3.3.1. Esquema do sistema de refrigeração

Este sistema de refrigeração é composto por um grupo de 12 chillers ar-água que servem para arrefecer o óleo das prensas hidráulicas da instalação. A reposição de água é feita através de um reservatório de 864 m³, sendo esta água captada de um rio que está nas proximidades da instalação. A figura 3.3 mostra o esquema de um dos grupos de chillers que efetuam o respetivo arrefecimento do óleo, sendo possível observar 2 chillers de 76 kWt e 1 chiller de 24 kWt, onde estes são abastecidos por água da rede, servindo as respetivas instalações. A água de retorno da instalação é encaminhada para o esgoto sendo que os restantes esquemas estão presentes nos **Anexo 1.4**. A temperatura máxima de saída de água dos chillers é de 21.3 °C.

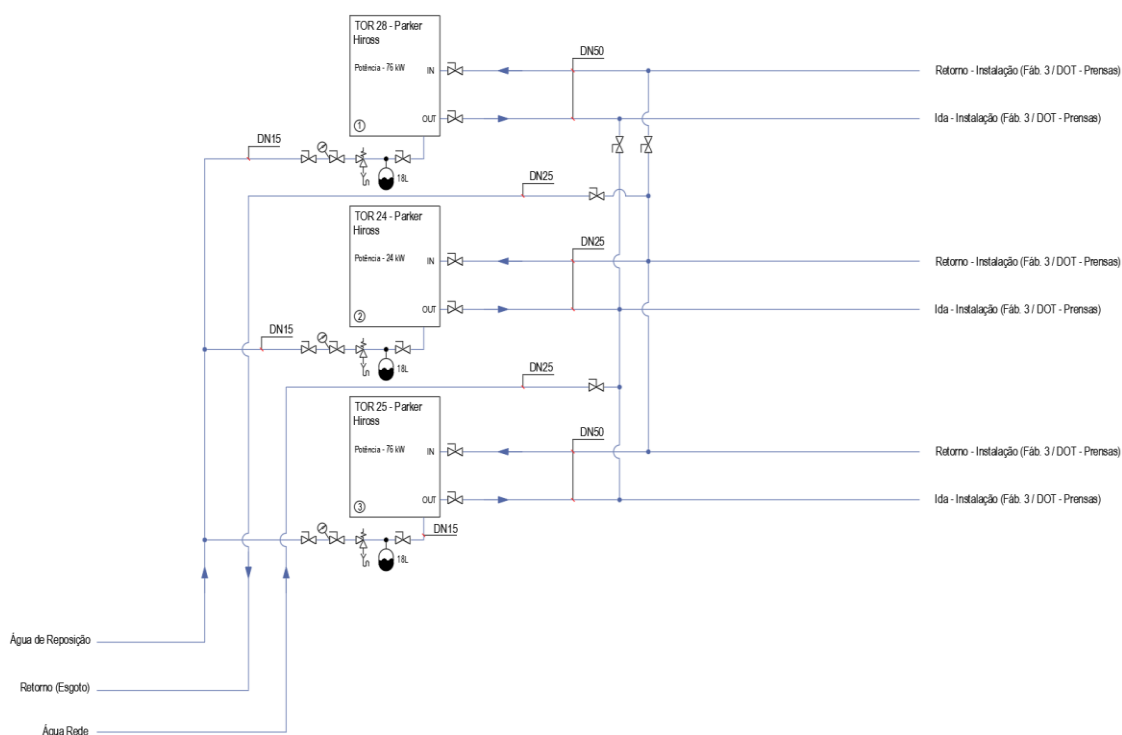


Figura 3.3 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 3)

3.3.2. Características dos Chillers

A tabela 3.7 mostra as características dos Chillers da respetiva instalação. **Ver anexo 1.5**

Tabela 3.7 Características dos Chillers

Referência	Chiller (TOR 9/11/14)	Chiller (TOR 17/18/19/20/21/22)	Chiller (TOR 25/28)	Chiller (TOR 24)
Marca	Donaldson Ultrafilter	Lauda Ultracool	Parker Hiross	Parker Hiross
Modelo	Ultracool 0180 SP	UC-0180 SP	ICE 076 A	ICEP 024
Capacidade de arrefecimento (kWt)	21,8	22,0	76,0	23,6
Caudal de água (l/s)	1,0	1,0	3,3	0,8
Potência elétrica (kW)	6,3	6,6	15,4	5,4
Refrigerante	R134a	R134a	R407C	R407C
Temperatura de água à entrada (°C)	30,0	25,0	20,0	20,0
Temperatura da água à saída (°C)	20,0	-5,0	15,0	15,0

3.3.3. Balanço de massa e energia

Tendo como base a medição efetuada foi possível obter as temperaturas de entrada e saída de água, o caudal, e a potência elétrica. **Ver anexo 1.6.** Por fim foram calculados o caudal mássico, a potência de arrefecimento e o Energy Efficiency Ratio (EER) através das equações referidas anteriormente como (3.1), (3.2) e (3.3) respetivamente.

Foi usado por defeito o valor de massa volúmica da água de 998.6 kg/m³ e para o calor específico foi usado 4.186 kJ/kg.°C. A tabela 3.8 e 3.9 apresentam respetivamente os cálculos efetuados para os vários chillers, bem como as temperaturas de entrada e saída da água, o caudal e a potência elétrica.

Tabela 3.8 Balanço de massa e energia (9/11/14/17/18/19)

Valores médios registados	9	11	14	17	18	19
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)
Tentrada água (°C)	22,6	21,5	25,5	14,9	15,7	17,8
Tsaída água (°C)	18,8	14	21,5	12,9	12,9	15,0
ΔT (°C)	3,8	7,5	4	2,0	2,9	2,8
Caudal água (l/s)	1,2	0,2	0,4	0,9	0,9	0,9
Capacidade de Arrefecimento (kW)	18,6	7,4	6,5	7,8	11,0	10,9
Potência elétrica média (kW)	5,7	7,8	6,6	5,4	4,3	6,2
EER médio registado	3,2	0,9	1,0	1,5	2,5	1,8

Tabela 3.9 Balanço de massa e energia (20/21/22/24/25/28)

Valores médios registados	20	21	22	24	25	28
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)	12,48 (10 / 16,5)
Tentrada água (°C)	20,5	19,0	21,0	32,5	33,3	18,9
Tsaída água (°C)	18,5	18,5	19,0	27,0	27,3	13,3
ΔT (°C)	2,0	0,5	2,0	5,5	6,0	5,7
Caudal água (l/s)	0,6	0,6	0,6	0,8	2,6	2,6
Capacidade de Arrefecimento (kW)	5,1	1,3	5,1	17,9	66,3	62,5
Potência elétrica média (kW)	4,5	3,8	4,5	5,7	15,1	14,4
EER médio registado	1,1	0,3	1,1	3,2	4,4	4,3

3.3.4. Necessidades, consumos e custos

Tendo em conta o regime normal de funcionamento da instalação que é de três turnos diários, 280 dias por ano, num total de 6720 horas, apresenta-se na tabela 3.10 as necessidades

de arrefecimento, os consumos de energia elétrica e o respetivo custo por ano. Foi considerado um custo médio de energia elétrica de 0.15 €/kWh.

Tabela 3.10 Necessidades, consumos e custos

Energia Térmica	Energia Elétrica	
	kWh/ano	€/ano
1 480 689	564 327	84 649

3.4. Instalação 4

Esta empresa identificada como instalação 4 dedica-se à fabricação de material de distribuição e de controlo para instalações elétricas de baixa tensão, e à fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos. O regime normal de funcionamento da instalação é de três turnos diários, 280 dias por ano, com um total de 6720 horas, sendo que destas 6720 horas, 2496 trabalham a 50%, e conta com uma área coberta de cerca de 44.000 m². Esta instalação apresenta um consumo anual de energia elétrica de 18.708.752 kWh.

3.4.1. Esquema do sistema de refrigeração

Este sistema de refrigeração é composto por um grupo de dois chillers de condensação a ar e 1 dry-cooler que servem para arrefecer a zona dos moldes. A figura 3.4 mostra o esquema do sistema de arrefecimento onde se pode observar dois chillers, um com uma potência térmica de 500 kWt, e o outro de 310 kWt, 1 dry-cooler com uma potência de 340 kWt, bem como 2 depósitos de acumulação de água. A temperatura máxima de saída de água dos chillers é de 21.7 °C.

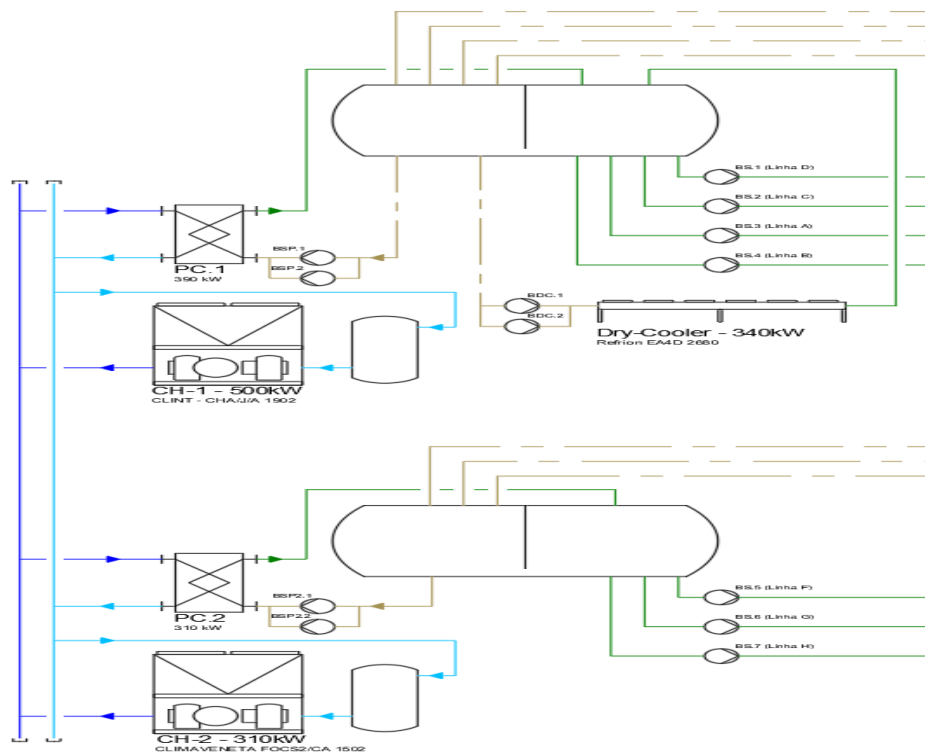


Figura 3.4 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 4)

3.4.2. Características do sistema de refrigeração

Tendo em conta a informação prestada pelo cliente e com base na informação recolhida apenas foi possível obter alguma informação das características nominais do dry-cooler como a marca, modelo, potência térmica e potência elétrica. Mesmo com a marca e modelo não foi possível obter mais informação. A tabela 3.11 mostra as características nominais dos chillers e do dry-cooler. **Ver Anexo 1.7**

Tabela 3.11 Características do sistema de refrigeração

Referência	Chiller1	Chiller2	Drycooler
Marca	Clint	Climaveneta	Refrion
Modelo	CHA/J/A 1902	FOCS2/CA 1502	EA4D 2680
Capacidade de arrefecimento (kWt)	517	310	340
Caudal de água (l/s)	20,7	14,9	
Perda de carga circuito hidráulico (kPa)	46,8	24,6	
Potência elétrica (kW)	137,0	97,8	18,7
Refrigerante	R513A	R134a	
EER	3,8	3,2	
ESEER	4,2	4,0	
Temperatura de água à entrada (°C)	20	12	
Temperatura da água à saída (°C)	14	7	
Ano de fabricação	2018	2014	

3.4.3. Balanço de massa e energia

Tendo como base a medição efetuada foi possível obter as temperaturas de entrada e saída de água, o caudal, e a potência elétrica. **Ver anexo 1.8.** Por fim foram calculados o caudal mássico, a potência de arrefecimento e o Energy Efficiency Ratio (EER) através das equações referidas anteriormente como (3.1), (3.2) e (3.3) respetivamente.

Foi usado por defeito o valor de massa volumica da água de 998.6 kg/m³ e para o calor específico foi usado 4.186 kJ/kg.°C. A tabela 3.12 apresenta os cálculos efetuados para o sistema de refrigeração, bem como as temperaturas de entrada e saída da água, o caudal e a potência elétrica.

Tabela 3.12 Balanço de massa e energia

Valores médios registados	Chiller1	Chiller2	Drycooler
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	21,1 (18,3 / 25,6)	21,1 (18,3 / 25,6)	21,1 (18,3 / 25,6)
Tentrada água (°C)	17,9	17,4	21,2
Tsaída água (°C)	12,8	12,6	21,1
ΔT (°C)	5,1	4,7	0,1
Caudal água (l/s)	13	8	20
Capacidade de Arrefecimento (kW)	269	162	10
Potência elétrica média (kW)	94	26	2
EER médio registado	2,9	6,2	5,0

3.4.4. Necessidades, consumos e custos

Tendo em conta o regime normal de funcionamento da instalação que é de três turnos diários, 280 dias por ano, num total de 6720 horas, sendo que destas 6720 horas, 2496 trabalham a 50%, apresenta-se na tabela 3.13 as necessidades de arrefecimento, os consumos de energia elétrica e o respetivo custo por ano. Foi considerado um custo médio de energia elétrica de 0.15 €/kWh.

Tabela 3.13 Necessidades, consumos e custos

Energia Térmica	Energia Elétrica	
	kWh/ano	€/ano
2 416 945	664 997	99 750

3.5. Instalação 5

Esta empresa identificada como instalação 5 dedica-se à fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis. O regime normal de funcionamento da instalação é de três turnos diários, 245 dias por ano, com um total de 5880 horas, e conta com uma área coberta de cerca de 21 800 m². Esta instalação apresenta um consumo anual de energia elétrica de 13 796 978 kWh.

3.5.1. Esquema do sistema de refrigeração

Este sistema de refrigeração é composto por um grupo de 5 chillers ar-água que servem para refrigerar as máquinas da zona de soldadura, os tirístores, a zona do processo de pintura, servindo também dois equipamentos de climatização. A figura 3.5 mostra o esquema de arrefecimento das respetivas áreas. A temperatura máxima de saída de água dos chillers é de 20.8 °C.

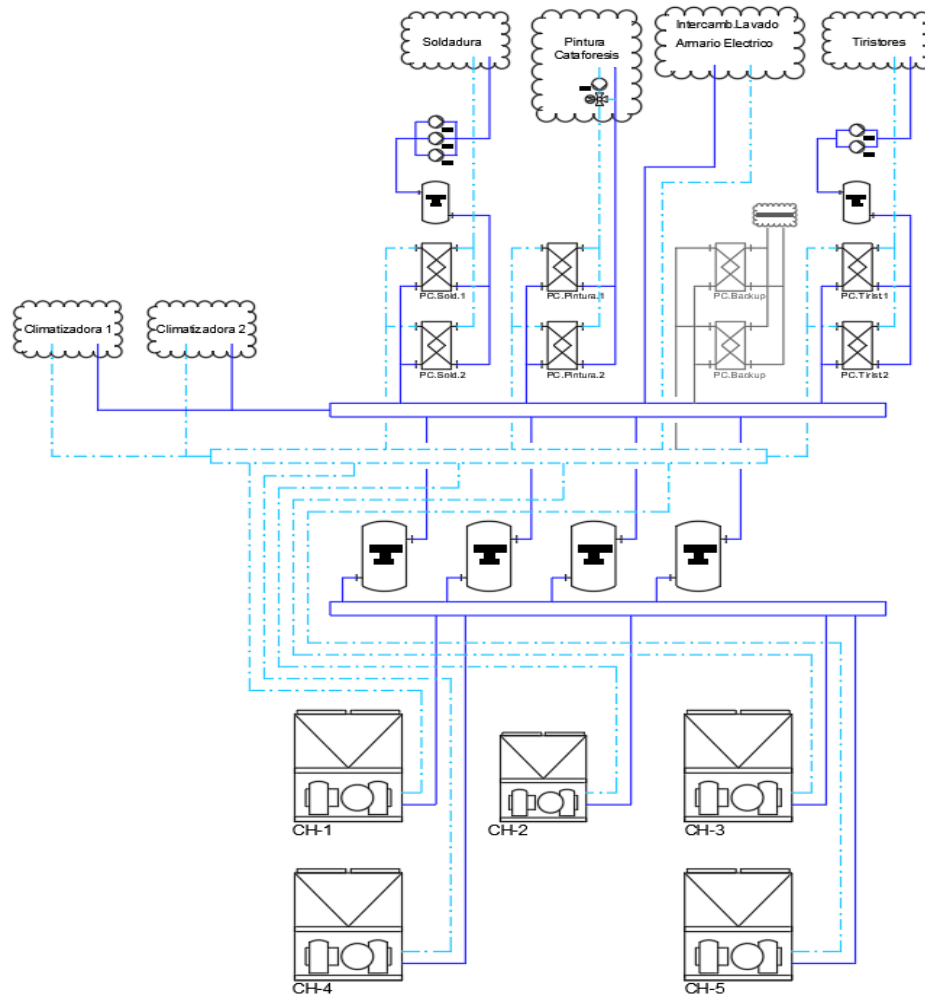


Figura 3.5 Esquema do sistema de refrigeração (Instalação 5)

3.5.2. Características do sistema de refrigeração

A tabela 3.14 mostra as características nominais dos chillers.

Tabela 3.14 Características dos Chillers

Referência	Chiller 1	Chiller 2	Chiller 3	Chiller 4	Chiller 5
Marca	Carrier	Carrier	Carrier	Carrier	Carrier
Modelo	30RA-240-B1013-PEE	30RA-160	30RH-240-BQ147-PEE	30RA-240-BQ147-PEE	30RA-240-B0323-PEE
Capacidade de arrefecimento (kW)	245,00	157,00	210,00	245,00	245,00
Caudal de água (l/s)	23,40	11,90	23,40	23,40	23,40
Perda de carga circuito hidráulico (kPa)	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Caudal de ar (m³/s)	5807,78	3222,22	5807,78	5807,78	5807,78
Refrigerante	R-407C	R-407C	R-407C	R-407C	R-407C
EER	1,86	1,88	1,86	1,86	1,86
ESEER	2,42	2,44	2,42	2,42	2,42
Potência elétrica total (kW)	131,50	83,70	131,50	131,50	131,50
Temperatura de água à entrada (°C)	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Temperatura da água à saída (°C)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00

3.5.3. Balanço de massa e energia

Tendo como base a medição efetuada foi possível obter as temperaturas de entrada e saída de água, o caudal, e a potência elétrica. **Ver anexo 1.9.** Por fim foram calculados o caudal mássico, a potência de arrefecimento e o Energy Efficiency Ratio (EER) através das equações referidas anteriormente como (3.1), (3.2) e (3.3) respetivamente.

Foi usado por defeito o valor de massa volumica da água de 998.6 kg/m³ e para o calor específico foi usado 4.186 kJ/kg.°C. A tabela 3.15 apresenta os cálculos efetuados para o sistema de refrigeração, bem como as temperaturas de entrada e saída da água, o caudal e a potência elétrica.

