



Tecnologias de Produção de Frio: Estudo e Análise de Soluções Técnico-económicas

FERNANDO JORGE JUSTO TAVEIRA BARRIAS

Julho de 2015

Tecnologias de Produção de Frio: Estudo e Análise de Soluções Técnico-económicas

Fernando Jorge Justo Taveira Barrias



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

Porto, Julho de 2015

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Fernando Jorge Justo Taveira Barrias, Nº 1070157, 1070157@isep.ipp.pt
Orientação científica: Professora Doutora Teresa Alexandra Nogueira, tan@isep.ipp.pt

Empresa: SKK[®]

Supervisão: Eng. João Paulo Pinto, jpp@skk.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Porto, Julho de 2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Professora Doutora Teresa Nogueira, o apoio, disponibilidade e orientação ao longo da realização desta dissertação e ao Engenheiro João Paulo Pinto por me ter recebido e acompanhado durante este projeto na SKK®.

Agradeço à minha família e aos meus pais por todo o apoio.

Aos meus amigos e colegas principalmente aos que me acompanharam ao longo deste trabalho, pela partilha de ideias, experiências e conhecimentos.

Um agradecimento ainda aos responsáveis das instalações por se terem disponibilizado para que este trabalho fosse realizado.

Por fim gostaria de deixar um agradecimento a todos os professores do ISEP que me acompanharam ao longo do meu percurso académico e a todas aquelas pessoas que, de alguma forma, também permitiram a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A preocupação com os consumos energéticos é um assunto do qual se tem vindo cada vez mais a ter atenção no sentido de que sejam feitas reduções para que se consiga manter a sustentabilidade do planeta. As indústrias agroalimentares são um dos setores mais importantes em Portugal, sendo que os sistemas de refrigeração são os seus principais consumidores de energia elétrica, ocupando a maior parte da fatia do consumo da instalação. A identificação de oportunidades de racionalização dos consumos de energia toma assim especial importância, tanto na utilização de tecnologias mais eficientes como em medidas de boas práticas, ou seja como são utilizados os serviços.

Neste âmbito surge o presente trabalho que tem como objetivo principal estudar duas instalações do mesmo setor e de escalas semelhantes de forma a identificar as diferenças entre elas e de como as tecnologias e os hábitos de utilização de cada uma influenciam nos consumos de energia.

Foram estudados os sistemas de refrigeração e os seus principais constituintes, bem como as melhorias passíveis de implementar para que conduzissem a uma redução dos consumos energéticos. Assim, foi desenvolvida uma metodologia de auditoria orientada para os sistemas de refrigeração, em que foi aplicada aquando das auditorias às duas instalações. Após toda a recolha da informação acerca das instalações em estudo, fez-se a sua análise individual e a comparação entre ambas, daqui foram obtidos os resultados.

Palavras-Chave

Refrigeração, Câmaras frigoríficas, Eficiência energética, Auditoria energética, Setor das carnes.

ABSTRACT

Energy consumption is an issue which has been increasingly taking importance in order to make reductions to maintain the sustainability of the planet. Agro-food industries are one of the most important sectors in Portugal, and the refrigeration systems are the major consumers of electricity, occupying most of the slice of the installation consumption.

The identification of opportunities for rationalization of energy consumption takes so special importance both in the use of more efficient technologies as best practice measures, ie as the services are used. In this context arises the present work aims to study two plants in the same industry and similar scales to identify the differences between them and how the technologies and usage habits of each influence on energy consumption. The refrigeration systems and their main constituents were studied as well as the improvements, which would implement that would lead to a reduction of energy consumption. Thus, an audit methodology oriented to refrigeration systems, where it was applied during the audits of two facilities was developed. After all the collection of information about the facilities under study, made him their individual analysis and the comparison between them, hence the results were obtained.