Tabela 3.15 Balanço de massa e energia

Valores médios registados	Chiller 1	Chiller 2	Chiller 3	Chiller 4	Chiller 5
Temperatura ambiente (°C) (méd (min./máx.))	17,27 (5,9 / 31,5)	17,27 (5,9 / 31,5)	17,27 (5,9 / 31,5)	17,27 (5,9 / 31,5)	17,27 (5,9 / 31,5)
Tentrada água (°C)	8,1	9,9	7,6	8,1	7,4
Tsaída água (°C)	7,2	8,4	6,1	7,2	6,1
ΔT (°C)	0,9	1,5	1,5	0,9	1,3
Caudal água (l/s)	11,4	4,9	16,4	15,6	15,4
Potência térmica média (kW)	43,1	29,9	103,6	61,8	81,6
Potência elétrica média (kW)	17,1	13,6	37,4	32,4	18,7
EER médio registado	2,5	2,2	2,8	1,9	4,4

3.5.4. Necessidades, consumos e custos

Tendo em conta o regime normal de funcionamento da instalação que é de três turnos diários, 245 dias por ano, num total de 5580 horas, apresenta-se na tabela 3.16 as necessidades de arrefecimento, os consumos de energia elétrica e o respetivo custo por ano. Foi considerado um custo médio de energia elétrica de 0.15 €/kWh.

Tabela 3.16 Necessidades, consumos e custos

Energia Térmica	Energia Elétrica	
	kWh/ano	€/ano
1 882 418	700 700	105 105

3.6. Síntese do capítulo 3

Este capítulo serviu para de forma sintetizada apresentar uma descrição geral das várias instalações mencionadas, identificando e caracterizando para cada instalação os equipamentos de produção de frio tais como chillers e dry-coolers. Foi apresentado as características nominais de cada equipamento, bem como as medições efetuadas em regime de funcionamento, tendo em conta que os valores apresentados, são valores médios obtidos de inúmeras leituras efetuadas durante vários dias, ou noutros casos em várias horas quando não foi possível uma amostra maior. De seguida apresenta-se na figura 3.6 um gráfico que compara o consumo global de energia elétrica de cada instalação com o consumo necessário dos equipamentos de refrigeração, nomeadamente os equipamentos de produção de frio, excluindo equipamentos de bombagem e circulação entre outros que fazem parte de um sistema de refrigeração.

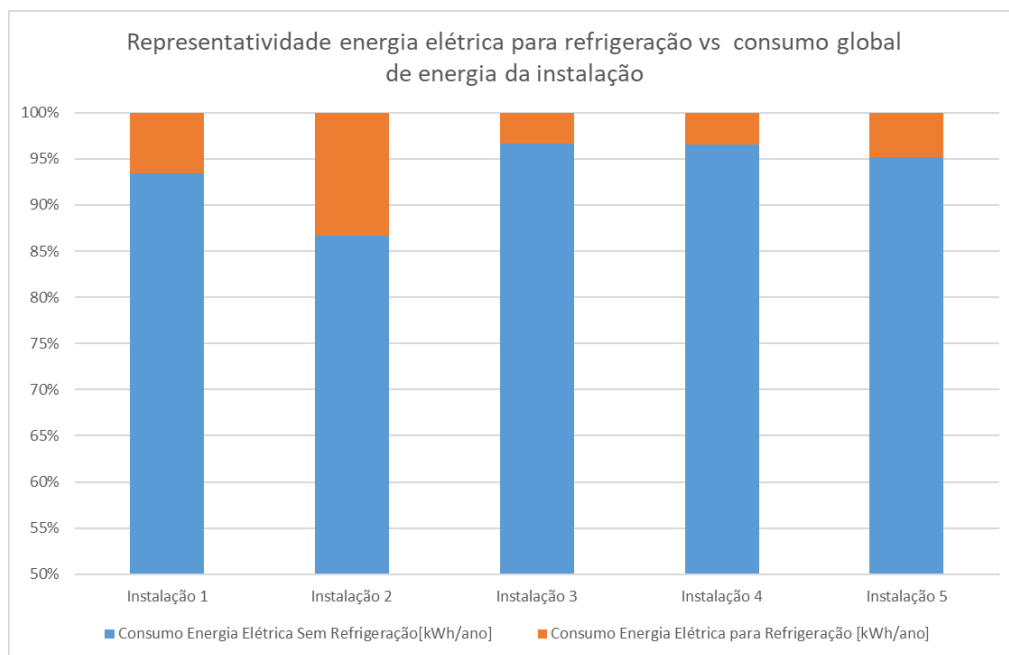


Figura 3.6 Comparação energia elétrica refrigeração vs global da instalação

Conforme se pode verificar através do gráfico da figura 3.6 o sector onde a refrigeração tem mais consumo face ao consumo global da instalação é o sector das indústrias da madeira e da cortiça com cerca de 15.4 %, já em oposição o sector da fabricação de produtos metálicos com cerca de 3.4 % apresenta o menor consumo de refrigeração face ao consumo global da instalação.

O gráfico da figura 3.7 representa o custo em euros por cada kWh.

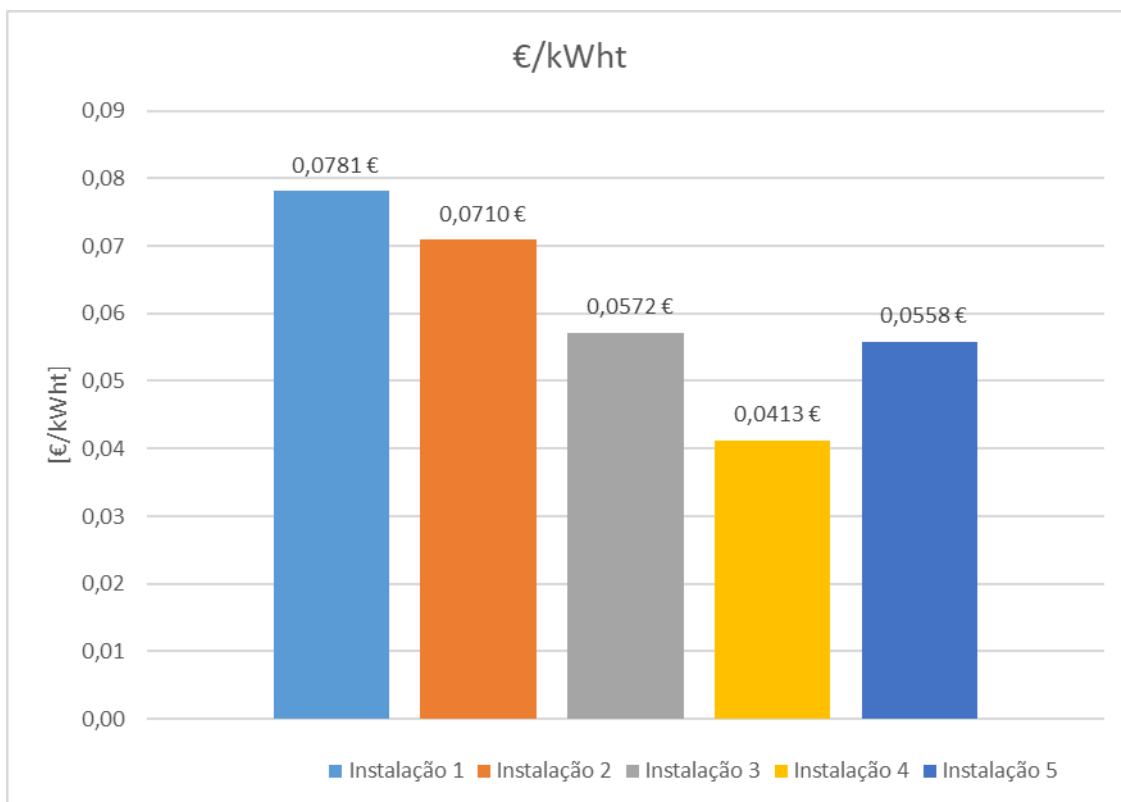


Figura 3.7 €/kWh por cada instalação

Conforme se pode verificar através do gráfico representado, a instalação 1, é a instalação com um custo maior face às outras instalações, onde apresenta um custo de 0.0781 €/kWh, sendo que, em oposição, a instalação 4 apresenta o custo mais baixo das instalações apresentadas, tendo este o valor de 0.0413 €/kWh.

O gráfico da figura 3.8 mostra o desempenho dos sistemas de refrigeração considerando o EER médio de cada instalação.

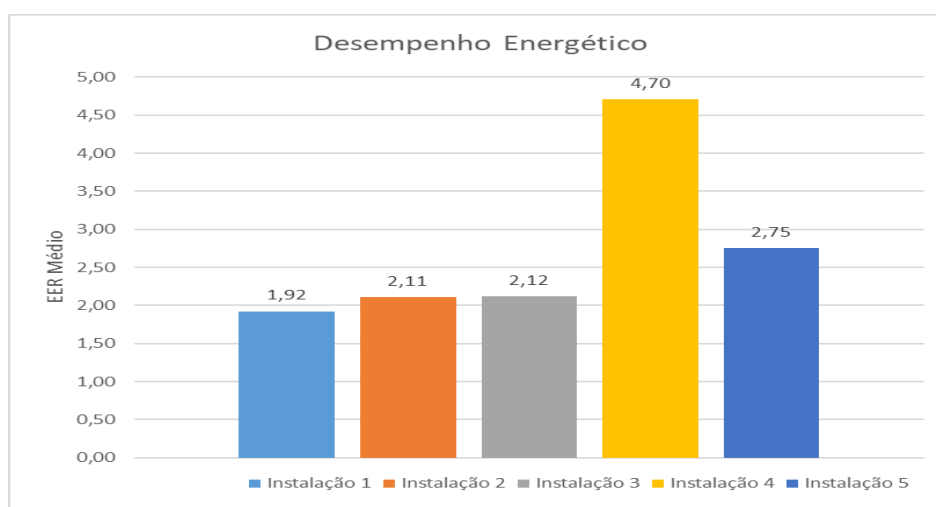


Figura 3.8 Desempenho Energético por Instalação

De acordo com o gráfico apresentado, a instalação 4 é a que tem melhor desempenho com um EER médio de 4.7, sendo que a instalação 1 apresenta o menor desempenho com um EER médio de 1.9.

Capítulo 4

Apresentação das soluções propostas

Este capítulo apresenta as soluções propostas tendo em conta a caracterização e as necessidades térmicas das várias instalações apresentadas no capítulo anterior. O principal objetivo passa por demonstrar que a integração de uma torre de refrigeração no sistema já existente, irá aumentar consideravelmente a eficiência desse mesmo sistema, e partindo do pressuposto que as condições climatéricas são as ideais para o funcionamento da torre de refrigeração, esta poderá funcionar isoladamente, ou seja, sem o backup dos chillers, sendo que os chillers só entrarão em funcionamento quando não estiverem reunidas certas condições climatéricas, condições estas que serão explicadas mais em pormenor no restante capítulo.

De referir que no caso da instalação 3 serão apresentadas 2 soluções, uma com a integração da torre no sistema existente, e outra solução em que a água usada para o arrefecimento se fará com recurso à água proveniente do rio junto à instalação 3. Não se encontra no âmbito deste trabalho o modo como se fará a descarga da água após ser usada nos respetivos sistemas de refrigeração.

Têm-se também como pressuposto que a água usada nos sistemas de refrigeração vem da rede a uma pressão de 3 bar.

De referir que as potências elétricas apresentadas para os ventiladores das torres de refrigeração foram obtidas em documentação interna da empresa CCenergia com base em pedidos de cotação para as respetivas torres, no entanto não foi possível colocar esses mesmos documentos em anexo.

Através do software SCE.CLIMA (v1.0), foi retirado o ficheiro climático e esse mesmo ficheiro foi usado no software Hourly Analysis Program (HAP) da Carrier para obter alguns dados climáticos. Por cada instalação será apresentado um gráfico onde apresenta valores mínimos, médios e máximos de temperatura de bolbo seco da zona onde está inserida a respetiva instalação. Será apresentada também uma pequena amostra dos dados retirados do software HAP que foram necessários para os cálculos da torre de refrigeração.

Serão apresentados os respetivos cálculos efetuados com base nas necessidades de refrigeração de cada instalação tendo em conta as condições climatéricas de cada zona durante o ano.

Por fim serão apresentados os principais resultados obtidos, comparando o cenário de referência, com a solução proposta em cada instalação, no caso em que a solução proposta seja

a integração de uma torre de refrigeração no respetivo sistema, mas também será apresentada uma outra solução apenas para uma das instalações apenas com a troca de chillers, ou seja, tendo em conta os chillers caracterizados nas várias instalações e as respetivas necessidades de arrefecimento, será proposto uma solução de troca de chillers de uma instalação para a outra, sendo feita apenas neste caso a comparação entre cenário de referência, com a troca de chillers, e com a integração da torre de refrigeração.

4.1. Instalação 1

Esta instalação fica situada na região do Médio Tejo, a uma cota de 168 m. Através do software SCE.CLIMA foi possível obter o ficheiro climático, bem como o gráfico da figura 4.1 onde este apresenta a variação de temperatura (bolbo seco) mínima e máxima, bem como a média durante todo o ano.

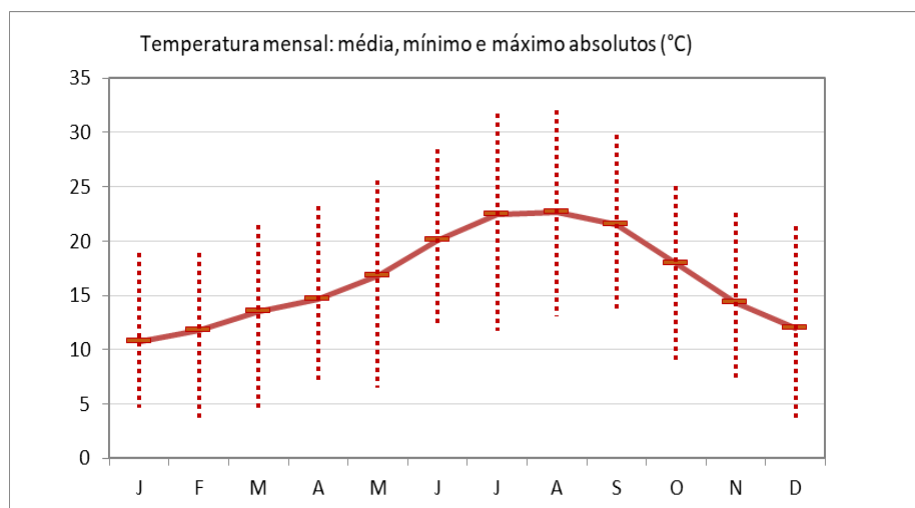


Figura 4.1 Variação da temperatura durante o ano

Com recurso ao software HAP e ao ficheiro climático obtido do SCE.CLIMA foi também possível obter a variação de hora a hora da temperatura de bolbo seco e húmido durante 1 ano. Como não é possível mostrar essa variação completa, a tabela 4.1 mostra apenas essa variação durante 1 dia.

Tabela 4.1 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido

Wednesday, January 1		
Hour	Dry-Bulb (°C)	Wet-Bulb (°C)
00:00	7,9	7,3
01:00	7,2	6,8
02:00	6,6	6,4
03:00	6,1	6
04:00	5,7	5,6
05:00	5,5	5,4
06:00	5,4	5,3
07:00	5,9	5,8
08:00	7,1	6,9
09:00	8,9	8,2
10:00	10,9	9,5
11:00	12,7	10,2
12:00	14	11,4
13:00	14,4	11,6
14:00	14,3	11,5
15:00	14,1	11,4
16:00	13,7	11,3
17:00	13,2	10,9
18:00	12,6	10,6
19:00	11,9	10,1
20:00	11,2	9,8
21:00	10,3	9,2
22:00	9,5	8,7
23:00	8,7	8,1

Foi com base nessa variação, mas ao longo de todo o ano que se conseguiu obter o gráfico da figura 4.2 que mostra o número total de horas ocorridas num determinado intervalo de temperatura de bolbo húmido.

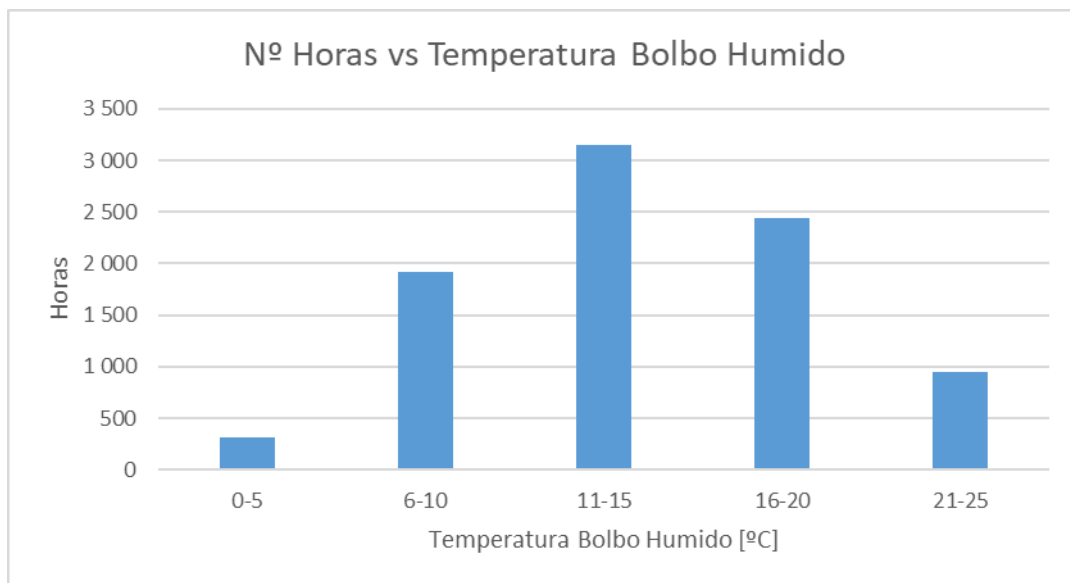


Figura 4.2 Nº Horas vs Temperatura Bolbo Húmido

4.1.1. Estudo e análise da solução proposta - Torre

Tendo em conta as necessidades térmicas e o desempenho energético caracterizado no capítulo anterior, obteve-se um cenário de referência em termos energéticos e financeiros.

Partindo desse cenário de referência foi estudado e avaliado o impacto energético e financeiro que a integração de uma torre de refrigeração terá na respetiva instalação.

Não se pretendeu efetuar o dimensionamento integral da torre de refrigeração, mas sim obter uma solução em termos de potência térmica em função das necessidades de refrigeração apresentadas anteriormente. Do cenário de referência sabe-se que as necessidades térmicas da instalação são de 283 kWt, o EER é de 1.9, a potência elétrica do chiller é de 146 kWe, e a diferença de temperatura da água de entrada e saída do chiller é de 6.2 °C, no entanto tem de se ter em conta que estes valores apresentados, são valores médios. Foi definido também no capítulo anterior que a temperatura máxima de água à saída dos equipamentos consumidores era de 27 °C, ou seja, a temperatura da água de retorno não pode exceder os 27 °C. Partindo destes pressupostos foi definido como valor de Approach, um valor bastante conservador de 5.5 °C, e assim sendo teve de se definir em que condições climatéricas é que a torre de refrigeração iria trabalhar isoladamente, em conjunto com o chiller, ou até em certas condições em que a torre não iria trabalhar, mas sim apenas o chiller.

Foi definido três modos de funcionamento do sistema de refrigeração, e a escolha desse mesmo modo, tem como base a temperatura de bolbo húmido e o valor de approach, pois é a soma destes dois valores que vão definir qual o modo de funcionamento do sistema de refrigeração.

De referir que os valores de temperatura apresentados a seguir são a soma da temperatura de bolbo húmido e de approach, e que definem os seguintes critérios:

- ≤ 20.8 °C funcionará apenas a Torre
- > 20.8 °C e < 27 °C funcionará a Torre e o Chiller
- ≥ 27 °C funcionará apenas o Chiller

Com temperaturas de saída de água na torre iguais a 20.8 °C, mesmo com o aumento médio de 6.2 °C nos consumidores, a água sairia dos consumidores a 27 °C que é o máximo permitido, se a temperatura de saída da torre for inferior a 20.8 °C a água sairia dos consumidores a uma temperatura inferior a 27 °C.