Keywords

Refrigeration systems, Cold rooms, Energy efficiency, Energy audit, Food industries.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABELAS	XIV
ACRÓNIMOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
2. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 FUNDAMENTOS GERAIS DE TERMODINÂMICA.....	6
2.2.1 Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica	6
2.2.2 Máquina Frigorífica de Carnot.....	7
2.2.3 Ciclo de Compressão a Vapor.....	8
2.2.3.1 Evaporação.....	9
2.2.3.2 Compressão.....	9
2.2.3.3 Condensação	10
2.2.3.4 Expansão.....	10
2.3 CONSTITUINTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMPONENTES.....	10
2.3.1 Compressor	10
2.3.2 Condensador	11
2.3.3 Evaporador.....	11
2.3.4 Válvula de Expansão.....	12
2.3.5 Outros Componentes	12
2.4 INSTALAÇÕES DE REFRIGERAÇÃO	13
2.4.1 Manutenções	13
2.4.2 Classificação dos Sistemas de Refrigeração nas Suas Instalações	14
2.4.2.1 Unidade de Condensação.....	14

2.4.2.2	Central de Frio.....	15
2.4.2.3	Unidades Compactas	15
2.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	16
2.5.1	Consumos De Energia	17
2.5.2	Medidas de Eficiência Energética.....	19
2.5.3	Indicadores para <i>Benchmarking</i>	24
2.6	AUDITORIA ENERGÉTICA	26
3.	METODOLOGIA DE AUDITORIAS AOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	31
3.1	INTRODUÇÃO	31
3.2	MODELO DESENVOLVIDO	31
3.2.1	Diagrama do Modelo.....	31
3.2.2	Fases do Modelo	32
3.2.2.1	Fase de Planeamento.....	32
3.2.2.2	Fase de Trabalho de Campo.....	36
3.2.2.3	Fase de Tratamento de Informação.....	36
3.2.2.4	Fase de Conclusão.....	37
3.3	FERRAMENTA DE APOIO À ANÁLISE DE RESULTADOS.....	38
3.3.1	Faturas de Energia Elétrica e Indicadores.....	38
3.3.2	Informação das Câmaras de Refrigeração	39
3.3.3	Perfil dos Consumos de Energia Elétrica	40
3.4	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	41
4.	CASOS DE ESTUDO.....	43
4.1	INTRODUÇÃO	43
4.2	CASO DE ESTUDO: INSTALAÇÃO A	44
4.2.1	Caracterização da instalação	44
4.2.2	Resultados.....	44
4.2.3	Análise de Resultados.....	51
4.2.4	Soluções Sugeridas.....	53
4.3	CASO DE ESTUDO: INSTALAÇÃO B	54
4.3.1	Caracterização da Instalação.....	54
4.3.2	Resultados.....	55
4.3.3	Análise de resultados.....	62
4.3.4	Soluções Sugeridas.....	64
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS CASOS DE ESTUDO	65
4.4.1	Distribuição das Potências e Consumos	65
4.4.2	Indicadores.....	66

4.4.3	Tecnologias.....	68
4.4.4	Boas Práticas.....	69
4.4.5	Oportunidades de Aumento de Eficiência	69
5.	CONCLUSÕES.....	71
5.1	CONCLUSÕES	71
5.2	PERSPETIVAS FUTURAS	72
5.3	NOTA DO AUTOR.....	73
	BIBLIOGRAFIA	75
	ANEXOS	78
	ANEXO A: GUIA TÉCNICO.....	79
	ANEXO B: EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	85
	B.1 - Aparelho de Medição e Registo de Energia: <i>Efergy E2</i>	85
	B.2 - Câmara Termográfica: FLIR E60.....	86
	ANEXO C: PERFIS DE CONSUMOS E TEMPERATURAS	87
	C.1 - Perfil de Consumos e Temperatura da Câmara 2	87
	C.2 - Perfil de Consumos e Temperatura da Câmara 14.....	88
	C.3 - Perfil de Consumos do Compressor.....	89
	C.3 - Perfil de Consumos da Torre de Refrigeração.....	90
	ANEXO D: HORÁRIO DO TARIFÁRIO.....	91
	D.1 - Ciclo Diário para BTE e BTN.....	91
	D2 - Ciclo Semanal	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Logótipo da SKK®	2
Figura 1.2 – Instalação da SKK®	2
Figura 2.1 – Ciclo de Carnot: (a) – circuito (b) – diagrama T – s.....	7
Figura 2.2 – Ciclo de compressão a vapor (a) - diagrama T – s (b) - diagrama P – h (c).....	8
Figura 2.3 – Unidade de condensação.....	14
Figura 2.4 – Central de frio.	15
Figura 2.5 – Unidade compacta.	16
Figura 2.6 - Distribuição dos consumos elétricos de um armazém de refrigeração.....	17
Figura 2.7 – Distribuição dos consumos no interior de uma câmara frigorífica.....	18
Figura 2.8 – Percentagem de consumo de energia elétrica antes e depois de aplicadas medidas.....	22
Figura 2.9 – Fases típicas de uma auditoria energética.....	28
Figura 3.1 – Diagrama do modelo desenvolvido.	32
Figura 3.2 – Planeamento: etapas da primeira fase.....	33
Figura 3.3 – Planeamento: etapas da segunda fase.	35
Figura 3.4 – Etapas da fase de trabalho de campo.	36
Figura 3.5 – Tratamento da informação.	37
Figura 3.6 – Resultados e conclusão.....	37
Figura 3.7 – Consumos obtidos a partir das faturas energéticas.....	39
Figura 3.8 – Informações das câmaras.....	39
Figura 3.9 – Diagrama de carga.....	40
Figura 4.1 - Evolução dos consumos e custo ao longo de um ano na instalação (A).....	45
Figura 4.2 - Evolução da energia reativa ao longo de um ano na instalação (A).....	46
Figura 4.3 – Distribuição dos consumos por período horário na instalação (A).....	47
Figura 4.4 – Ponte térmica.	48
Figura 4.5 – Porta e carris de entrada de carcaça.....	48

Figura 4.6 – Porta.....	48
Figura 4.7 – Problemas de isolamentos.....	49
Figura 4.8 – Isolamentos deteriorados e presença de ferrugem.	49
Figura 4.9 – Fuga de óleo.....	50
Figura 4.10 – Presença de gelo no evaporador.	50
Figura 4.11 – Ventilação deficitária.....	51
Figura 4.12 – Relação do volume das câmaras com a potência instalada.	52
Figura 4.13 – Evolução dos consumos e respetivo custo ao longo de um ano na instalação (B)	56
Figura 4.14 – Distribuição dos consumos por período horário na instalação (B).	57
Figura 4.15 – Relação entre o consumo de EE e quantidade de produto em toneladas	57
Figura 4.16 – Instalação de aparelhos de medida de energia.....	58
Figura 4.17 – Consumos por equipamento ao longo de uma semana.	58
Figura 4.18 – Relação entre a energia (kWh) e a temperatura (°C) na câmara 2.....	59
Figura 4.19 – Consumo específico por mês e quantidade de produto.....	60
Figura 4.20 – Ponte térmica.....	61
Figura 4.21 – Porta (parte superior).	61
Figura 4.22 – Porta (parte inferior).	61
Figura 4.23 – Carris de entrada.....	62
Figura 4.24 – Presença de gelo	62
Figura 4.25 – Distribuição da potência instalada em (A).	65
Figura 4.26 – Distribuição da potência instalada em (B).	65
Figura 4.27 – Distribuição da EE por período horário.	66
Figura 4.28 – Oportunidades de eficiência em função do custo e do potencial de poupança.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Distribuição dos consumos nos matadouros dos países nórdicos.....	18
Tabela 2.2 – Oportunidade de Eficiência Energética nos Sistemas de Refrigeração.	23
Tabela 2.3 – <i>Benchmarking</i> entre armazéns de refrigeração.	25
Tabela 3.1 – Informação a recolher nas instalações.....	34
Tabela 4.1 – Descrição de cada câmara frigorífica da instalação (A).	45
Tabela 4.2 – Dados para obter os indicadores da instalação (A).	47
Tabela 4.3 – Indicadores da instalação (A).	47
Tabela 4.4 – Descrição de cada câmara frigorífica da instalação B.....	55
Tabela 4.5 – Potência instalada	56
Tabela 4.6 – Valores para obtenção dos indicadores da instalação (B).	59
Tabela 4.7 – Indicadores da instalação (B)	60
Tabela 4.8 – Comparação de indicadores entre as instalações (A) e (B).	67
Tabela 4.9 – Dados gerais das instalações (A) e (B).....	68

ACRÓNIMOS

ASHRAE	–	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BTE	–	Baixa Tensão Especial
CIE	–	Consumidores Intensivos de Energia
COP	–	<i>Coefficient of Performance</i>
EE	–	Energia Elétrica
HP	–	Horas de Ponta
HSV	–	Hores de Super Vazio
HV	–	Horas de Vazio
HVN	–	Horas de Vazio Normal
ISEP	–	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
MT	–	Média Tensão
PT	–	Posto de Transformação
SGCIE	–	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
UVF	–	Unidades Variadoras de Frequência

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação insere-se na área da refrigeração industrial e nas questões relacionadas com os seus consumos energéticos. Dada a crescente preocupação com questões relativas à redução dos consumos de energia, as instalações de frio caracterizam-se por serem uma área onde podem ser feitos investimentos no sentido de aumentar a sua eficiência energética.