Com temperaturas de saída de água na torre superiores a 20.8 °C e inferiores a 27 °C funcionarão os 2 equipamentos em simultâneo, pois a torre por si só não consegue suprimir todas as necessidades de arrefecimento, ou seja, a partir do momento em que a temperatura de saída de água da torre seja superior a 20.8 °C, quer dizer que a temperatura de saída dos consumidores já seria superior a 27 °C tendo em conta a diferença de temperatura média de entrada e saída dos consumidores que é de 6.2 °C.

Com temperatura de saída de água na torre iguais ou superiores a 27 °C, funcionará apenas o Chiller.

Através de uma folha de calculo em Excel foi possível simular o funcionamento dos equipamentos ao longo de todo o ano. **Ver Anexo 2.1.** A tabela 4.2 representa uma pequena

amostra do funcionamento dos equipamentos consoante as condições climatéricas, representando também o respetivo consumo de energia elétrica de hora a hora.

Tabela 4.2 Modo de Funcionamento

Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Approach [°C]	Torre Saida Água [°C]	Torre [kWht]	Chiller [kWht]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
283	12,00	2,50	14,50	283	0	2,2	0
283	17,00	2,50	19,50	283	0	2,2	0
283	21,50	2,50	24,00	137	146	2,2	76

É possível verificar que quando a temperatura da água de saída da torre é de 17.5 °C funciona apenas a torre, quando a temperatura é de 22.5 °C funciona a torre e o chiller, e quando a temperatura é de 27 °C funciona apenas o chiller.

Ao integrar uma torre de refrigeração no sistema de refrigeração desta instalação, tem de se ter em conta vários aspetos, tais como as condições em que a torre irá funcionar, pois dependerá bastante da temperatura de bolbo húmido e das necessidades térmicas da própria instalação, bem como da máxima temperatura da água admitida nos consumidores finais como foi visto anteriormente. Além do desempenho energético a ter em conta e dos respetivos custos associados ao funcionamento da torre, terá de se ter em conta outro aspeto, que tem a ver com o consumo de água que terá de ser contabilizado, ou seja, com a água de reposição.

A água de reposição é o somatório das perdas por evaporação, por arraste, e pelas purgas, como já foi mencionado anteriormente. Como tal é necessário calcular o caudal de cada uma destas perdas, sendo que o somatório das mesmas será o caudal de água necessário à sua reposição. Através das equações (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), e (4.5) é possível calcular as perdas por evaporação, as perdas por arraste, as perdas pelas purgas, e por fim calcular a água de reposição necessária [15].

A equação 4.1 representa a taxa de evaporação em percentagem, a equação 4.2 representa a evaporação onde Q_v representa o caudal volumétrico, a equação 4.3 representa as perdas por arraste, onde neste trabalho foi convencionado o valor de 0.2 % do volume de água em circulação. A equação 4.4 representa as perdas pelas purgas onde o C representa o número de ciclos de concentração, sendo que neste trabalho foi usado o valor de 4.

As perdas por evaporação calculam-se através das seguintes equações:

$$E = \frac{C_p \cdot \Delta T}{h_{fg}} * 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

$$E = \frac{\% \cdot C_v}{100} \quad [m^3/h] \quad (4.2)$$

As perdas por arraste calcula-se através da seguinte equação:

$$D = \frac{0.2}{100} * Q_v \quad [m^3/h] \quad (4.3)$$

As perdas pelas purgas calculam-se através da seguinte equação:

$$B = \frac{E}{c-1} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.4)$$

Por fim, a água de reposição é o somatório das equações (4.2), (4.3) e (4.4), e calcula-se através da seguinte equação:

$$M = E + D + B \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.5)$$

Antes de se efetuar o respetivo cálculo é necessário ter em conta alguns pressupostos, tais como, o valor de entalpia (h_{fg}) que foi calculado por interpolação usando a tabela de líquido e vapor saturado de água a uma temperatura de 15.6 °C, ou seja, a mesma temperatura que foi usada para o calor específico e para a massa volumica da água. **Ver Anexo 2.2.** Por interpolação o valor de h_{fg} usado será 2465 kJ/kg. O valor de ΔT será de 6.2 °C, e o caudal considerado é 39.4 m³/h. Nas perdas por arraste usa-se uma constante que é de 0.2, que representa 0.2 % do caudal considerado. Nas perdas pelas purgas, a constante C diz respeito ao número de ciclos de concentração que poderão variar entre 3 e 7, sendo que neste caso foi usado 4. A tabela 4.3 mostra de forma resumida os cálculos efetuados através das equações mencionadas anteriormente e os dados usados.

Tabela 4.3 Cálculo da Água de Reposição

Dados	
Calor Especifico [kJ/kg°C]	4,186
ΔT [°C]	6,2
Entalpia [kJ/kg]	2465
Caudal Volumétrico [m ³ /h]	39,4
Ciclos Concentração [3-7]	4
Calculo	
Perdas po Evaporação [%]	1,1
Perdas po Evaporação [m ³ /h]	0,4
Perdas por Arraste [m ³ /h]	0,1
Perdas pelas Purgas [m ³ /h]	0,1
Água de Reposição [m ³ /h]	0,6
Consumo Anual de Água [m³]	1641,1
Custo Anual Água [€]	2461,7

Conforme se pode verificar a água de reposição necessária será de 0.6 m³/h o que representa cerca de 1.6 % do caudal do sistema de refrigeração considerado, sendo que 1.1 % se deve à evaporação.

Apresenta-se de seguida as tabelas (4.4), (4.5) e (4.6) onde consta o cenário de referência, a solução proposta e as economias resultantes da integração da torre.

Tabela 4.4 Cenário de Referência

	Cenário de Referência	
	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller	380 718	57 108

Tabela 4.5 Solução Proposta

Solução Proposta				
Equipamentos	Água		Energia Elétrica	
	[m3/ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller			108 985	16 348
Torre	1 641	2 462	5 122	768
Total	1 641	2 462	114 107	17 116

Tabela 4.6 Economias

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
266 611	37 530

4.1.2. Estudo e análise da solução proposta – Troca de Chillers

Sendo a instalação 1 a que tem o desempenho energético mais baixo, além da solução proposta que seria a integração de uma torre de refrigeração no sistema, poderá também equacionar-se a troca do chiller existente por outro chiller mais eficiente.

Esta solução não tem como objetivo a consulta ao mercado de outros chillers para substituição ao atual, mas sim, e tendo em conta toda a caracterização efetuada nas diferentes instalações, encontrar numa dessas instalações um chiller que pudesse suprimir as necessidades térmicas da instalação 1, e que seja mais eficiente que o atual.

O chiller identificado é o chiller da instalação 4 com um ERR médio de 2.9, e tem como capacidade nominal de refrigeração 517 kWt, um caudal de 20.7 l/s e uma potência elétrica nominal de 137 kWe, pressupondo assim que poderá ser um chiller compatível com as necessidades da instalação.

De forma que se consiga comparar o desempenho após a troca de chiller, têm-se como pressuposto todos os dados obtidos da caracterização da instalação 1, ou seja, as necessidades térmicas são as mesmas, bem como o caudal e a diferença de temperatura, ou seja, o cálculo efetuado tem apenas como base a alteração do ERR médio, e desse modo usando um ERR médio de 2.9, e com uma capacidade de refrigeração de 283 kWt assumindo uma diferença de temperatura de 6.2 °C, um caudal de 10.9 kg/s e um calor específico de 4.186 kJ/kg.°C, pode-se facilmente calcular o consumo elétrico médio que o chiller terá nestas condições através da equação (3.3), e substituindo os valores na equação fica:

$$2.9 = \frac{283}{P_e} \Leftrightarrow P_e = 97.5 \text{ kW}$$

As tabelas 4.7 e 4.8 mostram respetivamente o cenário de referência e a solução proposta, e a economia resultante dessa solução.

Tabela 4.7 Comparação entre cenário de referência e solução proposta

	Cenário de Referência		Solução Proposta	
	[kWh/ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller	380 718	57 108	253 604	38 041

Tabela 4.8 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
127 114	19 067

4.1.3. Impactos Organizacionais Esperados

Esta instalação tem um consumo global de energia elétrica de 5 407 038 kWh/ano, em que dos quais 380 718 kWh/ano dizem respeito ao consumo de energia elétrica dos equipamentos de produção de frio, representado 7 % do consumo global de energia elétrica da instalação, traduzindo-se em 0.0781 €/kWh dissipado, tendo assim um EER médio de 1.9, o que faz com que sejam libertados para a atmosfera cerca de 178 938 kgCO₂/ano de GEE.

Se for considerada a solução proposta da integração da torre de refrigeração, o consumo de energia elétrica passa a ser de 113 922 kWh/ano, representando assim 2.1 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWh para 0.0267 €, aumentando assim o EER para 6.4, o que significa uma redução substancial de GEE, passando este a ser de 53 544 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 70 %.

Se for considerada a solução proposta da troca de chiller, o consumo de energia elétrica passa a ser de 253 604 kWh/ano, representando assim 4.7 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWh para 0.0520 €, aumentando assim o EER para 2.9, o que significa uma redução de GEE, passando este a ser de 119 194 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 33.3 %.

No que diz respeito a custos com a energia elétrica, considerando a solução da torre de refrigeração este custo diminuiria para 19 550 €/ano já incluindo o custo adicional do consumo de água para reposição o que representaria uma diminuição de 65.8 %. No caso da solução de troca de chiller o custo com a energia elétrica diminuiria para 38 041 € representado deste modo uma diminuição de 33.4 %.

4.2. Instalação 2

Esta instalação fica situada na região do Entre Douro e Vouga, a uma cota de 298 m. Através do software SCE.CLIMA foi possível obter o ficheiro climático, bem como o gráfico da figura 4.3 onde este apresenta a variação de temperatura (bolbo seco) mínima e máxima, bem como a média durante todo o ano.

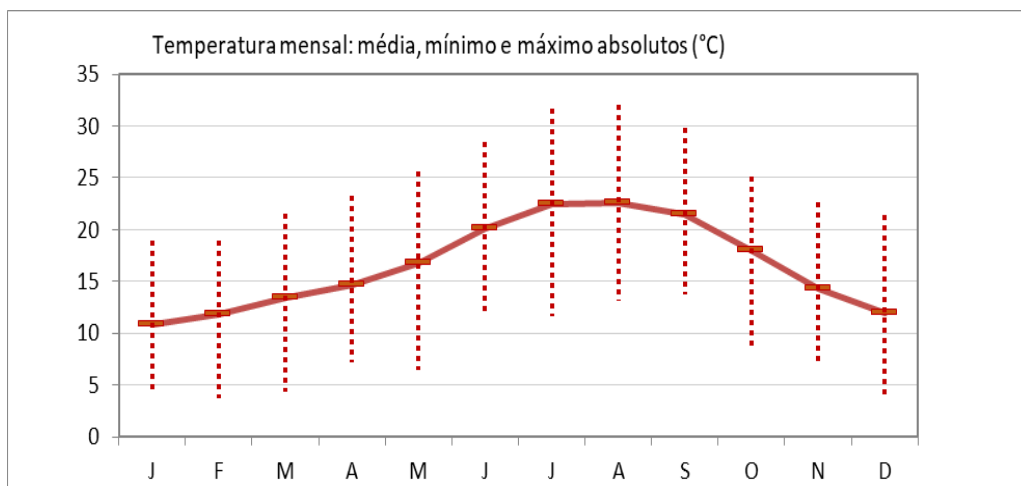


Figura 4.3 Variação da temperatura durante o ano

Com recurso ao software HAP e ao ficheiro climático obtido do SCE.CLIMA foi também possível obter a variação de hora a hora da temperatura de bolbo seco e húmido durante 1 ano. Como não é possível mostrar essa variação completa, a tabela 4.9 mostra apenas essa variação durante 1 dia.

Tabela 4.9 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido

Wednesday, January 1		
Hour	Dry-Bulb (°C)	Wet-Bulb (°C)
00:00	5,3	5
01:00	4,5	4,4
02:00	3,8	3,7
03:00	3,3	3,2
04:00	2,8	2,7
05:00	2,6	2,5
06:00	2,5	2,4
07:00	3	2,9
08:00	4,4	4,3
09:00	6,5	6,3
10:00	8,7	7,4
11:00	10,8	9,2
12:00	12,2	10,1
13:00	12,7	10,3
14:00	12,6	10,3
15:00	12,4	10,1
16:00	11,9	9,9
17:00	11,4	9,6
18:00	10,7	9,1
19:00	9,9	8,6
20:00	9	8,1
21:00	8,1	7,5
22:00	7,1	6,8
23:00	6,2	6,1

Foi com base nessa variação, mas ao longo de todo o ano que se conseguiu obter o gráfico da figura 4.4 que mostra o número total de horas ocorridas num determinado intervalo de temperatura de bolbo húmido.

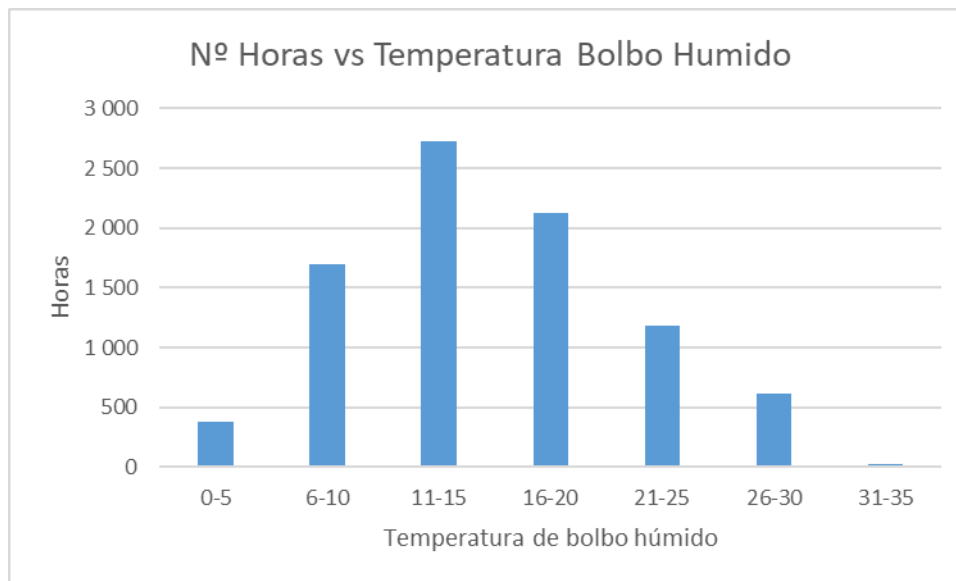


Figura 4.4 Nº Horas vs Temperatura Bolbo Húmido

4.2.1. Estudo e análise da solução proposta - Torre

Tendo em conta a explicação dada relativamente à instalação 1, nesta instalação e nas próximas, serão apresentados os resultados obtidos de forma mais resumida, pois a metodologia seguida foi a mesma.

Para esta instalação os critérios de funcionamento dos equipamentos são os seguintes:

- ≤ 19.5 °C funcionará apenas a Torre
- > 19.5 °C e < 25 °C funcionará a Torre e o Chiller
- ≥ 25 °C funcionará apenas o Chiller

Através de uma folha de calculo em Excel foi possível simular o funcionamento dos equipamentos ao longo de todo o ano. **Ver Anexo 2.3.** A tabela 4.10 representa uma pequena amostra do funcionamento dos equipamentos consoante as condições climáticas, representando também o respetivo consumo de energia elétrica de hora a hora.

Tabela 4.10 Modo de funcionamento

Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Approach [°C]	Torre Saida Água [°C]	Torre [kWht]	Chiller [kWht]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
615	10	5,5	15,50	615	0	22,50	0,00
615	15	5,5	20,50	503	112	22,50	53
615	19,5	5,5	25,00	0	615	0,00	291

É possível verificar que quando a temperatura da água de saída da torre é de 15.5 °C funciona apenas a torre, quando a temperatura é de 20.5 °C funciona a torre e o chiller, e quando a temperatura é de 25 °C funciona apenas o chiller.

Através das equações (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), e (4.5) é possível calcular as perdas por evaporação, as perdas por arraste, as perdas pelas purgas, e por fim calcular a água de

reposição necessária. A tabela 4.11 mostra de forma resumida os dados usados para calcular a água de reposição através das fórmulas mencionadas anteriormente.

Tabela 4.11 Cálculo da Água de Reposição

Dados	
Calor Especifico [kJ/kg°C]	4,186
ΔT [°C]	5,5
Entalpia [kJ/kg]	2465
Caudal Volumétrico [m ³ /h]	97
Ciclos Concentração [3-7]	4
Calculo	
Perdas po Evaporação [%]	0,9
Perdas po Evaporação [m ³ /h]	0,9
Perdas por Arraste [m ³ /h]	0,2
Perdas pelas Purgas [m ³ /h]	0,3
Água de Reposição [m ³ /h]	1,4
Consumo Anual Água [m³]	9006
Custo Anual Água [€]	13509

Conforme se pode verificar a água de reposição necessária será de 1.4 m³/h o que representa cerca de 1.4 % do caudal do sistema de refrigeração considerado, sendo que 0.9 % se deve apenas à evaporação.

Apresenta-se de seguida as tabelas (4.12), (4.13) e (4.14) onde consta o cenário de referência, a solução proposta e as economias resultantes da integração da torre.

Tabela 4.12 Cenário de Referência

	Cenário de Referência	
	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller	1 871 208	280 681

Tabela 4.13 Solução Proposta

Equipamentos	Solução Proposta			
	Água		Energia Elétrica	
	[m ³ /ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller			390 866	58 630
Torre	9 006	13 509	133 943	20 091
Total	9 006	13 509	524 809	78 721

Tabela 4.14 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
1 346 399	188 451

4.2.1. Impactos Organizacionais Esperados

Esta instalação tem um consumo global de energia elétrica de 12 123 000 kWh/ano, em que dos quais 1 871 208 kWh/ano dizem respeito ao consumo de energia elétrica dos equipamentos de produção de frio, representado 15.4 % do consumo global de energia elétrica da instalação, traduzindo-se em 0.0710 €/kWh dissipado, tendo assim um EER médio de 2.1, o que faz com que sejam libertados para a atmosfera cerca de 879 468 kgCO₂/ano de GEE.

Se for considerada a solução proposta da integração da torre de refrigeração, o consumo de energia elétrica passa a ser de 524 809 kWh/ano, representando assim 4.3 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWh para 0.0233 €, aumentando assim o EER para 7.5, o que significa uma redução substancial de GEE, passando este a ser de 246 660 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 72 %.

No que diz respeito a custos com a energia elétrica, considerando a solução da torre de refrigeração este custo diminuiria para 92 230 €/ano já incluindo o custo adicional do consumo de água para reposição o que representaria uma diminuição de 67.1 %.

4.3. Instalação 3

Esta instalação fica situada na região do Ave, a uma cota de 426 m. Através do software SCE.CLIMA foi possível obter o ficheiro climático, bem como o gráfico da figura 4.5 onde este apresenta a variação de temperatura (bolbo seco) mínima e máxima, bem como a média durante todo o ano.

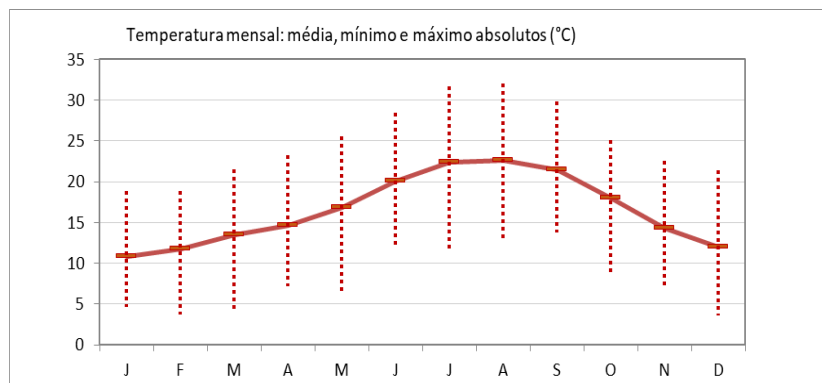


Figura 4.5 Variação da temperatura durante o ano

Com recurso ao software HAP e ao ficheiro climático obtido do SCE.CLIMA foi também possível obter a variação de hora a hora da temperatura de bolbo seco e húmido durante 1 ano. Como não é possível mostrar essa variação completa, a tabela 4.15 mostra apenas essa variação durante 1 dia.