Este capítulo serve de introdução geral à dissertação. É apresentada a contextualização do trabalho, a empresa, os objetivos, e ainda a estrutura da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Este trabalho surgiu da necessidade da empresa SKK[®] - Central de Distribuição para Refrigeração e Climatização, Lda. dar continuidade a um estudo no qual se fez um levantamento do tipo de: equipamentos; estado da instalação; consumos energéticos e hábitos de utilização de um número significativo dos seus clientes. Partindo desta base de dados pretende-se dar continuidade ao estudo, aprofundando os conhecimentos acerca das empresas, fazendo deslocações às mesmas a fim de recolher toda a informação relevante acerca dos sistemas de frio bem como dos seus consumos de energia elétrica.

Assim sendo as fases necessárias à realização da presente dissertação passaram por:

- Estudar os sistemas de refrigeração e os seus principais componentes;
- Desenvolver uma metodologia de auditoria aos sistemas de refrigeração;
- Contactar empresas no sentido de propor que fossem alvo de um estudo;
- Visitar as empresas com vista à obtenção dos dados necessários às auditorias;
- Tratamento de toda a informação obtida;
- Análise de resultados e conclusões.

A SKK[®] é uma empresa que se dedica à comercialização de equipamentos e soluções para a indústria de frio. A empresa tem a sua sede social em Matosinhos, foi fundada em 1998 o que conta com 17 anos de experiência, que lhe permitem apoiar os seus clientes no

fornecimento dos melhores equipamentos. A Figura 1.1 ilustra o logótipo da empresa e a Figura 1.2 o exterior das instalações da SKK®.



Figura 1.1 – Logótipo da SKK®



Figura 1.2 – Instalação da SKK®

A sua estratégia comercial passa por proporcionar à sua base de clientes soluções que permitam otimizar o consumo energético de frio através de equipamentos mais eficientes e de serviços especializados.

Os principais produtos comercializados são:

- Compressores;
- Evaporadores e condensadores;
- Câmaras frigoríficas em painéis e acessórios;
- Aparelhagem de controlo, medida, manobra, registo e televigilância;
- Tubagem de cobre e acessórios;
- Moto-ventiladores;
- Gases refrigerantes e óleos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é determinar como se comportam as instalações de frio e identificar boas práticas de gestão que levem a reduções dos consumos de energia.

Em maior detalhe apresentam-se os objetivos:

- Revisão, análise e ponto de situação do levantamento efetuado pela SKK® junto da sua base de clientes;
- *Benchmark* de performance energética de duas instalações do mesmo setor de atividade e de escalas semelhantes, para aferição do potencial de eficiência energética que resulta de uma adequada utilização de determinados equipamentos chave;
- Determinação dos consumos específicos e perfis de consumo de cada um dos equipamentos;
- Caracterização das oportunidades de eficiência energética relacionadas com a correta utilização e ou gestão do(s) mesmo(s) equipamento(s)/tecnologia(s)/solução;
- Identificação de boas práticas de gestão de equipamentos/tecnologias/soluções de refrigeração.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para além deste capítulo introdutório, a presente dissertação apresenta mais cinco capítulos.

No capítulo dois são descritos os fundamentos teóricos necessários à realização do trabalho. Inicia-se com uma introdução geral aos sistemas de refrigeração e é feita uma breve resenha histórica. Em seguida, são apresentados os conceitos teóricos da termodinâmica, relevantes ao trabalho. É feita uma breve descrição dos tipos e vários constituintes dos sistemas de refrigeração. Por fim, mostram-se os indicadores necessários ao *benchmarking*, são expostas medidas de eficiência energética e mostra-se de forma genérica como é feita uma auditoria aos sistemas de refrigeração

No capítulo três mostra-se a metodologia desenvolvida de apoio à execução das auditorias energéticas aos sistemas de refrigeração. É apresentado o diagrama geral com as fases necessárias à realização de auditorias a este tipo de sistemas, sendo que para cada fase

é feita uma descrição detalhada das ações necessárias e é ainda referido como se deve aplicar a metodologia.