Tabela 4.15 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido

Wednesday, January 1		
Hour	Dry-Bulb (°C)	Wet-Bulb (°C)
00:00	9,6	8,8
01:00	9,3	8,6
02:00	8,9	7,9
03:00	8,7	8,3
04:00	8,5	8,2
05:00	8,4	7,7
06:00	8,3	8,1
07:00	8,6	7,8
08:00	9,2	8,7
09:00	10,1	9,3
10:00	11,2	10,1
11:00	12,1	10,7
12:00	12,8	11,1
13:00	13	11,2
14:00	13	11,3
15:00	12,9	11,2
16:00	12,7	11,1
17:00	12,4	10,9
18:00	12,1	10,7
19:00	11,7	10,4
20:00	11,3	10,2
21:00	10,9	9,9
22:00	10,5	9,7
23:00	10	9,3

Foi com base nessa variação, mas ao longo de todo o ano que se conseguiu obter o gráfico da figura 4.6 que mostra o número total de horas ocorridas num determinado intervalo de temperatura de bolbo húmido.

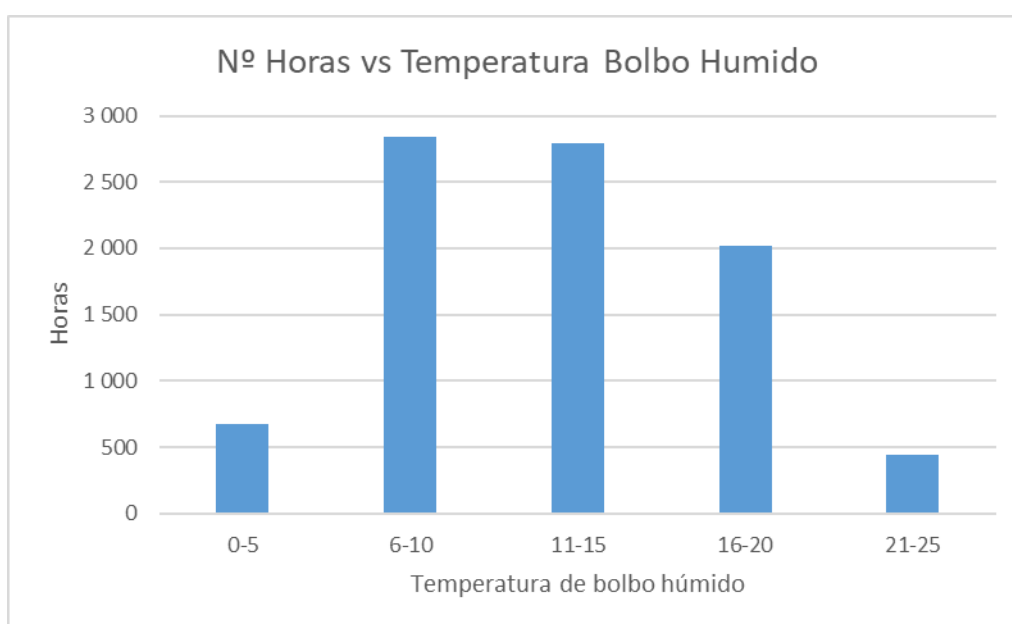


Figura 4.6 Nº Horas vs Temperatura Bolbo Húmido

Como foi dito anteriormente, esta instalação situa-se junto a um rio, onde através do Sistema Nacional de Recursos Hídricos [16] obteve-se a média das temperaturas máximas mensais do rio em que o período de amostragem é de 15 anos. O gráfico da figura 4.7 mostra essa variação.

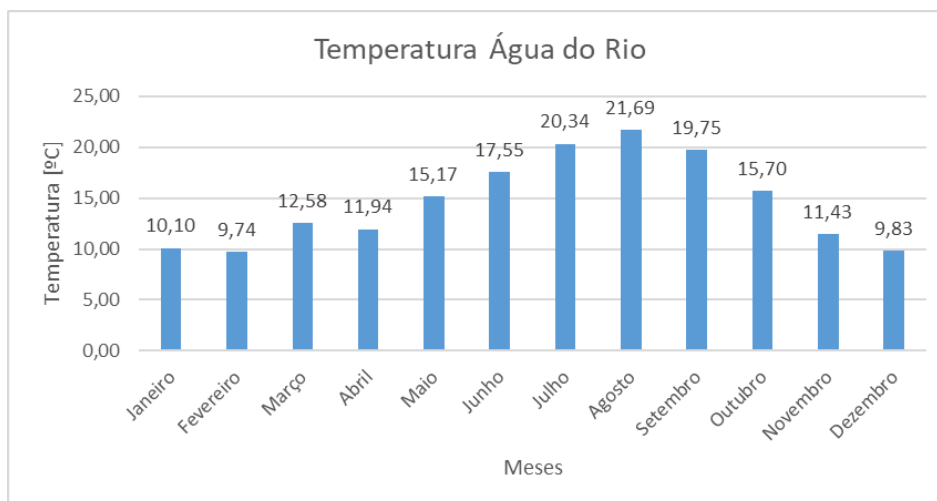


Figura 4.7 Temperatura Água do Rio

4.3.1. Estudo e análise da solução proposta - Torre

Para esta instalação os critérios de funcionamento dos equipamentos são os seguintes:

- ≤ 21.3 °C funcionará apenas a Torre
- > 21.3 °C e < 25 °C funcionará a Torre e o Chiller
- ≥ 25 °C funcionará apenas o Chiller

Através de uma folha de calculo em Excel foi possível simular o funcionamento dos equipamentos ao longo de todo o ano. **Ver Anexo 2.4.** A tabela 4.16 representa uma pequena amostra do funcionamento dos equipamentos consoante as condições climatéricas, representando também o respetivo consumo de energia elétrica de hora a hora.

Tabela 4.16 Modo de funcionamento

Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Approach [°C]	Torre Saida Água [°C]	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
220	15,8	5,5	21,30	220	0	2,20	0,00
220	17	5,5	22,50	149	71	2,20	33,7
220	19,5	5,5	25,00	0	220	0,00	104

É possível verificar que quando a temperatura da água de saída da torre é de 21.3 °C funciona apenas a torre, quando a temperatura é de 22.5 °C funciona a torre e o chiller, e quando a temperatura é de 25 °C funciona apenas o chiller.

Através das equações (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), e (4.5) é possível calcular as perdas por evaporação, as perdas por arraste, as perdas pelas purgas, e por fim calcular a água de reposição necessária. A tabela 4.17 mostra de forma resumida os dados usados para calcular a água de reposição através das fórmulas mencionadas anteriormente.

Tabela 4.17 Cálculo da Água de Reposição

Dados	
Calor Especifico [kJ/kg°C]	4,186
ΔT [°C]	3,7
Entalpia [kJ/kg]	2465
Caudal Volumétrico [m ³ /h]	45
Ciclos Concentração [3-7]	4
Calculo	
Perdas po Evaporação [%]	0,6
Perdas po Evaporação [m ³ /h]	0,3
Perdas por Arraste [m ³ /h]	0,1
Perdas pelas Purgas [m ³ /h]	0,1
Água de Reposição [m ³ /h]	0,5
Consumo Anual Água [m³]	3121
Custo Anual Água [€]	4682

Conforme se pode verificar a água de reposição necessária será de 0.5 m³/h o que representa cerca de 1 % do caudal do sistema de refrigeração considerado, sendo que 0.6 % se deve apenas à evaporação.

4.3.2. Estudo e análise da solução proposta – Água do Rio

De acordo com o gráfico da figura 4.7 pode-se ver que a média da temperatura da água registada mais elevada é de 21.7 °C no mês de agosto. Sendo que a temperatura máxima permitida nos consumidores é de 25 °C, pode-se afirmar que a temperatura da água do rio seria suficiente para a refrigeração do sistema em questão. Partindo do pressuposto que mesmo que a temperatura aumente ligeiramente desde a captação do rio até chegar ao consumidor, mas sem nunca chegar a atingir os 25 °C, poderá ser uma oportunidade de usar a água proveniente do rio, onde não existiria qualquer custo para o arrefecimento da mesma, mas, no entanto, tem de se considerar pelo menos o custo da energia elétrica necessária para o funcionamento das eletrobombas para a captação, elevação e retorno ao rio. Pressupõem-se ainda que a água captada irá para um reservatório e daí para os equipamentos que precisam de refrigeração.

A tabela 4.18 mostra as eletrobombas consideradas, bem como o caudal nominal, potência nominal, consumo de energia elétrica e o respetivo custo. De referir que esta seria uma solução sem recorrer a qualquer equipamento de refrigeração.

Tabela 4.18 Eletrobombas

Solução Proposta				
Equipamento	Caudal	Potência Elétrica	Energia Elétrica	
	[m3/h]	[kW]	[kWh/ano]	[€/ano]
Bomba M1	10	1,1	7 392	1 109
Bomba M2	10	1,1	7 392	1 109
Bomba M3	15	2,2	14 784	2 218
Bomba M4	25	3	20 160	3 024
Total	60	7,4	49 728	7 459

Apresenta-se de seguida as tabelas (4.19), (4.20), (4.21), (4.22) e (4.23), onde consta o cenário de referência, a solução proposta e as economias resultantes da integração da torre, e da solução com a água do rio com recurso às eletrobombas.

Tabela 4.19 Cenário de Referência

Equipamentos	Cenário de Referência	
	[kWh/ano]	[€/ano]
Chillers	564 327	84 649

Tabela 4.20 Solução Proposta - Torre

Solução Proposta - Torre				
Equipamentos	Água		Energia Elétrica	
	[m3/ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller			107 737	16 161
Torre	3 121	4 682	13 642	2 046
Total	3 121	4 682	121 379	18 207

Tabela 4.21 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
442 948	61 760

Tabela 4.22 Solução Proposta - Água do Rio

Solução Proposta				
Equipamento	Caudal	Potência Elétrica	Energia Elétrica	
	[m3/h]	[kW]	[kWh/ano]	[€/ano]
Bomba M1	10	1,1	7 392	1 109
Bomba M2	10	1,1	7 392	1 109
Bomba M3	15	2,2	14 784	2 218
Bomba M4	25	3	20 160	3 024
Total	60	7,4	49 728	7 459

Tabela 4.23 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
514 599	77 190

4.3.1. Impactos Organizacionais Esperados

Esta instalação tem um consumo global de energia elétrica de 16 315 337 kWh/ano, em que dos quais 564 327 kWh/ano dizem respeito ao consumo de energia elétrica dos equipamentos de produção de frio, representado 3.46 % do consumo global de energia elétrica da instalação, traduzindo-se em 0.0572 €/kWht dissipado, tendo assim um EER médio de 2.1, o que faz com que sejam libertados para a atmosfera cerca de 265 234 kgCO₂/ano de GEE.

Se for considerada a solução proposta da integração da torre de refrigeração, o consumo de energia elétrica passa a ser de 121 380 kWh/ano, representando assim 0.7 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWht para 0.0168 €, aumentando assim o EER para 11.3, o que significa uma redução substancial de GEE, passando este a ser de 57 049 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 78.5 %.

Se for considerada a solução apenas das eletrobombas, o consumo de energia elétrica passa a ser de 49 728 kWh/ano, representando assim 0.3 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWht para 0.005 €, aumentando assim o EER para 29.8, o que significa uma redução de GEE, passando este a ser de 23 372 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 91.2 %.

No que diz respeito a custos com a energia elétrica, considerando a solução da torre de refrigeração este custo diminuiria para 22 889 €/ano já incluindo o custo adicional do consumo de água para reposição o que representaria uma diminuição de 73 %. No caso da solução apenas das eletrobombas o custo com a energia elétrica diminuiria para 7459 € representado deste modo uma diminuição de 91.1 %.

4.4. Instalação 4

Esta instalação fica situada na região do Baixo Vouga, a uma cota de 50 m. Através do software SCE.CLIMA foi possível obter o ficheiro climático, bem como o gráfico da figura 4.8 onde este apresenta a variação de temperatura (bolbo seco) mínima e máxima, bem como a média durante todo o ano.

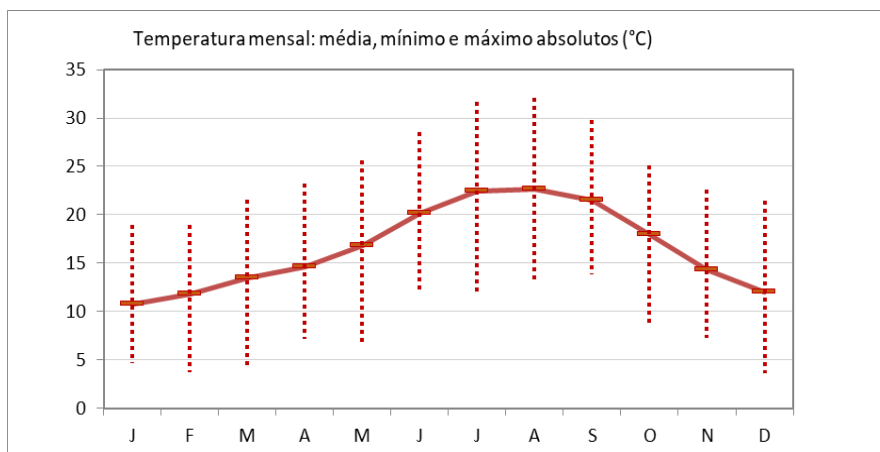


Figura 4.8 Variação da temperatura durante o ano

Com recurso ao software HAP e ao ficheiro climático obtido do SCE.CLIMA foi também possível obter a variação de hora a hora da temperatura de bolbo seco e húmido durante 1 ano. Como não é possível mostrar essa variação completa, a tabela 4.24 mostra apenas essa variação durante 1 dia.

Tabela 4.24 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido

Wednesday, January 1		
Hour	Dry-Bulb (°C)	Wet-Bulb (°C)
00:00	6,8	5,7
01:00	6	5,2
02:00	5,3	4,7
03:00	4,7	4,3
04:00	4,3	4
05:00	4	3,8
06:00	3,9	3,8
07:00	4,4	4,1
08:00	5,9	5,2
09:00	8	6,8
10:00	10,3	8,2
11:00	12,4	9,5
12:00	13,9	10,3
13:00	14,4	10,5
14:00	14,3	10,4
15:00	14	10,3
16:00	13,6	10
17:00	13	9,8
18:00	12,3	9,4
19:00	11,5	8,9
20:00	10,6	8,4
21:00	9,6	7,8
22:00	8,7	7,2
23:00	7,7	6,6

Foi com base nessa variação, mas ao longo de todo o ano que se conseguiu obter o gráfico da figura 4.9 que mostra o número total de horas ocorridas num determinado intervalo de temperatura de bolbo húmido.

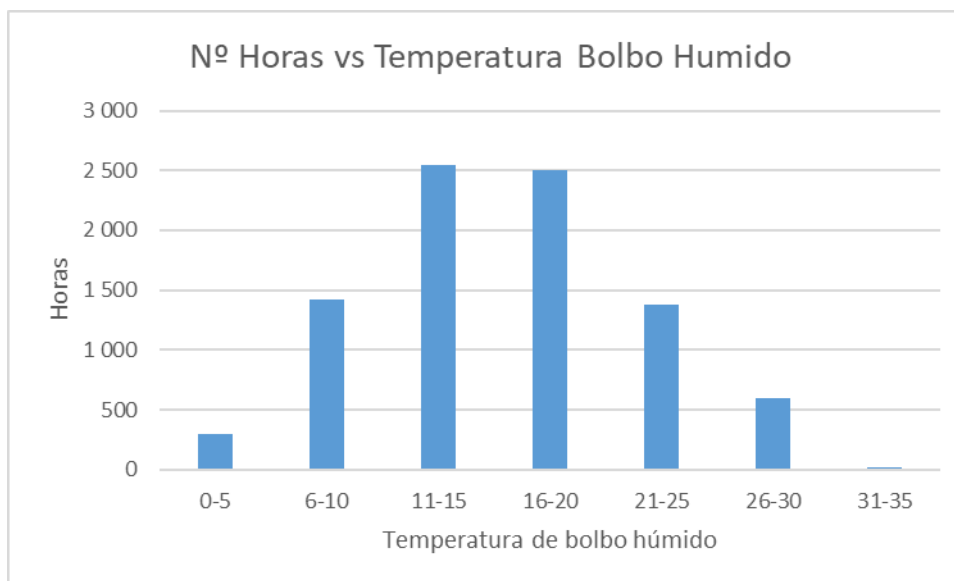


Figura 4.9 Nº Horas vs Temperatura Bolbo Húmido

4.4.1. Estudo e análise da solução proposta – Torre

Para esta instalação os critérios de funcionamento dos equipamentos são os seguintes:

- ≤ 21.7 °C funcionará apenas a Torre
- > 21.7 °C e < 25 °C funcionará a Torre e o Chiller
- ≥ 25 °C funcionará apenas o Chiller

Através de uma folha de calculo em Excel foi possível simular o funcionamento dos equipamentos ao longo de todo o ano. **Ver Anexo 2.5.** A tabela 4.25 representa uma pequena amostra do funcionamento dos equipamentos consoante as condições climáticas, representando também o respetivo consumo de energia elétrica de hora a hora.

Tabela 4.25 Modo de Funcionamento

Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Approach [°C]	Torre Saída Água [°C]	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
442	16,2	5,5	21,7	442	0	11	0
442	17	5,5	22,5	335	107	11	23
442	19,5	5,5	25,0	0	442	0	94

É possível verificar que quando a temperatura da água de saída da torre é de 21.7 °C funciona apenas a torre, quando a temperatura é de 22.5 °C funciona a torre e o chiller, e quando a temperatura é de 25 °C funciona apenas o chiller.

Através das equações (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), e (4.5) é possível calcular as perdas por evaporação, as perdas por arraste, as perdas pelas purgas, e por fim calcular a água de reposição necessária. A tabela 4.26 mostra de forma resumida os dados usados para calcular a água de reposição através das fórmulas mencionadas anteriormente.

Tabela 4.26 Água de Reposição

Dados	
Calor Especifico [kJ/kg°C]	4,186
ΔT [°C]	3,3
Entalpia [kJ/kg]	2 465
Caudal Volumétrico [m ³ /h]	148
Ciclos Concentração [3-7]	4
Calculo	
Perdas po Evaporação [%]	0,6
Perdas po Evaporação [m ³ /h]	0,8
Perdas por Arraste [m ³ /h]	0,3
Perdas pelas Purgas [m ³ /h]	0,3
Água de Reposição [m ³ /h]	1,4
Consumo Anual Água [m³]	9 396
Custo Anual Água [€]	14 094

Conforme se pode verificar a água de reposição necessária será de 1.4 m³/h o que representa cerca de 0.9 % do caudal do sistema de refrigeração considerado, sendo que 0.56 % se deve apenas à evaporação.

Apresenta-se de seguida as tabelas (4.27), (4.28) e (4.29) onde consta o cenário de referência, a solução proposta e as economias resultantes da integração da torre.

Tabela 4.27 Cenário de referência

Equipamento	Cenário de Referência	
	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller	664 997	99 750

Tabela 4.28 Solução Proposta

Solução Proposta				
Equipamentos	Água		Energia Elétrica	
	[m ³ /ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller			115 216	17 282
Torre	9 396	14 094	66 737	10 011
Total	9 396	14 094	181 953	27 293

Tabela 4.29 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
483 044	58 362

4.4.1. Impactos Organizacionais Esperados

Esta instalação tem um consumo global de energia elétrica de 18 708 752 kWh/ano, em que dos quais 664 997 kWh/ano dizem respeito ao consumo de energia elétrica dos equipamentos de produção de frio, representado 3.6 % do consumo global de energia elétrica da instalação, traduzindo-se em 0.0413 €/kWh dissipado, tendo assim um EER médio de 3.6, o que faz com que sejam libertados para a atmosfera cerca de 312 549 kgCO₂/ano de GEE.

Se for considerada a solução proposta da integração da torre de refrigeração, o consumo de energia elétrica passa a ser de 181 953 kWh/ano, representando assim 0.9 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWh para 0.0171 €, aumentando assim o EER para 13.3, o que significa uma redução substancial de GEE, passando este a ser de 85519 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 72.6 %.

No que diz respeito a custos com a energia elétrica, considerando a solução da torre de refrigeração este custo diminuiria para 41 387 €/ano já incluindo o custo adicional do consumo de água para reposição o que representaria uma diminuição de 58.5 %.

4.5. Instalação 5

Esta instalação fica situada na região do Minho-Lima, a uma cota de 268 m. Através do software SCE.CLIMA foi possível obter o ficheiro climático, bem como o gráfico da figura 4.10 onde este apresenta a variação de temperatura (bolbo seco) mínima e máxima, bem como a média durante todo o ano.

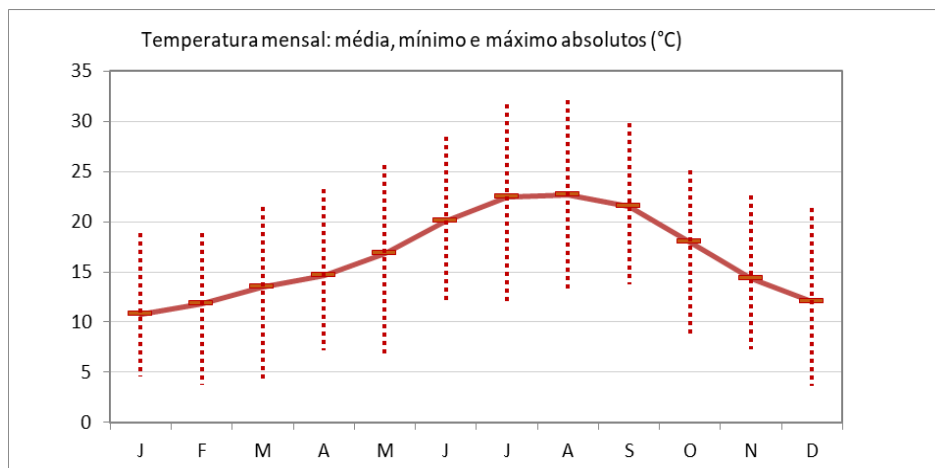


Figura 4.10 Variação da temperatura durante o ano

Com recurso ao software HAP e ao ficheiro climático obtido do SCE.CLIMA foi também possível obter a variação de hora a hora da temperatura de bolbo seco e húmido durante 1 ano. Como não é possível mostrar essa variação completa, a tabela 4.30 mostra apenas essa variação durante 1 dia.

Tabela 4.30 Variação das temperaturas de bolbo seco e húmido

Wednesday, January 1		
Hour	Dry-Bulb (°C)	Wet-Bulb (°C)
00:00	6,4	6,3
01:00	5,8	5,6
02:00	5,4	5,3
03:00	5	4,9
04:00	4,7	4,6
05:00	4,5	4,4
06:00	4,5	4,4
07:00	4,8	4,7
08:00	5,8	5,6
09:00	7,2	6,9
10:00	8,7	7,4
11:00	10,1	8,7
12:00	11	9,2
13:00	11,4	9,5
14:00	11,3	9,4
15:00	11,1	9,3
16:00	10,8	9,1
17:00	10,5	8,9
18:00	10	8,6
19:00	9,4	8,2
20:00	8,9	7,9
21:00	8,2	7,4
22:00	7,6	7
23:00	7	6,6

Foi com base nessa variação, mas ao longo de todo o ano que se conseguiu obter o gráfico da figura 4.11 que mostra o número total de horas ocorridas num determinado intervalo de temperatura de bolbo húmido.

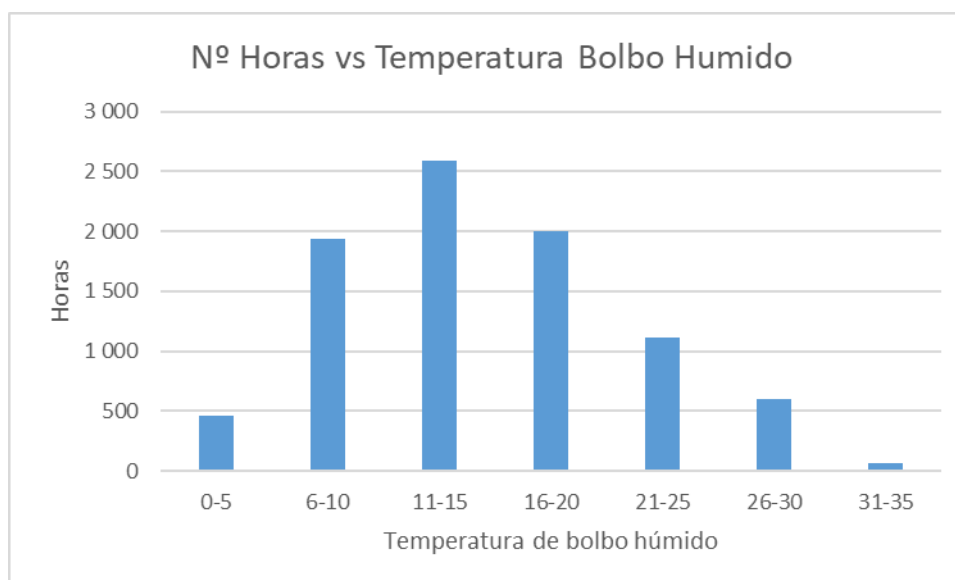


Figura 4.11 Nº Horas vs Temperatura Bolbo Húmido

4.5.1. Estudo e análise da solução proposta - Torre

Para esta instalação os critérios de funcionamento dos equipamentos são os seguintes:

- ≤ 20.79 °C funcionará apenas a Torre
- > 20.79 °C e < 22 °C funcionará a Torre e o Chiller
- ≥ 22 °C funcionará apenas o Chiller

Através de uma folha de calculo em Excel foi possível simular o funcionamento dos equipamentos ao longo de todo o ano. **Ver Anexo 2.6.** A tabela 4.31 representa uma pequena amostra do funcionamento dos equipamentos consoante as condições climáticas, representando também o respetivo consumo de energia elétrica de hora a hora.

Tabela 4.31 Modo de funcionamento

Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th	Approach [°C]	Torre Saida Água [°C]	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
320	15,29	5,5	20,8	320	0	6	0
320	16	5,5	21,5	132	188	6	68
320	16,5	5,5	22,0	0	320	0	116

É possível verificar que quando a temperatura da água de saída da torre é de 20.8 °C funciona apenas a torre, quando a temperatura é de 21.5 °C funciona a torre e o chiller, e quando a temperatura é de 22 °C funciona apenas o chiller.

Através das equações (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), e (4.5) é possível calcular as perdas por evaporação, as perdas por arraste, as perdas pelas purgas, e por fim calcular a água de reposição necessária. A tabela 4.32 mostra de forma resumida os dados usados para calcular a água de reposição através das fórmulas mencionadas anteriormente.

Tabela 4.32 Água de reposição

Dados	
Calor Especifico [kJ/kg°C]	4,186
ΔT [°C]	1,2
Entalpia [kJ/kg]	2 465
Caudal Volumétrico [m ³ /h]	229
Ciclos Concentração [3-7]	4
Calculo	
Perdas po Evaporação [%]	0,2
Perdas po Evaporação [m ³ /h]	0,5
Perdas por Arraste [m ³ /h]	0,5
Perdas pelas Purgas [m ³ /h]	0,2
Água de Reposição [m ³ /h]	1,1
Consumo Anual Água [m³]	6 379
Custo Anual Água [€]	9 569

Conforme se pode verificar a água de reposição necessária será de 1.1 m³/h o que representa cerca de 0.47 % do caudal do sistema de refrigeração considerado, sendo que 0.2 % se deve à evaporação.

Apresenta-se de seguida as tabelas (4.33), (4.34) e (4.35) onde consta o cenário de referência, a solução proposta e as economias resultantes da integração da torre.

Tabela 4.33 Cenário de referência

Equipamento	Cenário de Referência	
	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller	700 700	105 105

Tabela 4.34 Solução proposta

Solução Proposta				
Equipamentos	Água		Energia Elétrica	
	[m3/ano]	[€/ano]	[kWh/ano]	[€/ano]
Chiller			126 720	19 008
Torre	6 379	9 569	27 242	4 086
Total	6 379	9 569	153 961	23 094

Tabela 4.35 Economia

Economia	
[kWh/ano]	[€/ano]
546 738	72 442

4.5.1. Impactos Organizacionais Esperados

Esta instalação tem um consumo global de energia elétrica de 13 796 978 kWh/ano, em que dos quais 700 700 kWh/ano dizem respeito ao consumo de energia elétrica dos equipamentos de produção de frio, representado 5 % do consumo global de energia elétrica da instalação, traduzindo-se em 0.0558 €/kWh dissipado, tendo assim um EER médio de 2.7, o que faz com que sejam libertados para a atmosfera cerca de 329 329 kgCO₂/ano de GEE.

Se for considerada a solução proposta da integração da torre de refrigeração, o consumo de energia elétrica passa a ser de 153 962 kWh/ano, representando assim 1.1 % do consumo global de energia elétrica da instalação, baixando o custo por kWh para 0.0174 €, aumentando assim o EER para 12.2, o que significa uma redução substancial de GEE, passando este a ser de 72 362 kgCO₂/ano o que representa uma diminuição de 78 %.

No que diz respeito a custos com a energia elétrica, considerando a solução da torre de refrigeração este custo diminuiria para 32 663 €/ano já incluindo o custo adicional do consumo de água para reposição o que representaria uma diminuição de 69 %.

4.6. Síntese do capítulo 4

Este capítulo apresentou um conjunto de solução para otimização dos sistemas de refrigeração de cada instalação, onde a solução proposta seria a implementação de uma torre de refrigeração nos respetivos sistemas.

O gráfico da figura 4.12 mostra a comparação do consumo de energia elétrica do cenário de referência vs solução proposta de cada instalação.

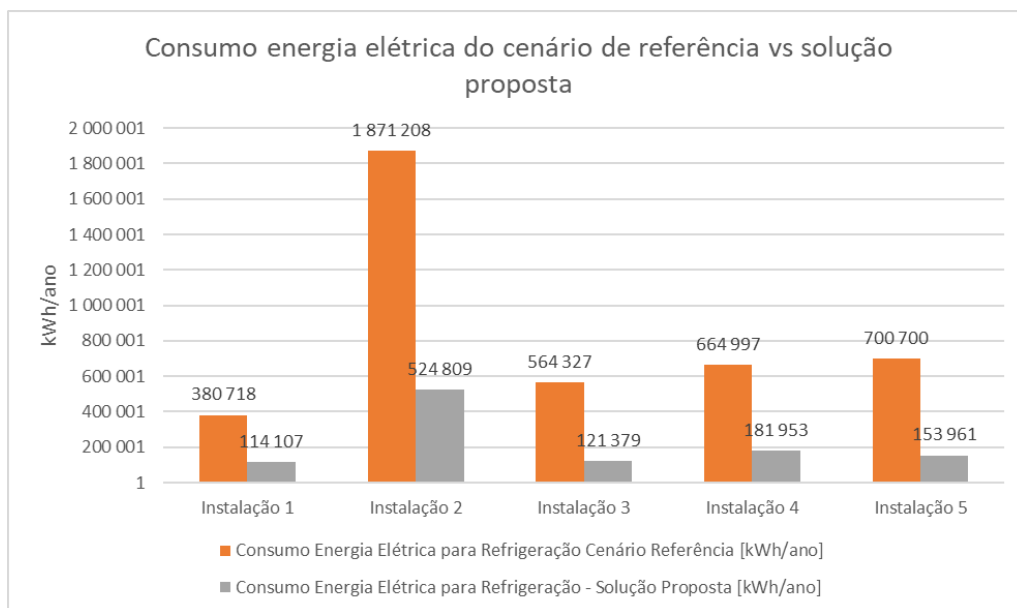


Figura 4.12 Comparação energia elétrica refrigeração vs global da instalação

Conforme se consta no gráfico da figura 4.1, com a implementação de uma torre de refrigeração os consumos de energia elétrica baixaram significativamente.

Na instalação 1 o consumo de energia elétrica passou de 380 718 kWh/ano para 113 922 kWh/ano o que representa uma diminuição de 30 %. Na instalação 2 o consumo de energia elétrica passou de 187 1208 kWh/ano para 52 480 kWh/ano o que representa uma diminuição de 28 %. Na instalação 3 o consumo de energia elétrica passou de 564 327 kWh/ano para 121 381 kWh/ano o que representa uma diminuição de 21.5 %. Na instalação 4 o consumo de energia elétrica passou de 664 997 kWh/ano para 182 059 kWh/ano o que representa uma diminuição de 27.4 %. Na instalação 5 o consumo de energia elétrica passou de 700 700 kWh/ano para 154 141 kWh/ano o que representa uma diminuição de 22 %.

De seguida o gráfico da figura 4.13 compara o custo por kWht do cenário de referência com o custo por kWht da solução proposta.

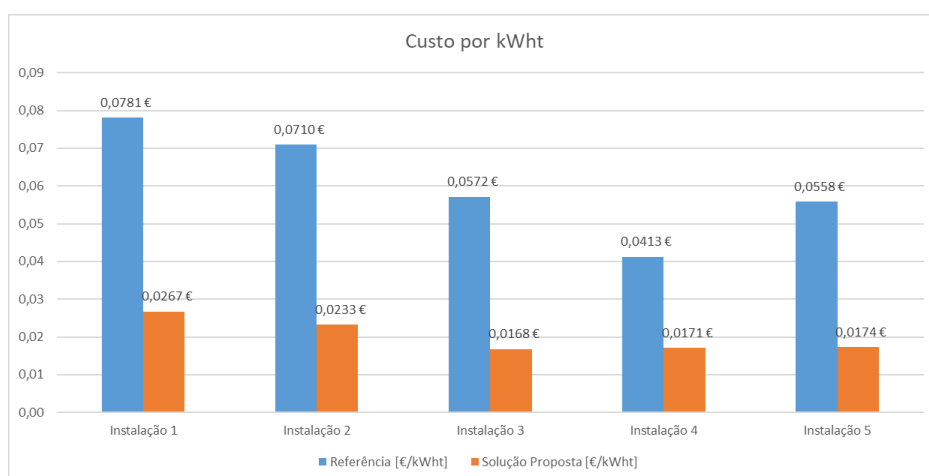


Figura 4.13 Custo por kWh

Conforme se pode verificar através do gráfico representado, a instalação 1 continua a ser a instalação com um custo maior face às outras instalações, onde apresenta um custo de 0.0267 €/kWht, sendo que, em oposição, a instalação 3 passou a ser a que apresenta o custo mais baixo das instalações apresentadas, com cerca de 0.0168 €/kWht. De referir que os custos representados são a soma dos custos da energia elétrica e os custos com a água de reposição identificados em cada instalação no cálculo da água de reposição, o que faz com que a instalação 3 tenha o custo por kWht mais baixo, tendo em conta que é a instalação 4 que tem o melhor desempenho energético, ou seja, possui um EER médio mais elevado face às restantes instalações conforme se pode verificar no gráfico da figura 4.14.

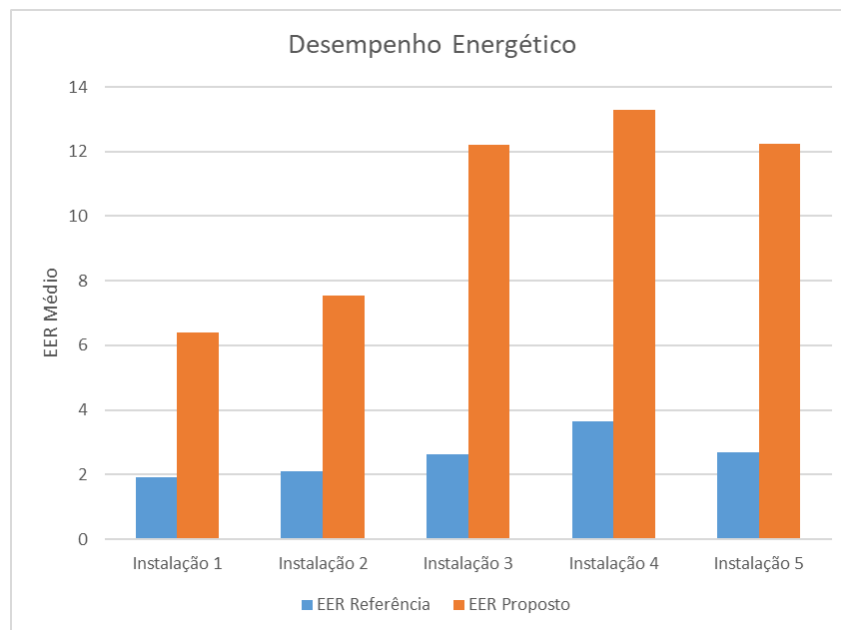


Figura 4.14 Desempenho Energético

Relativamente às soluções na instalação 3, foi estudado além da implementação da torre de refrigeração, a captação de água de um rio que passa junto à instalação.

Fazendo uso dessa água e tendo em conta a média das temperaturas do rio durante o ano, optou-se por apresentar uma solução em que esta passa por captar a água do rio com recurso a eletrobombas, pressupondo que a temperatura máxima da água do rio não chega a atingir a temperatura máxima requerida nos equipamentos consumidores, e então apenas com recurso às eletrobombas, a refrigeração com água captada do rio seria suficiente para as necessidades térmicas da instalação.

O gráfico da figura 4.15 mostra os custos com a energia elétrica por ano, comparando o cenário de referência com as soluções propostas.

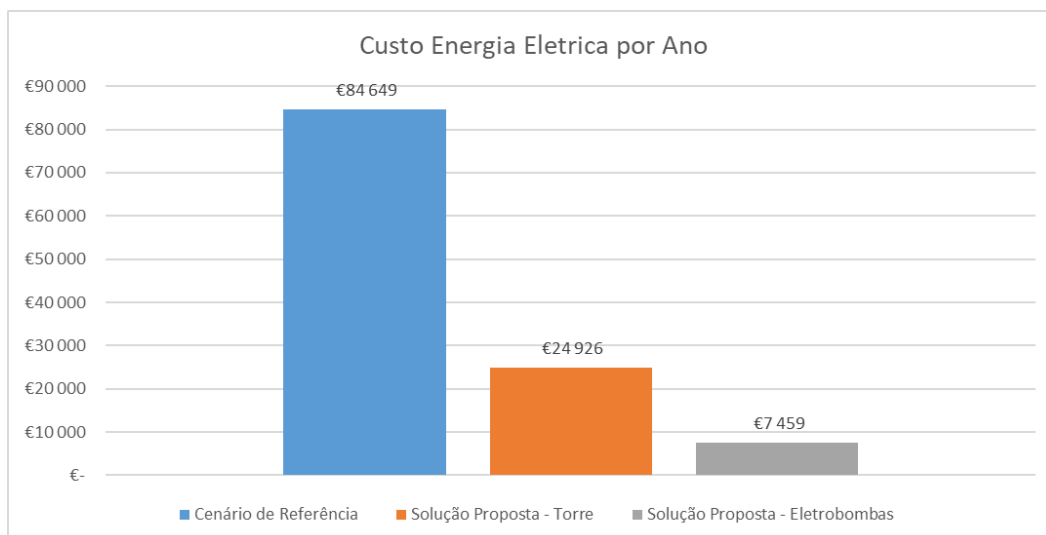


Figura 4.15 Custos Energia Elétrica por Ano

Num cenário ideal a solução apenas com recurso às eletrobombas seria a mais económica, no entanto, comparando a implementação da torre com o cenário de referência verifica-se também que é uma solução bastante económica. De referir que não está a ser ponderado até aqui em nenhuma solução proposta o investimento necessário à compra e instalação das torres de refrigeração ou qualquer material ou equipamento necessário. Já no que diz respeito ao consumo de energia elétrica, também de forma simples se consegue fazer essa comparação no gráfico da figura 4.16.