No capítulo quatro apresentam-se os casos de estudo. São apresentados dois casos de estudo distintos, em que cada um aborda uma instalação do setor das carnes e os respetivos sistemas de refrigeração. Para cada caso é feita a sua caracterização, apresentam-se os resultados obtidos através das auditorias e posteriormente é feita a sua análise. Com base nos resultados e sua análise são ainda sugeridas medidas de poupança energética. Feita esta caracterização e análise individual segue-se um subcapítulo dedicado à comparação entre ambas as instalações, onde são referidas todas as diferenças encontradas, desde as tecnologias aos hábitos de utilização.

Por último no capítulo cinco são apresentadas as conclusões mais relevantes que foram obtidas, sendo também sugeridas possíveis direções para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Entende-se por refrigeração o ato de arrefecer. O conceito base é o da remoção de calor em que os seus princípios básicos assentam fundamentalmente nas leis da física e da termodinâmica.

Existem várias formas de remover calor, algumas apenas com interesse histórico. Através de alguns métodos mais antigos, a redução de temperatura pode ser conseguida pela rápida expansão dos gases sob pressões reduzidas. Outras formas de redução da temperatura podem ser através da utilização de certos sais tais como: nitrato de sódio, tiosulfato de sódio ou sulfito de sódio com água.

Os métodos comuns de refrigeração são dois, de forma natural ou mecânica (Dinçer, 2010). Desde os tempos antigos até à atualidade que é utilizado gelo para refrigerar, tratando-se assim desta forma um método de refrigeração natural. Neste método a circulação forçada de ar passa na vizinhança dos blocos de gelo, em que parte do calor do ar circulante é transferido para o gelo, dando-se assim o arrefecimento. Na refrigeração mecânica, utiliza-se um refrigerante que se trata de uma substância capaz de transferir calor absorvido a baixa pressão e temperatura, para um agente de condensação em que o refrigerante se encontra a temperatura e pressão mais elevadas. Por meio da expansão, compressão, e arrefecimento, o refrigerante retira calor a partir de uma substância e transfere-a para o meio a arrefecer (Dinçer, 2010)

Durante séculos foi do conhecimento da população que a evaporação de água produzia o efeito de refrigeração, tem-se conhecimento que este método começou a ser utilizado no Egito no século II (Dinçer, 2010). A primeira tentativa de refrigeração mecânica remonta a 1755 quando um físico escocês, William Cullen, conseguiu obter temperaturas tão baixas que possibilitaram a formação de gelo. Isto foi possível através da evaporação num reservatório fechado. Desde Cullen que muitos engenheiros e cientistas começaram a dedicar-se aos estudos dos princípios da refrigeração mecânica. Em 1834 Jacob Perkins construiu e patenteou o ciclo de compressão a vapor constituído por um compressor, um evaporador e um condensador, sendo que possui uma válvula entre o compressor e o

evaporador (Dinçer, 2010). Ao longo dos anos foram notórias as alterações nos sistemas de refrigeração, desde os ciclos utilizados aos refrigerantes, bem como evolução das suas tecnologias.

2.2 FUNDAMENTOS GERAIS DE TERMODINÂMICA

Calor é a energia transferida de um sistema para outro devido a uma diferença de temperatura. A lei da conservação de energia diz que quando é trocada energia calorífica com trabalho não há perdas nem ganho de energia, embora a quantidade de energia calorífica convertida em calor seja limitada. Com o deslocamento do calor da fonte quente para a fonte fria uma dada quantidade de energia é convertida em trabalho (Tipler, 2010). Assim os conceitos base são o calor a temperatura e o trabalho.

2.2.1 PRIMEIRA E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A termodinâmica é a ciência da energia e da entropia, em que esta ciência assenta fundamentalmente em observações experimentais. Estas observações conduziram a quatro leis básicas da termodinâmica: a lei zero, primeira, segunda e terceira lei da termodinâmica.

A primeira e segunda lei da termodinâmica são as principais leis, devido ao facto de que as transferências de energia se baseiam nestas duas leis. A primeira lei da termodinâmica pode ser definida como a lei da conservação de energia, diz que a energia não pode ser criada nem destruída. Pode ser expressa segundo:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistema} \quad (2.1)$$

A segunda lei da termodinâmica apresenta-se por dois enunciados (Tipler, 2010):

Enunciado de Kelvin da 2ª lei da termodinâmica:

“É impossível que um sistema remova energia térmica de um único reservatório e converta essa energia completamente em trabalho se, que haja mudanças adicionais no sistema ou em suas vizinhanças”

Enunciado de Clausius da 2ª lei da termodinâmica:

“É impossível produzir um processo cujo único resultado seja a transferência de energia térmica de um corpo mais frio para um corpo mais quente”

2.2.2 MÁQUINA FRIGORÍFICA DE CARNOT

O ciclo de Carnot é um modelo teórico essencial à compreensão dos ciclos de refrigeração, tratando-se assim de um ciclo modelo de uma máquina térmica. Neste ciclo a máquina térmica é o mais eficiente possível entre dois níveis distintos de temperatura. Os componentes são: o compressor, um motor e dois permutadores de calor.