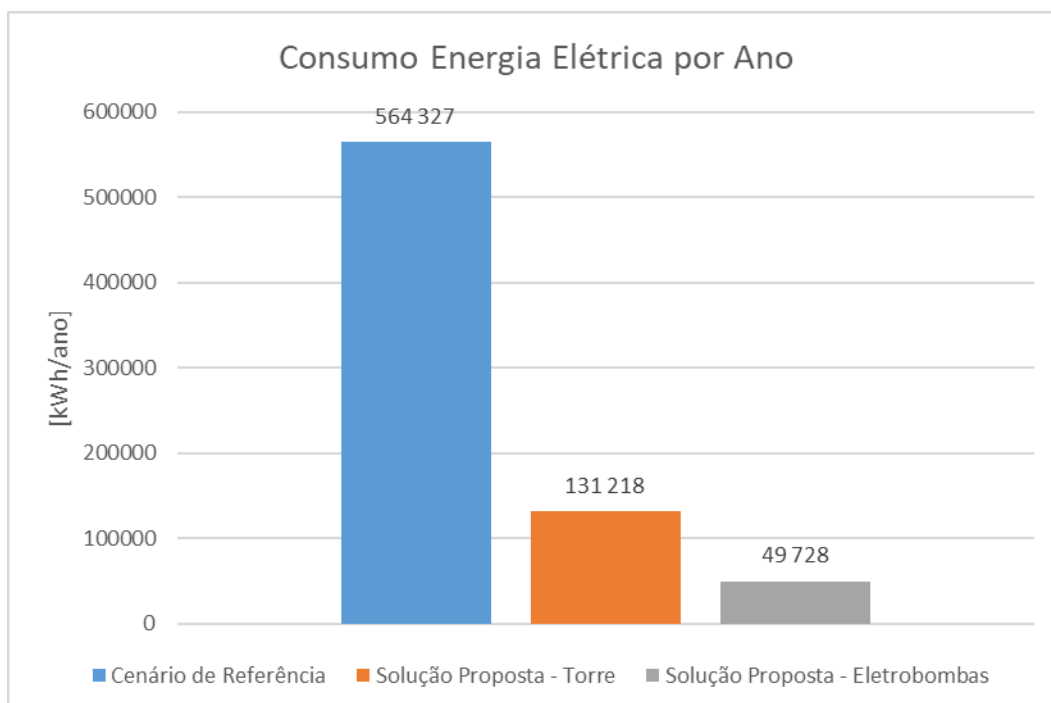


Figura 4.16 Consumo de energia elétrica por ano

Seguindo a tendência do gráfico anterior verifica-se de facto a mesma situação em que num cenário ideal a solução apenas com recurso às eletrobombas apresenta um menor consumo face à implementação da torre.

Em relação à instalação 1 e à proposta apresentada em alternativa à torre, que seria a troca de um chiller com um ERR mais elevado, apresenta-se no gráfico da figura 4.17 a diferença entre o consumo de energia elétrica entre o cenário de referência, a torre e o chiller com melhor desempenho energético do que o atual.

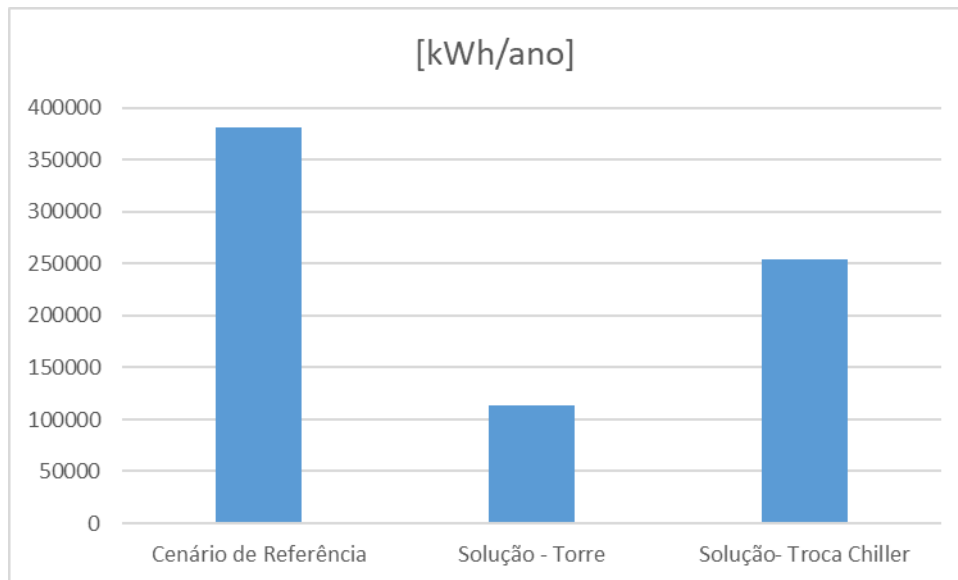


Figura 4.17 Consumo Energia Elétrica por Ano

Apesar da torre ser a solução onde existe menor consumo energético, só o facto de se trocar um chiller por outro com um EER superior faz com que exista uma redução no consumo de energia na ordem dos 33.3 %, o que representa uma poupança também em custos com a energia elétrica na ordem dos 19 067 €/ano.

Capítulo 5

Conclusões

Este capítulo apresenta as propostas de melhoria e trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos sobre a temática abordada neste trabalho, e por fim serão apresentadas as considerações finais.

5.1. Propostas de melhoria / trabalhos futuros

Como foi exposto no início deste trabalho, o mesmo pretendia demonstrar que a integração de uma torre de refrigeração nos processos de refrigeração poderia ser uma solução interessante, economicamente viável e sobretudo mais eficiente, e assim sendo este trabalho não teve em conta outras variáveis que fazem parte de um sistema de refrigeração como foi dito anteriormente.

Tendo em conta que este trabalho apenas apresentou a caracterização dos equipamentos que produzem frio nomeadamente, chillers, dry-coolers e torres de refrigeração, seria importante e interessante dimensionar todo um sistema, ou seja, caracterizar em termos energéticos as respetivas tubagens, válvulas, eletrobombas, etc, de modo que se consiga otimizar todo um sistema, e não apenas os equipamentos expostos neste trabalho.

Mesmo nas soluções apresentadas poderão ser apresentadas outras medidas de melhoria que complementariam e essa solução, como é o caso de se dimensionar um sistema fotovoltaico para fornecer energia elétrica ao ventilador da torre, pois este do modo como foi apresentado e o modo como foi calculado o seu consumo não teve em conta a temperatura de bolbo húmido nem a direção e velocidade do vento, ou seja, independentemente destes fatores, os cálculos apresentados indicam que o ventilador está sempre ligado à sua potência e rotação nominal desde que a torre esteja a funcionar, logo também poderia ser equacionado, além do sistema fotovoltaico, colocar-se um variador eletrónico de velocidade, bem como sensores para medir a temperatura, velocidade do vento e sua direção, pois em determinadas horas ou épocas do ano, o ventilador poderia trabalhar abaixo do seu regime nominal, ou mesmo estar desligado em função das condições climáticas aproveitando deste modo o free-cooling.

No que diz respeito às eletrobombas aqui evidenciadas, as mesmas também poderiam ser complementadas com controlo de caudal recorrendo também a variadores eletrónicos de velocidade, controlando deste modo o caudal em função da temperatura da água do rio.

5.2. Considerações finais

Tendo em conta os objetivos traçados para este trabalhos, pode-se dizer que os mesmos foram alcançados, pois permitiu de uma forma simples verificar que a integração de uma torre

de refrigeração nos processos aqui descritos tornaria o processo mais eficiente em termos energéticos, o que em todas as instalações se verificou uma diminuição do consumo de energia elétrica, o que faz inevitavelmente reduzir os custos com a energia elétrica e ao mesmo tempo diminuir a emissão dos GEE, tornando assim as organizações mais sustentáveis e eficientes do ponto de vista energético. Por motivos de sigilo profissional, não foi possível apresentar os valores de investimento necessários para cada instalação, no entanto o prazo de retorno de investimento médio não é superior a 30 meses.

Tendo em conta os vários incentivos económicos que existem, nomeadamente o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia, estes prazos diminuem consideravelmente, pois as soluções apresentadas poderão ter um incentivo de até 60 % na compra destes equipamentos.

Bibliografia

- [1] Ccenergia, "<https://ccenergia.com/>," [Online]. Available: <https://ccenergia.com/>.
- [2] I. N. d. Estatística, Classificação Portuguesa das Actividades Económicas Rev.3, 2007.
- [3] I. Soares, Eficiência Energética e a ISO50001, Lisboa: Edições Silabo, 2015.
- [4] "wikipédia," [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_t%C3%A9rmica.
- [5] S. B. Van Wylen, Fundamentos da Termodinâmica, Edgard Blucher, 1998.
- [6] "Wiki Engenhari Quimica da Universidade de Coimbra," [Online]. Available: https://wiki.eq.uc.pt/mediawiki/index.php/Permutadores_de_calor.
- [7] A. - A. p. a. Energia, Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração na Indústria - Guia de Boas Práticas, 2022.
- [8] "Evapco," [Online]. Available: <https://www.evapco.com.br/pt-br/products/closed-circuit-coolers-air-cooled/serie-eco-air-dry-cooler-contracorrente-tiragem>.
- [9] "Baltimore Aircoil Company," [Online]. Available: <https://baltimoreaircoil.com/pt-br/o-que-%C3%A9-uma-torre-de-resfriamento>.
- [10] Alpina, Torres de resfriamento de água, 1978.
- [11] Wikipedia, "Wikipedia," [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_bulbo_%C3%BAcido.
- [12] P. H. B. Moreira, "Fermentec News," [Online]. Available: <https://fermentecnews.com.br/2021/02/16/agua-de-resfriamento-em-usinas-de-alcool-e-etanol-impacto-na-productividade-e-melhores-praticas-de-tratamento/>.
- [13] W. d. E. Q. - DEQ/FCTUC, "Wiki de Engenharia Química - DEQ/FCTUC," [Online]. Available: https://wiki.eq.uc.pt/mediawiki/index.php/Ficheiro:Perigo_de_uma_tomada_de_ar_s_e_encontrar_pr%C3%B3xima_de_uma_torre_de_arrefecimento..png.

- [14] I. - I. d. S. e. Qualidade, Manual de Auditorias Energéticas na Indústria, Adene - Agência para a Energia, 2019.
- [15] V. Sarathy, "<https://www.slideshare.net/VijaySarathy7/cooling-tower-makeup-water-estimation>," [Online].
- [16] S. N. d. I. d. R. Hidricos, "<https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=>," [Online].

Anexo 1

Este anexo apresenta as características nominais dos Chillers, medições de temperatura e humidade relativa efetuadas no local das instalações durante 24 horas, não sendo possível apresentar a amostra completa das medições.

Anexo 1.1

30RQP 520

Air-to-Water scroll heat pump with Greenspeed® Intelligence

Performance Information			
Mode		Cooling	Heating
Cooling Capacity (1)	kW	518	-
Heating Capacity (1)	kW	-	517
Cooling Efficiency (EER) (1)	kW/kW	2.79	-
Heating Efficiency (COP) (1)	kW/kW	-	2.36
Unit Power Input (1)	kW	186	219
Sound Power Level (LwA) (1)	dBA	93	-
Sound Pressure Level at 10.0 m (LpA) (1)	dBA	61	-
Minimum Capacity (2)	kW	-	-
Maximum Capacity	kW	518	-

(1) All performances are compliant with EN14511 - 3 : 2018. Sound power level according to ISO9614 - 1.
 (2) Due to the minimum flow rate allowable, a lower inlet water temperature might have to be specified to achieve this performance.



Non contractual picture

Seasonal Efficiency (3)			
Allowed applications for CE mark:			
Comfort Cooling : T _e 2°C	SEER _{12/12°C} η _{yx,cool}	4.24	167
Comfort Cooling : T _e 13°C	SEER _{23/13°C} η _{yx,cool}	4.56	179
High Temp. Process Cooling : T _e 2°C	SEPR _{12/12°C}	5.19	
Low Temp. Comfort Heating : T _c < 55°C*	SCOP _{30/35°C} η _{yx,heat}	3.39	133

* ECODSIGN Compliant as per regulation (EU) N°813/2013

(3) All data related to seasonal efficiency are given for standard units and main options (Brine, pump, energy efficiency...).

Operating Conditions			
System element		Cooling	Heating
Evaporator			
Fluid	Fluid Type	Fresh Water	-
	Fouling Factor (sqm-K)/kW	0	-
	Leaving Temperature °C	7.0	-
	Entering Temperature °C	16.9	-
	Fluid Flow l/s	12.5	-
	Total Pressure Drop kPa	8.73	-
	Entering Air Temperature (dry bulb) °C	-	7.0
	Entering Air Temperature (wet bulb) °C	-	6.5
	Relative Humidity %	-	94
	Condenser		
Fluid	Fluid Type	-	Fresh Water
	Fouling Factor (sqm-K)/kW	-	0
	Leaving Temperature °C	-	55.0
	Entering Temperature °C	-	45.0
	Fluid Flow l/s	-	12.5
	Total Pressure Drop kPa	-	7.17
Entering Air Temperature °C	35.0	-	-
Altitude m		0	

Unit Information	
Manufacturing Source	Montluel
Refrigerant Type	R410A
Refrigerant Weight kg	112
Tonnes CO2 Equivalent Tonnes	234
Number of Refrigerant Circuit	2
Number Of Compressor	8
Number Of Fan	8
Operating / Shipping Weight kg	3563/3563
Unit Dimensions (LxWxH) mm	4798x2252x2323

Unit Configuration	
15	Low noise level
23A	Enclosure panels

Electric Information		
Unit Voltage	V-Ph-Hz	400-3-50
Standby Power	kW	1.23
Power Factor		0.884
Circuit 1		
Maximum Current	A	419
Start Up Current	A	629
Current at Eurovent Conditions	A	316

Documentation	
	PSD
	IOM
	Technical Drawing
	Revit File

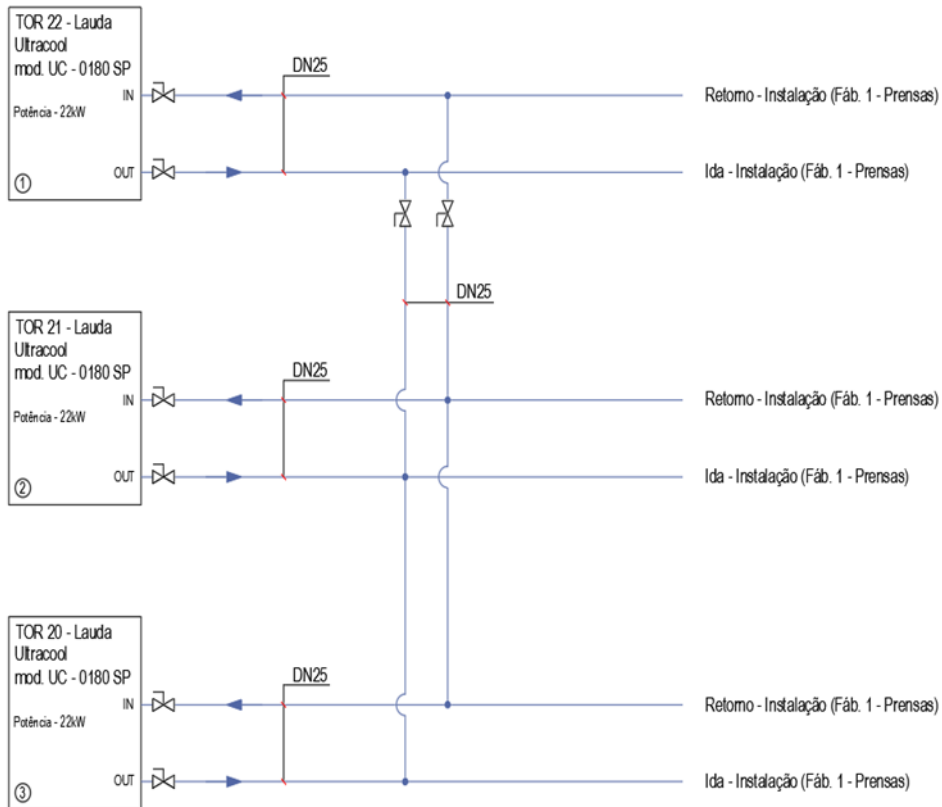
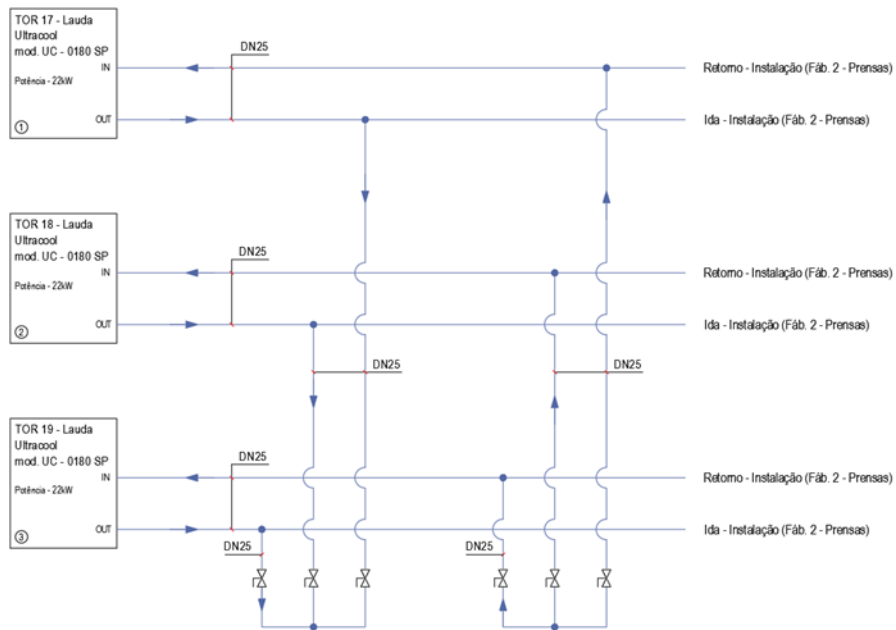
Anexo 1.2