A Figura 2.1, adaptada de (Hundy, 2010), mostra o ciclo de Carnot:

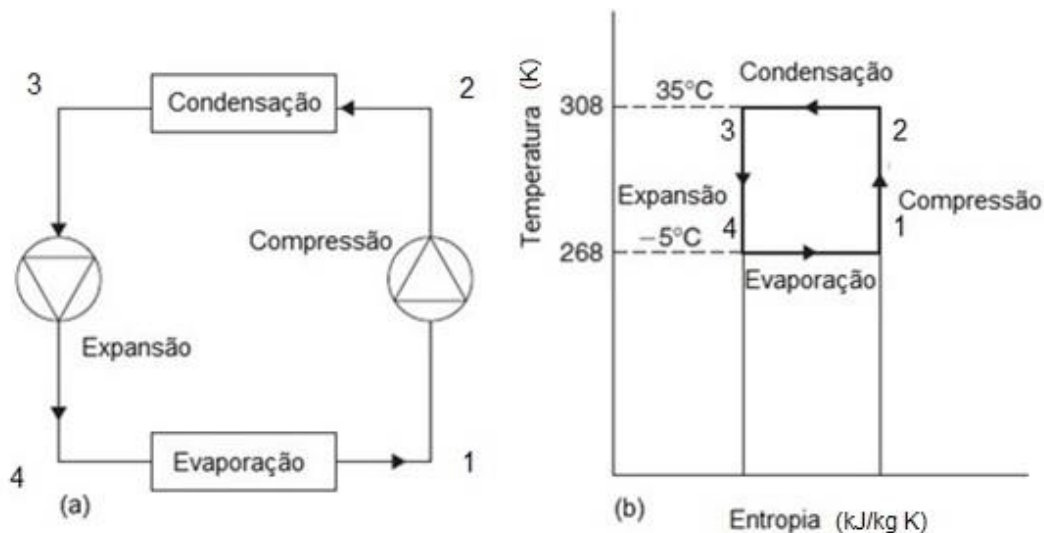


Figura 2.1 – Ciclo de Carnot: (a) – circuito (b) – diagrama T – s.

Os processos deste ciclo são os seguintes (Dinçer, 2010) (Stoecker, 2004):

- (1-2): Compressão ideal, sem atrito nem transferência de calor. Aumento de temperatura. (Compressão adiabática);
- (2-3): Rejeição de calor no condensador a temperatura constante. (Rejeição isotérmica);
- (3-4): Expansão ideal, sem atrito nem transferência de calor. Diminuição da temperatura. (Expansão adiabática);
- (4-1): Absorção de calor no evaporador a temperatura constante. (Absorção isotérmica).

A eficiência de uma máquina frigorífica, ou seja o *coefficient of performance* (COP) é a razão entre o calor absorvido da fonte fria (Q_b) e o trabalho (W) realizado sobre o refrigerante.

$$COP = \frac{Q_b}{W} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} > 1 \quad (2.2)$$

Os índices em (T) representam a temperatura na Figura 2.1.

Por ser formado somente por processos reversíveis, o ciclo de Carnot é o que apresenta o máximo coeficiente de eficiência. Apesar disso existem razões que tornam impossíveis a sua implementação. É difícil efetuar a compressão até ao ponto de vapor saturado e também a expansão.

2.2.3 CICLO DE COMPRESSÃO A VAPOR

Em aplicações práticas o ciclo de compressão a vapor é o mais utilizado. Este tipo de ciclo é constituído por quatro processos térmicos designados de (Dinçer, 2010):

- Evaporação;
- Compressão;
- Condensação;
- Expansão.

Os diagramas esquemáticos de um ciclo de compressão a vapor, ilustram-se na Figura 2.2 (Dinçer, 2010).