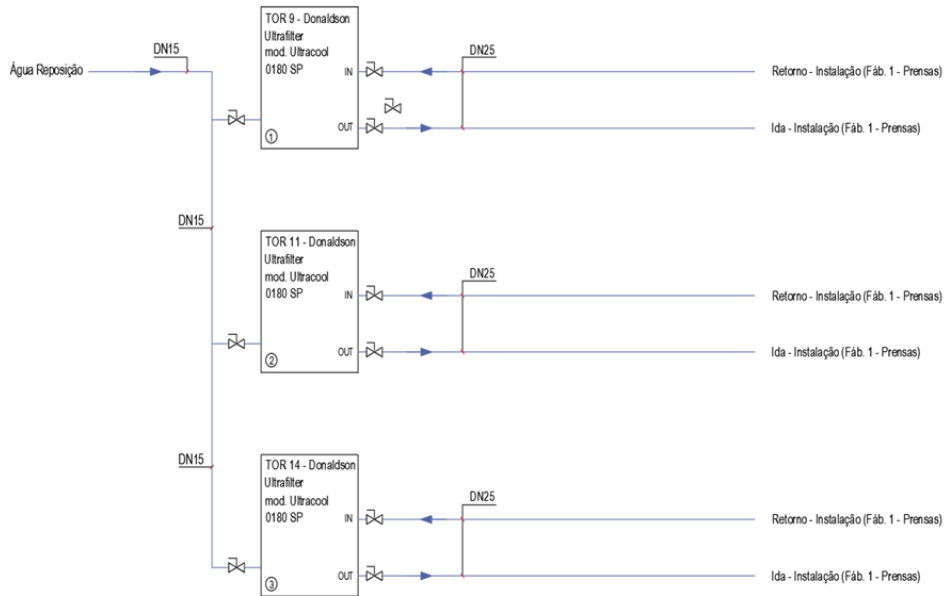
Dia Juliano	Hora Solar	T [°C]	Hr [%]
166	1	18,1	91
166	2	17,1	94
166	3	16,3	97
166	4	15,7	98
166	5	15,2	98
166	6	14,9	98
166	7	14,8	98
166	8	15,4	98
166	9	17	93
166	10	19,4	85
166	11	22	75
166	12	24,3	67
166	13	26	61
166	14	26,6	59
166	15	26,5	60
166	16	26,2	61
166	17	25,7	63
166	18	25	66
166	19	24,2	69
166	20	23,3	73
166	21	22,3	76
166	22	21,2	81
166	23	20,1	85
166	24	19,1	89

Anexo 1.3

Dia Juliano	Hora Solar	T [°C]	Hr [%]
159	1	17,3	96
159	2	16,6	98
159	3	16	98
159	4	15,6	98
159	5	15,2	98
159	6	15	98
159	7	14,9	98
159	8	15,3	98
159	9	16,5	98
159	10	18,3	92
159	11	20,2	85
159	12	22	79
159	13	23,2	74
159	14	23,6	73
159	15	23,5	73
159	16	23,3	73
159	17	23	74
159	18	22,5	76
159	19	21,9	78
159	20	21,2	80
159	21	20,4	83
159	22	19,7	85
159	23	18,9	88
159	24	18,1	90

Anexo 1.4





Anexo 1.5

Ultracool Mini- UC 0010 - 0240

UC Mini	Cooling capacity		Water flow l/h	Water pressure (l)		Water tank 1	Motor fan m ³ /h	Power kW		
	kW	kcal/h		3 bar	5 bar			ST	SP3bar	SP5bar
0010	0,70	602	120	3,6	0,6 (2)	6	500	-	1,02	0,57 (2)
0020	1,96	1686	337	3,5	5,4	35	1500	0,92	1,49	1,82
0030	3,59	3087	617	3,5	5,2	35	2200	1,18	1,75	2,08
0040	4,81	4137	827	3,4	5,1	35	2500	1,38	1,95	2,28
0060	7,00	5020	1204	3,3	5,5 (3)	75	6000	2,27	2,89	3,37
0080	9,29	7989	1598	3,0	5,4 (3)	75	6000	2,87	3,49	3,97
0100	11,72	10079	2016	2,8	5,3 (3)	100	8800	3,71	4,33	4,81
0140	15,28	13141	2628	2,8	5,1 (3)	100	8300	4,66	5,35	5,76
0180	21,82	18765	3753	3,5 (3)	5,5 (3)	200	13000	6,28	7,03	8,13
0240	29,32	25215	5043	2,8 (3)	5,3 (3)	200	12600	8,28	9,03	10,13

Related to nominal conditions: Water outlet temperature 10°C and ambient temperature 25°C
 (1) Superplus units (2) Special unit with recirculating pump (3) Entirely stainless steel pump

Selection example:

$$C_{NOM} = C_{WORK} / (F1 \cdot F2)$$

Example:

$$C_{WORK} = 10 \text{ kW}$$

Cold water temperature: 20°C

Ambient temperature: 30°C

$$C_{NOM} = 10 / (1,25 \cdot 0,9) = 8,89 \text{ kW}$$

ULTRACOOL UC-0080 4% oversized

PRODUCT DATA SHEET

Ultracool UC-0180 SP

Six UC Midi types have cooling outputs ranging from 7.1 up to 26.3 kW. The models work with a reciprocating or scroll compressor and a centrifugal pump. The noise-reduced pump allows customers to easily adjust the water flow. The use of R134a as refrigerant ensures very low working pressures inside the refrigeration system and operation in ambient temperatures up to 50 °C. The integrated motor fan speed regulator allows operation in ambient conditions up to -15 °C and reduces the noise level additionally. The models UC-0060 to UC-0240 are also available as UC laser models with pre-configured options included.



Working temperature min.
-5 °C



Working temperature max.
25 °C

Technical Attributes	Ultracool UC-0180 SP
Working temperature min.	-5 °C
Working temperature max.	25 °C
Ambient temperature min.	-15 °C
Ambient temperature max.	50 °C
Temperature stability	2 ±K
Cooling output at 25°C water outlet temperature	32.9 kW
Cooling output at 20°C water outlet temperature	30.2 kW
Cooling output at 15°C water outlet temperature	26 kW
Cooling output at 10°C water outlet temperature	22 kW
Cooling output at 5°C water outlet temperature	18 kW
Cooling output at 0°C water outlet temperature	14.5 kW
Cooling output at -5°C water outlet temperature	11.5 kW
Number of refrigeration circuits	1
Application	external
Power consumption	6.6 kW

Technical Attributes	Ultracool UC-0180 SP
Pump pressure max.	4.2 bar
Pump pressure nominal	3.2 bar
Pump flow max. (pressure)	130 L/min
Pump flow nominal	62.6 L/min
Pump connection thread	HT DN25
Volume water reservoir	100 L
Dimensions (WxDxH) in mm	715x945x1490
Noise level	56 dB(A)
Max. fuse	32 A

Technical data

Model ICE	076	090	116	150	183	230	310	360	
Cooling capacity ¹	kW	76,0	90,2	115,5	149,2	182,3	228	309	360
Compressor abs. power ¹	kW	15,4	20,3	24,9	30,8	40,1	51,4	65	82
Power supply	V/pH/Hz	400/3/50 no neutral							
Protection index		54							
Refrigerant		R407C							
Compressors									
Type		Hermetic scroll							
Compressors/circuits		2/2				4/2			
Max abs. power - 1 comp.	kW	11,1	13,7	16,8	11,1	13,7	16,8	23,3	28,7
Axial fans									
Quantity	n°	3		2		3		4	
Max abs. Power - 1 fan	kW	0,78	0,78	0,78	2	2	2	2	2
Air flow	m³/h	25500	25000	26400	47000	46000	66000	88000	88000
Centrifugal fans									
Quantity	N°	3			3			N.A.	
Max abs. Power - 1 fan	kW	1,5	1,5	1,5	3	3	3	N.A.	
Air flow	m³/h	25500	25000	26400	47000	46000	66000	N.A.	
Head pressure	Pa	100	100	100	180	180	130	N.A.	
Water cooled version									
Condenser water flow	m³/h	11,1	11,5	16,6	19,2	31,0	33,0	N.A.	
Condensers connections	in	1 ¼"	1 ¼"	1 ¼"	1 ¼"	1 ¼"	1 1/2"	N.A.	
Pump P30									
Max abs. power	kW	2,5	2,7	2,7	4,5	4,5	4,5	8,4	8,4
Water flow (nom/max) ¹	m³/h	13/31	15/27	20/27	25/50	30/50	39/50	53/90	62/90
Head pressure (nom/min) ¹	m H ₂ O	23/13	28/16	25/16	34/20	32/20	26/20	26/19	23/19
Dimensions and weight									
Width	mm	898	898	898	1287	1287	1287	1500	1500
Depth	mm	2200	2200	2200	3000	3000	3260	4200	4200
Height	mm	1984	1984	1984	2298	2298	2298	2240	2240
Connections In/out	in	2"	2"	2"	2 ½"	2 ½"	2 ½"	4"	4"
Tank capacity	l	500	500	500	1000	1000	1000	400	400
Weight (axial)	kg	800	900	1000	1500	1800	2100	2900	3100
Weight (centrif.)	kg	950	1050	1150	1700	2000	2300	N.A.	
Weight (water-cooled)	kg	800	900	1000	1500	1800	2100	N.A.	
Noise level									
Sound pressure (axial) ²	dB(A)	58	58	58	62	62	64	65	65

1) at water in/out temperature = 20/15 °C, glycol 0 %, either 25 °C ambient temperature (air-cooled models) or 25 °C condenser water inlet temperature with 35°C condensing temperature (water-cooled models).
2) referred to axial fan version in free field conditions at a distance of 10m from unit, measured on condenser side, 1m from ground.

Model	ICEP										ICE									
	007	010	014	020	024	030	040	050	060	076	090	116	150	183	230	310	360			
Cooling Capacity ¹	kW																			
Compr. abs. power ¹	kW																			
Cooling Capacity ²	kW																			
Compr. abs. power ²	kW																			
Power supply	V/Ph/Hz																			
Protection class	54																			
Refrigerant	R407C																			
Compressors																				
Type	scroll																			
Compressor / circuits	hermetic compliant scroll																			
Max. abs. power-1 compr.	kW																			
Axial fans																				
Quantity	N°																			
Max. abs. power-1 fan	kW																			
Total air flow	m³/h																			
PumpP15																				
Type	centrifugal																			
Max. abs. power	kW																			
Water flow (nom/max) ³	m³/h																			
Head pressure (nom/min) ³	mH ₂ O																			
Water flow (nom/max) ³	m³/h																			
Head pressure (nom/min) ³	mH ₂ O																			
Dimensions & Weight																				
Width	mm																			
Depth	mm																			
Height	mm																			
Connection in / out	in																			
Tank Capacity	l																			
Weight (axial) ⁴	kg																			
Noiselevel																				
Noise level ⁵	dB(A)																			

¹ data refers to water inlet/outlet temperature = 20/15 °C, glycol 0 %, ambient temperature 25 °C.
² data refers to water inlet/outlet temperature = 5/1 °C, glycol 10 %, ambient temperature 35 °C.
³ weights are inclusive of pallet and refrigerant charge.
⁴ in free field conditions at a distance of 10 m from the unit, measured on condenser side, 1m from ground.
All models supplied with R407C and with power supply 400V / 50Hz.

Anexo 1.6

Dia Juliano	Hora Solar	T [°C]
94	1	15,70
94	2	14,40
94	3	15,00
94	4	14,30
94	5	13,00
94	6	10,70
94	7	10,00
94	8	10,50
94	9	11,10
94	10	11,20
94	11	11,30
94	12	11,30
94	13	11,6
94	14	11
94	15	11,2
94	16	11,3
94	17	11,6
94	18	11,5
94	19	11,8
94	20	12,5
94	21	13,4
94	22	16,5
94	23	13,5
94	24	15,1

Anexo 1.7

CHA/J/A 1902

Aircooled liquid chiller with axial fans



OFFER: 1	POSITION: 1	QUANTITY: 1	
GENERAL INFORMATION		Summer	Winter
Cooling capacity	kW	517,0	
Heating capacity	kW		
Power input compressors	kW	121,8	
EER / COP *		3,78	
Refrigerant	Type	R513A	
Compressors	Type	Screw	
Compressors / Refrigerant circuits	n°	2 / 2	
Capacity steps	%	stepless	
Refrigerant charge	kg	48,0	
ESEER/IPLV		4,18	4,49
SEER/SCOP		4,22	
ELECTRICAL DATA			
Unit power input	kW	137,0	
Unit absorbed current	A	248,2	
Unit max running current	A	302,0	
Unit max starting current	A	362,0	
Electrical supply (power)	V/Hz/Ph	400/50/3	
Electrical supply (auxiliary)	V/Hz/Ph	230/50/1	
SOUND LEVEL			
Sound pressure level in free field at 1 m (ISO 3744) *	dB(A)	76	
FAN SECTION (PRIMARY)			
Condenser	Type	Finned coils	
Fans	n°	8	
Ambient air temperature	°C	37,0	
Air flow	m³/s	38,9	
Available static pressure	Pa	0,00	
Power input	kW	15,20	
Current input	A	31,2	
HYDRAULIC SECTION (SECONDARY)			
Evaporator	Type	Shell and Tube	
Fluid		Water	
Fouling factor	m² K/W	0,000000	
Inlet temperature	°C	20,0	
Outlet temperature	°C	14,0	
Water flow	l/s	20,7	
Pressure drop	kPa	46,8	
DIMENSIONS AND WEIGHT			
Length x Width x Height	mm	5550x2200x2100	
Transport weight / Operating weight	kg	3707 / 3890	

*The data reported does not include any accessories installed

3.1 GENERAL TECHNICAL DATA

FOCS2
CA

SIZE	1502	1702	1902	1922	2202	2602	2652
FOCS2 /CA							
COOLING (GROSS VALUE)	(1)						
Cooling capacity	311	356	406	455	512	558	597
Total power input (unit)	97,8	113	127	145	163	178	189
EER	3,18	3,16	3,19	3,15	3,15	3,14	3,16
ESEER	4,06	4,13	4,22	4,35	4,05	4,18	4,17
Heat exchanger water flow	m ³ /h	53,5	61,3	69,9	78,4	88,2	96,1
Heat exchanger pressure drop	kPa	24,6	32,2	41,9	29,0	36,7	34,8
FOCS2 /CA							
COOLING (EN14511 VALUE)	(*) (1)						
Cooling capacity	310	355	403	454	511	557	595
EER	3,15	3,12	3,14	3,12	3,11	3,10	3,12
ESEER	3,95	4,00	4,06	4,22	3,92	4,06	4,03
EUROVENT Class	A	A	A	A	A	A	A
FOCS2 /D /CA							
COOLING WITH PARTIAL RECOVERY	(2)						
Cooling capacity	kW	323	370	421	472	532	619
Total power input (unit)	kW	94,8	110	124	140	158	183
Heat exchanger water flow	m ³ /h	53,5	61,3	69,9	78,4	88,2	96,1
Heat exchanger pressure drop	kPa	24,6	32,2	41,9	29,0	36,7	34,8
Heat recovery thermal capacity	kW	76,6	86,5	99,4	115	127	141
Heat exchanger recovery water flow	m ³ /h	13,3	15,0	17,3	20,0	22,1	24,5
Plant side heat exchanger recovery pressure drop	kPa	28,9	36,8	48,7	29,8	36,6	45,0
FOCS2 /R /CA							
COOLING WITH TOTAL RECOVERY	(3)						
Cooling capacity	kW	306	344	392	441	499	578
Total power input (unit)	kW	86,3	98,6	112	126	142	165
Heat exchanger water flow	m ³ /h	53,5	61,3	69,9	78,4	88,2	96,1
Heat exchanger pressure drop	kPa	24,6	32,2	41,9	29,0	36,7	34,8
Heat recovery thermal capacity	kW	387	437	497	559	633	732
Heat exchanger recovery water flow	m ³ /h	67,3	76,0	86,4	97,1	110	120
Plant side heat exchanger recovery pressure drop	kPa	51,7	49,6	50,4	50,5	49,3	46,8
COMPRESSORS							
Number	N°	2	2	2	2	2	2
Number of capacity	N°	-	-	-	-	-	-
Number of circuits	N°	2	2	2	2	2	2
Type of regulation		STEPLESS	STEPLESS	STEPLESS	STEPLESS	STEPLESS	STEPLESS
Minimum capacity steps	%	25	25	25	25	25	25
Type of refrigerant		R134a	R134a	R134a	R134a	R134a	R134a
Refrigerant charge	kg.	50	50	64	69	84	84
Oil charge	kg.	30	30	30	30	44	38
FANS							
Number	N°	6	8	8	8	10	12
Air flow	m ³ /s	34,7	43,7	42,2	46,0	54,9	66,2
Single power input	kW	2	2	2	2	2	2
NOISE LEVELS							
Total sound power	dB(A)	98	98	99	99	100	101
Total sound pressure	dB(A)	66	66	67	67	68	69
DIMENSIONS AND WEIGHTS							
(5)							
Length	mm.	4000	4000	4000	4900	4900	5800
Width	mm.	2260	2260	2260	2260	2260	2260
Height	mm.	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Weight	kg.	3530	3650	3780	4260	4920	5460

Anexo 1.8

Dia Juliano	Hora Solar	T[°C]
183	1	18,90
183	2	19,00
183	3	18,70
183	4	18,70
183	5	18,50
183	6	18,40
183	7	18,30
183	8	18,30
183	9	18,90
183	10	20,40
183	11	21,60
183	12	24,40
183	13	24,60
183	14	24,60
183	15	23,10
183	16	23,90
183	17	23,80
183	18	24,80
183	19	25,60
183	20	23,50
183	21	21,30
183	22	19,90
183	23	19,50
183	24	18,80

Anexo 1.9

Dia Juliano	Hora Solar	T [°C]
85	1	13,60
85	2	11,30
85	3	10,30
85	4	9,10
85	5	7,10
85	6	7,50
85	7	5,90
85	8	6,80
85	9	10,90
85	10	16,90
85	11	19,50
85	12	24,30
85	13	28,20
85	14	29,70
85	15	31,50
85	16	31,30
85	17	29,50
85	18	25,80
85	19	23,00
85	20	17,70
85	21	16,00
85	22	14,40
85	23	12,40
85	24	11,70

Anexo 2

Este anexo apresenta uma amostra da folha de cálculo feita em excel para simular o funcionamento dos equipamentos consoante a temperatura de bolbo húmido e approach à torre. A folha completa tem cerca de 8760 linhas, pelo que não é possível colocar neste anexo toda a informação.