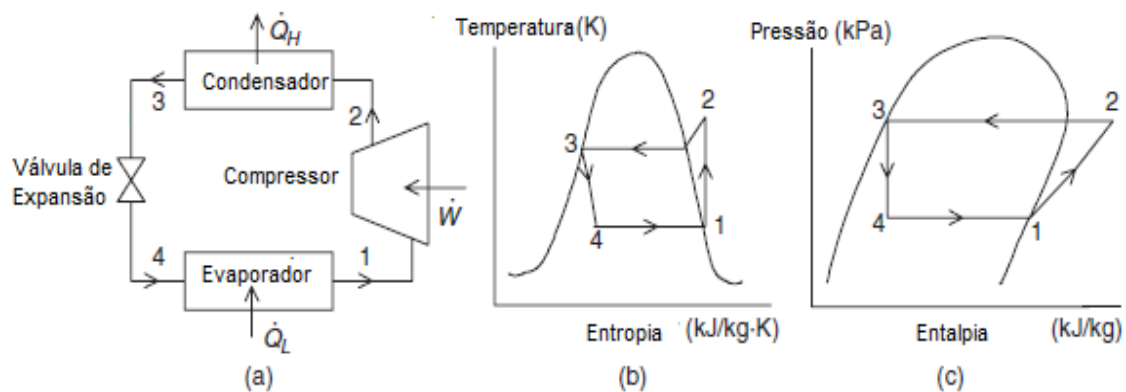


Figura 2.2 – Ciclo de compressão a vapor (a) - diagrama T – s (b) - diagrama P – h (c).

Os processos deste ciclo são os seguintes (Dinçer, 2010):

- (1-2): Compressão adiabática reversível. A partir do evaporador, um fluido a baixa pressão chega ao compressor e é comprimido o que leva ao aumento da sua pressão e temperatura;
- (2-3): Rejeição reversível de calor a pressão constante. Do compressor, surge o refrigerante a alta pressão e entra no condensador;
- (3-4): Expansão irreversível a constante entalpia. Vindo condensador o fluido refrigerante a alta pressão e temperatura passa na válvula de expansão para que seja reduzida a pressão e temperatura;
- (4-1): Absorção reversível de calor a pressão constante. Da válvula de expansão, com o fluido refrigerante já a baixa temperatura chega ao evaporador. Durante este processo de evaporação absorve o calor à sua volta.

2.2.3.1 EVAPORAÇÃO

Ao contrário de congelação e fusão, a evaporação e a condensação ocorrem em quase qualquer temperatura e combinação de pressão. A evaporação é a fuga gasosa de moléculas da superfície de um líquido e é conseguida através da absorção de uma quantidade considerável de calor, sem qualquer alteração na temperatura. Os gases evaporados exercem uma pressão designada de pressão de vapor. À medida que a temperatura do refrigerante aumenta, há uma maior perda, o que aumenta a pressão de vapor.

Assim, no evaporador de um sistema de refrigeração, um refrigerante a baixa pressão entra em contacto com o meio ou material a ser arrefecido, absorvendo assim o calor existente na área a refrigerar.

2.2.3.2 COMPRESSÃO

Através do compressor é elevada a pressão do refrigerante que chega do evaporador. O aumento da pressão aumenta a temperatura de ebulição e condensação do refrigerante. Quando o refrigerante gasoso é comprimido o suficiente, a sua temperatura de ponto de ebulição é maior do que a temperatura do dissipador de calor.

2.2.3.3 CONDENSAÇÃO

Este é o processo de transformação do vapor em líquido através da extração de calor. O refrigerante a alta pressão que transporta a energia calorífica absorvida no evaporador, é levado para o condensador através do trabalho desenvolvido pelo compressor. A temperatura de condensação do refrigerante é mais elevada do que a do dissipador de calor e, portanto, a transferência de calor condensa o refrigerante a alta pressão. O fluido refrigerante continua o ciclo.

2.2.3.4 EXPANSÃO

O fluido refrigerante é retornado para o início do próximo ciclo. Um dispositivo capaz de reduzir a pressão tal como uma válvula, ou um tubo capilar é utilizado para reduzir a pressão do refrigerante líquido para um nível de baixa pressão. As perdas de energia através desta redução de pressão devem ser compensadas pela entrada adicional de energia na fase da compressão.

2.3 CONSTITUINTES DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO COMPONENTES

São vários componentes mecânicos necessários num sistema de refrigeração. Os principais são:

- Compressor;
- Condensador;
- Evaporador;
- Válvula de expansão.