Anexo 2.1

Dia e Hora	Dia da Semana	Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Torre Saida Água [°C]	Calculo Aux.	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
22/06/2023 00:00	Dia Util	FALSO	16,70	22,20	0,7742	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 01:00	Dia Util	FALSO	15,90	21,40	0,9032	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 02:00	Dia Util	FALSO	16,00	21,50	0,8871	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 03:00	Dia Util	FALSO	15,70	21,20	0,9355	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 04:00	Dia Util	FALSO	15,40	20,90	0,9839	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 05:00	Dia Util	FALSO	15,30	20,80	1,0000	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 06:00	Dia Util	FALSO	15,20	20,70	1,0161	FALSO	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 07:00	Dia Util	FALSO	15,50	21,00	0,9677	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 08:00	Dia Util	282,89	16,10	21,60	0,8710	246,39	36,50	2,20	18,89
22/06/2023 09:00	Dia Util	282,89	17,00	22,50	0,7258	205,32	77,57	2,20	40,15
22/06/2023 10:00	Dia Util	282,89	17,90	23,40	0,5806	164,26	118,63	2,20	61,41
22/06/2023 11:00	Dia Util	282,89	17,90	23,40	0,5806	164,26	118,63	2,20	61,41
22/06/2023 12:00	Dia Util	282,89	18,40	23,90	0,5000	141,44	141,44	2,20	73,21
22/06/2023 13:00	Dia Util	282,89	19,10	24,60	0,3871	109,51	173,38	2,20	89,75
22/06/2023 14:00	Dia Util	282,89	19,10	24,60	0,3871	109,51	173,38	2,20	89,75
22/06/2023 15:00	Dia Util	282,89	19,10	24,60	0,3871	109,51	173,38	2,20	89,75
22/06/2023 16:00	Dia Util	282,89	19,20	24,70	0,3710	104,94	177,95	2,20	92,11
22/06/2023 17:00	Dia Util	282,89	18,60	24,10	0,4677	132,32	150,57	2,20	77,94
22/06/2023 18:00	Dia Util	FALSO	19,10	24,60	0,3871	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 19:00	Dia Util	FALSO	18,90	24,40	0,4194	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 20:00	Dia Util	FALSO	18,80	24,30	0,4355	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 21:00	Dia Util	FALSO	18,50	24,00	0,4839	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 22:00	Dia Util	FALSO	18,20	23,70	0,5323	0,00	0,00	0,00	0,00
22/06/2023 23:00	Dia Util	FALSO	17,70	23,20	0,6129	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 00:00	Dia Util	FALSO	17,90	23,40	0,5806	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 01:00	Dia Util	FALSO	17,50	23,00	0,6452	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 02:00	Dia Util	FALSO	17,30	22,80	0,6774	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 03:00	Dia Util	FALSO	17,20	22,70	0,6935	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 04:00	Dia Util	FALSO	17,00	22,50	0,7258	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 05:00	Dia Util	FALSO	16,90	22,40	0,7419	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 06:00	Dia Util	FALSO	16,90	22,40	0,7419	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 07:00	Dia Util	FALSO	17,30	22,80	0,6774	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 08:00	Dia Util	282,89	18,10	23,60	0,5484	155,13	127,76	2,20	66,13
23/06/2023 09:00	Dia Util	282,89	19,10	24,60	0,3871	109,51	173,38	2,20	89,75
23/06/2023 10:00	Dia Util	282,89	20,10	25,60	0,2258	63,88	219,01	2,20	113,36
23/06/2023 11:00	Dia Util	282,89	20,80	26,30	0,1129	31,94	250,95	2,20	129,90
23/06/2023 12:00	Dia Util	282,89	21,20	26,70	0,0484	13,69	269,20	2,20	139,34
23/06/2023 13:00	Dia Util	282,89	21,50	27,00	0,0000	0,00	282,89	0,00	146,43
23/06/2023 14:00	Dia Util	282,89	21,40	26,90	0,0161	4,56	278,33	2,20	144,07
23/06/2023 15:00	Dia Util	282,89	21,40	26,90	0,0161	4,56	278,33	2,20	144,07
23/06/2023 16:00	Dia Util	282,89	21,20	26,70	0,0484	13,69	269,20	2,20	139,34
23/06/2023 17:00	Dia Util	282,89	21,10	26,60	0,0645	18,25	264,64	2,20	136,98
23/06/2023 18:00	Dia Util	FALSO	20,70	26,20	0,1290	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 19:00	Dia Util	FALSO	20,60	26,10	0,1452	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 20:00	Dia Util	FALSO	20,10	25,60	0,2258	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 21:00	Dia Util	FALSO	19,80	25,30	0,2742	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 22:00	Dia Util	FALSO	19,40	24,90	0,3387	0,00	0,00	0,00	0,00
23/06/2023 23:00	Dia Util	FALSO	18,90	24,40	0,4194	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo 2.2

Tabela de Líquido e Vapor Saturado da Água

TABLE A-4
Saturated water—Temperature table

Temp., T°C	Sat. press., P _{sat} , kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg·K)		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
Sat. press., MPa												
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698

904

Anexo 2.3

Dia e Hora	Dia da Semana	Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Torre Saída Água [°C]	Calculo Aux.	Torre [kWht]	Chiller [kWht]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
21/03/2023 00:00	Dia Util	614,69	9,6	15,10	1,8000	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 01:00	Dia Util	614,69	9,2	14,70	1,8727	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 02:00	Dia Util	614,69	9,1	14,60	1,8909	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 03:00	Dia Util	614,69	8,7	14,20	1,9636	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 04:00	Dia Util	614,69	8,6	14,10	1,9818	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 05:00	Dia Util	614,69	7,9	13,40	2,1091	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 06:00	Dia Util	614,69	7,9	13,40	2,1091	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 07:00	Dia Util	614,69	8,6	14,10	1,9818	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 08:00	Dia Util	614,69	9,2	14,70	1,8727	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 09:00	Dia Util	614,69	10	15,50	1,7273	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 10:00	Dia Util	614,69	10,8	16,30	1,5818	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 11:00	Dia Util	614,69	11,6	17,10	1,4364	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 12:00	Dia Util	614,69	12,1	17,60	1,3455	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 13:00	Dia Util	614,69	12,3	17,80	1,3091	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 14:00	Dia Util	614,69	12,3	17,80	1,3091	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 15:00	Dia Util	614,69	12,2	17,70	1,3273	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 16:00	Dia Util	614,69	12	17,50	1,3636	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 17:00	Dia Util	614,69	12	17,50	1,3636	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 18:00	Dia Util	614,69	11,6	17,10	1,4364	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 19:00	Dia Util	614,69	11,3	16,80	1,4909	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 20:00	Dia Util	614,69	11,2	16,70	1,5091	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 21:00	Dia Util	614,69	10,8	16,30	1,5818	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 22:00	Dia Util	614,69	10,4	15,90	1,6545	614,69	0,00	22,50	0,00
21/03/2023 23:00	Dia Util	614,69	10,3	15,80	1,6727	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 00:00	Dia Util	614,69	9	14,50	1,9091	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 01:00	Dia Util	614,69	8,6	14,10	1,9818	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 02:00	Dia Util	614,69	8,1	13,60	2,0727	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 03:00	Dia Util	614,69	7,9	13,40	2,1091	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 04:00	Dia Util	614,69	7,6	13,10	2,1636	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 05:00	Dia Util	614,69	7,4	12,90	2,2000	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 06:00	Dia Util	614,69	7,2	12,70	2,2364	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 07:00	Dia Util	614,69	7,6	13,10	2,1636	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 08:00	Dia Util	614,69	8,6	14,10	1,9818	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 09:00	Dia Util	614,69	9,6	15,10	1,8000	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 10:00	Dia Util	614,69	10,7	16,20	1,6000	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 11:00	Dia Util	614,69	11,6	17,10	1,4364	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 12:00	Dia Util	614,69	12,1	17,60	1,3455	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 13:00	Dia Util	614,69	12,3	17,80	1,3091	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 14:00	Dia Util	614,69	12,2	17,70	1,3273	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 15:00	Dia Util	614,69	12,1	17,60	1,3455	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 16:00	Dia Util	614,69	12	17,50	1,3636	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 17:00	Dia Util	614,69	11,8	17,30	1,4000	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 18:00	Dia Util	614,69	11,5	17,00	1,4545	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 19:00	Dia Util	614,69	11,1	16,60	1,5273	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 20:00	Dia Util	614,69	10,7	16,20	1,6000	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 21:00	Dia Util	614,69	10,3	15,80	1,6727	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 22:00	Dia Util	614,69	9,9	15,40	1,7455	614,69	0,00	22,50	0,00
22/03/2023 23:00	Dia Util	614,69	9,3	14,80	1,8545	614,69	0,00	22,50	0,00

Anexo 2.4

Dia e Hora	Dia da Semana	Necessidades	Dados Climáticos	Torre Saida	Calculo	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador	Chiller
09/02/2023 00:00	Dia Util	220,34	5,6	11,10	3,2706	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 01:00	Dia Util	220,34	5	10,50	3,4118	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 02:00	Dia Util	220,34	4,5	10,00	3,5294	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 03:00	Dia Util	220,34	4	9,50	3,6471	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 04:00	Dia Util	220,34	3,6	9,10	3,7412	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 05:00	Dia Util	220,34	3,4	8,90	3,7882	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 06:00	Dia Util	220,34	3,3	8,80	3,8118	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 07:00	Dia Util	220,34	3,7	9,20	3,7176	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 08:00	Dia Util	220,34	4,8	10,30	3,4588	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 09:00	Dia Util	220,34	6,2	11,70	3,1294	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 10:00	Dia Util	220,34	7,7	13,20	2,7765	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 11:00	Dia Util	220,34	8,8	14,30	2,5176	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 12:00	Dia Util	220,34	9,6	15,10	2,3294	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 13:00	Dia Util	220,34	9,8	15,30	2,2824	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 14:00	Dia Util	220,34	9,8	15,30	2,2824	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 15:00	Dia Util	220,34	9,7	15,20	2,3059	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 16:00	Dia Util	220,34	9,3	14,80	2,4000	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 17:00	Dia Util	220,34	9,3	14,80	2,4000	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 18:00	Dia Util	220,34	9,1	14,60	2,4471	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 19:00	Dia Util	220,34	8,7	14,20	2,5412	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 20:00	Dia Util	220,34	8,2	13,70	2,6588	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 21:00	Dia Util	220,34	7,7	13,20	2,7765	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 22:00	Dia Util	220,34	7,1	12,60	2,9176	220,34	0,00	2,20	0,00
09/02/2023 23:00	Dia Util	220,34	6,4	11,90	3,0824	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 00:00	Dia Util	220,34	5,9	11,40	3,2000	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 01:00	Dia Util	220,34	5,6	11,10	3,2706	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 02:00	Dia Util	220,34	5,2	10,70	3,3647	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 03:00	Dia Util	220,34	5	10,50	3,4118	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 04:00	Dia Util	220,34	4,8	10,30	3,4588	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 05:00	Dia Util	220,34	4,7	10,20	3,4824	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 06:00	Dia Util	220,34	4,3	9,80	3,5765	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 07:00	Dia Util	220,34	5	10,50	3,4118	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 08:00	Dia Util	220,34	5,7	11,20	3,2471	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 09:00	Dia Util	220,34	6,7	12,20	3,0118	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 10:00	Dia Util	220,34	7,7	13,20	2,7765	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 11:00	Dia Util	220,34	8,6	14,10	2,5647	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 12:00	Dia Util	220,34	9,2	14,70	2,4235	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 13:00	Dia Util	220,34	9,5	15,00	2,3529	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 14:00	Dia Util	220,34	9,4	14,90	2,3765	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 15:00	Dia Util	220,34	9,4	14,90	2,3765	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 16:00	Dia Util	220,34	9,2	14,70	2,4235	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 17:00	Dia Util	220,34	8,9	14,40	2,4941	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 18:00	Dia Util	220,34	8,6	14,10	2,5647	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 19:00	Dia Util	220,34	8,5	14,00	2,5882	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 20:00	Dia Util	220,34	8	13,50	2,7059	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 21:00	Dia Util	220,34	7,6	13,10	2,8000	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 22:00	Dia Util	220,34	7,2	12,70	2,8941	220,34	0,00	2,20	0,00
10/02/2023 23:00	Dia Util	220,34	6,7	12,20	3,0118	220,34	0,00	2,20	0,00

Anexo 2.5

Dia e Hora	Dia da Semana	Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th [°C]	Torre Saida Água [°C]	Calculo Aux.	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
07/08/2023 00:00	Dia Util	442,00	18,4	23,90	0,3333	147,33	294,67	11,00	62,70
07/08/2023 01:00	Dia Util	442,00	17,9	23,40	0,4848	214,30	227,70	11,00	48,45
07/08/2023 02:00	Dia Util	442,00	17,4	22,90	0,6364	281,27	160,73	11,00	34,20
07/08/2023 03:00	Dia Util	442,00	16,8	22,30	0,8182	361,64	80,36	11,00	17,10
07/08/2023 04:00	Dia Util	442,00	16,3	21,80	0,9697	428,61	13,39	11,00	2,85
07/08/2023 05:00	Dia Util	442,00	16	21,50	1,0606	442,00	0,00	11,00	0,00
07/08/2023 06:00	Dia Util	442,00	15,8	21,30	1,1212	442,00	0,00	11,00	0,00
07/08/2023 07:00	Dia Util	442,00	16,6	22,10	0,8788	388,42	53,58	11,00	11,40
07/08/2023 08:00	Dia Util	442,00	18	23,50	0,4545	200,91	241,09	11,00	51,30
07/08/2023 09:00	Dia Util	442,00	19,8	25,30	-0,0909	-40,18	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 10:00	Dia Util	442,00	21,2	26,70	-0,5152	-227,70	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 11:00	Dia Util	442,00	22,3	27,80	-0,8485	-375,03	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 12:00	Dia Util	442,00	22,8	28,30	-1,0000	-442,00	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 13:00	Dia Util	442,00	22,9	28,40	-1,0303	-455,39	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 14:00	Dia Util	442,00	22,8	28,30	-1,0000	-442,00	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 15:00	Dia Util	442,00	22,7	28,20	-0,9697	-428,61	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 16:00	Dia Util	442,00	22,6	28,10	-0,9394	-415,21	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 17:00	Dia Util	442,00	22,3	27,80	-0,8485	-375,03	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 18:00	Dia Util	442,00	22,2	27,70	-0,8182	-361,64	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 19:00	Dia Util	442,00	21,8	27,30	-0,6970	-308,06	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 20:00	Dia Util	442,00	21,3	26,80	-0,5455	-241,09	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 21:00	Dia Util	442,00	20,7	26,20	-0,3636	-160,73	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 22:00	Dia Util	442,00	19,6	25,10	-0,0303	-13,39	442,00	0,00	94,04
07/08/2023 23:00	Dia Util	442,00	19,5	25,00	0,0000	0,00	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 00:00	Dia Util	442,00	18,7	24,20	0,2424	107,15	334,85	11,00	71,24
08/08/2023 01:00	Dia Util	442,00	18,1	23,60	0,4242	187,52	254,48	11,00	54,15
08/08/2023 02:00	Dia Util	442,00	17,6	23,10	0,5758	254,48	187,52	11,00	39,90
08/08/2023 03:00	Dia Util	442,00	16,5	22,00	0,9091	401,82	40,18	11,00	8,55
08/08/2023 04:00	Dia Util	442,00	16,6	22,10	0,8788	388,42	53,58	11,00	11,40
08/08/2023 05:00	Dia Util	442,00	16,3	21,80	0,9697	428,61	13,39	11,00	2,85
08/08/2023 06:00	Dia Util	442,00	16,2	21,70	1,0000	442,00	0,00	11,00	0,00
08/08/2023 07:00	Dia Util	442,00	16,8	22,30	0,8182	361,64	80,36	11,00	17,10
08/08/2023 08:00	Dia Util	442,00	17,9	23,40	0,4848	214,30	227,70	11,00	48,45
08/08/2023 09:00	Dia Util	442,00	19,3	24,80	0,0606	26,79	415,21	11,00	88,34
08/08/2023 10:00	Dia Util	442,00	20,7	26,20	-0,3636	-160,73	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 11:00	Dia Util	442,00	21,5	27,00	-0,6061	-267,88	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 12:00	Dia Util	442,00	22	27,50	-0,7576	-334,85	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 13:00	Dia Util	442,00	22,3	27,80	-0,8485	-375,03	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 14:00	Dia Util	442,00	22,2	27,70	-0,8182	-361,64	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 15:00	Dia Util	442,00	22	27,50	-0,7576	-334,85	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 16:00	Dia Util	442,00	22	27,50	-0,7576	-334,85	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 17:00	Dia Util	442,00	21,9	27,40	-0,7273	-321,45	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 18:00	Dia Util	442,00	21,6	27,10	-0,6364	-281,27	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 19:00	Dia Util	442,00	21,2	26,70	-0,5152	-227,70	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 20:00	Dia Util	442,00	20,9	26,40	-0,4242	-187,52	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 21:00	Dia Util	442,00	20,4	25,90	-0,2727	-120,55	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 22:00	Dia Util	442,00	19,8	25,30	-0,0909	-40,18	442,00	0,00	94,04
08/08/2023 23:00	Dia Util	442,00	19,2	24,70	0,0909	40,18	401,82	11,00	85,49

Anexo 2.6

Dia e Hora	Dia da Semana	Necessidades Térmicas [kWt]	Dados Climáticos Th	Torre Saida Água [°C]	Calculo Aux.	Torre [kWt]	Chiller [kWt]	Torre Ventilador [kWh]	Chiller [kWh]
25/09/2023 00:00	Dia Util	320,00	13,3	18,80	2,6446	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 01:00	Dia Util	320,00	12,7	18,20	3,1405	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 02:00	Dia Util	320,00	12,2	17,70	3,5537	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 03:00	Dia Util	320,00	11,6	17,10	4,0496	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 04:00	Dia Util	320,00	11,3	16,80	4,2975	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 05:00	Dia Util	320,00	11,1	16,60	4,4628	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 06:00	Dia Util	320,00	10,9	16,40	4,6281	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 07:00	Dia Util	320,00	11,4	16,90	4,2149	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 08:00	Dia Util	320,00	12,5	18,00	3,3058	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 09:00	Dia Util	320,00	14	19,50	2,0661	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 10:00	Dia Util	320,00	15,4	20,90	0,9091	290,91	29,09	5,50	10,58
25/09/2023 11:00	Dia Util	320,00	16,4	21,90	0,0826	26,45	293,55	5,50	106,75
25/09/2023 12:00	Dia Util	320,00	16,8	22,30	-0,2479	-79,34	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 13:00	Dia Util	320,00	17,1	22,60	-0,4959	-158,68	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 14:00	Dia Util	320,00	17,1	22,60	-0,4959	-158,68	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 15:00	Dia Util	320,00	17,2	22,70	-0,5785	-185,12	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 16:00	Dia Util	320,00	17,1	22,60	-0,4959	-158,68	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 17:00	Dia Util	320,00	17	22,50	-0,4132	-132,23	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 18:00	Dia Util	320,00	16,7	22,20	-0,1653	-52,89	320,00	0,00	116,36
25/09/2023 19:00	Dia Util	320,00	16,4	21,90	0,0826	26,45	293,55	5,50	106,75
25/09/2023 20:00	Dia Util	320,00	16	21,50	0,4132	132,23	187,77	5,50	68,28
25/09/2023 21:00	Dia Util	320,00	15,5	21,00	0,8264	264,46	55,54	5,50	20,20
25/09/2023 22:00	Dia Util	320,00	15	20,50	1,2397	320,00	0,00	5,50	0,00
25/09/2023 23:00	Dia Util	320,00	14,3	19,80	1,8182	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 00:00	Dia Util	320,00	14,8	20,30	1,4050	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 01:00	Dia Util	320,00	14,2	19,70	1,9008	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 02:00	Dia Util	320,00	13,3	18,80	2,6446	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 03:00	Dia Util	320,00	13,4	18,90	2,5620	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 04:00	Dia Util	320,00	13,1	18,60	2,8099	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 05:00	Dia Util	320,00	13,1	18,60	2,8099	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 06:00	Dia Util	320,00	13	18,50	2,8926	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 07:00	Dia Util	320,00	12,9	18,40	2,9752	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 08:00	Dia Util	320,00	14,5	20,00	1,6529	320,00	0,00	5,50	0,00
26/09/2023 09:00	Dia Util	320,00	15,9	21,40	0,4959	158,68	161,32	5,50	58,66
26/09/2023 10:00	Dia Util	320,00	17,2	22,70	-0,5785	-185,12	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 11:00	Dia Util	320,00	18,3	23,80	-1,4876	-476,03	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 12:00	Dia Util	320,00	18,9	24,40	-1,9835	-634,71	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 13:00	Dia Util	320,00	19,1	24,60	-2,1488	-687,60	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 14:00	Dia Util	320,00	19,1	24,60	-2,1488	-687,60	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 15:00	Dia Util	320,00	19,1	24,60	-2,1488	-687,60	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 16:00	Dia Util	320,00	19	24,50	-2,0661	-661,16	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 17:00	Dia Util	320,00	19	24,50	-2,0661	-661,16	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 18:00	Dia Util	320,00	18,6	24,10	-1,7355	-555,37	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 19:00	Dia Util	320,00	18,3	23,80	-1,4876	-476,03	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 20:00	Dia Util	320,00	17,9	23,40	-1,1570	-370,25	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 21:00	Dia Util	320,00	17,4	22,90	-0,7438	-238,02	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 22:00	Dia Util	320,00	17	22,50	-0,4132	-132,23	320,00	0,00	116,36
26/09/2023 23:00	Dia Util	320,00	16,3	21,80	0,1653	52,89	267,11	5,50	97,13