2.3.1 COMPRESSOR

No ciclo de refrigeração, o compressor tem duas funções principais: uma é promover a movimentação do fluido frigorígeno no evaporador, de modo que a temperatura desejada e a pressão possa ser mantida. A segunda função é aumentar a pressão do fluido através da compressão o que leva ao aumento da temperatura. Devido a este aumento de pressão o fluido refrigerante sobreaquecido flui através do sistema (Dinçer, 2010).

Os principais tipos de compressores utilizados na refrigeração industrial são: parafuso, alternativos, centrífugos e de palhetas. Os centrífugos e de palhetas são os menos utilizados, tomando preponderância os de parafuso e alternativo (Stoecker, 2004).

Espera-se que um compressor preencha os seguintes requisitos (Dinçer, 2010):

- Alta fiabilidade;
- Fácil manutenção;
- Fácil controlo de capacidade;
- Vida útil longa;
- Compacto;
- Silencioso;
- Boa relação custo-eficácia.

2.3.2 CONDENSADOR

A finalidade do condensador num ciclo de compressão de vapor é fazer a permutação de calor, entre o fluido frigorígeno e o fluido absorvedor, em que normalmente é o ar ou água (Hundy, 2008). Os tipos de condensadores utilizados na refrigeração são de três tipos: arrefecido a ar, arrefecido a água ou evaporativo. No ar condicionado utiliza-se maioritariamente condensadores arrefecidos a ar enquanto na da refrigeração são os evaporativos são os mais utilizados, normalmente são dispostos em paralelo, o que não acontece no ar condicionado (Stoecker, 2004).

Existem ainda as torres de refrigeração que são como condensadores evaporativos, cujo seu princípio de funcionamento assenta na refrigeração por evaporação da água no seio do fluxo de movimento de ar (Dinçer, 2010).

Como acontece com qualquer equipamento mecânico estes não devem ser instalados em locais de difícil acesso, na medida em que dificultará a sua manutenção. Relativamente à manutenção, esta passa por: ventiladores, motores, correias e limpezas dos filtros de água (Hundy, 2008).

2.3.3 EVAPORADOR

O evaporador é um permutador de calor que promove a transferência de calor entre o fluido frigorígeno e o meio que se pretende arrefecer. A função do evaporador é arrefecer

o ar ou o líquido e que por sua vez arrefece a carga. Os tipos de evaporador são arrefecidos a ar ou a água. Um evaporador para arrefecimento de ar é constituído por serpentinas com alhetas, tendo instalado um ou mais ventiladores (Hundy, 2008).

Como a sua função é arrefecer, o fluido frigorigéneo flui através dele a baixas temperaturas, o que poderá levar à formação de gelo. Para colmatar este fenómeno existem tecnologia de descongelação sendo estas através de ar, agua, através de uma resistência elétrica ou com a passagem de gás quente. Para câmaras de refrigeração com temperaturas negativas e próximas dos 0°C utiliza-se descongelação por gás quente ou elétrica, nas restantes temperaturas mais positivas o ar ou a água (Dinçer, 2010).

2.3.4 VÁLVULA DE EXPANSÃO

As válvulas de expansão surgem no circuito para reduzir a pressão do fluido frigorigéneo e controlar a quantidade de fluido que entra no evaporador. Classificam se de acordo com o método de controlo, as principais são: válvulas termostáticas, válvulas eletrónicas e tubos capilares.

2.3.5 OUTROS COMPONENTES

Outros componentes do sistema de controlo tornam-se necessários para assegurar a segurança, monitorização e controlo e as manutenções (Hundy, 2008).

Os sistemas de controlo são importantes na medida que permitem controlar os vários componentes do sistema, permitindo assim a comunicação entre eles por forma a responder às necessidades da instalação.

Dos outros constituintes destacam-se (Dinçer, 2010) (Hundy, 2008):

- Visores de líquido - são dispositivos termomecânicos que podem indicar: o nível de refrigerante nas tubagens; humidade relativa e monitoriza o subarrefecimento;
- Filtros – servem para remover partículas estranhas ao sistema;
- Separadores de óleo - são dispositivos mecânicos que permitem proteger o compressor contra a falta de óleo. Instalam-se normalmente entre o compressor e o condensador. Servem assim para aumentar a eficiência do sistema através da lubrificação;

- Depósitos de líquido – são recipientes que armazenam líquido condensado alimentando com este mesmo líquido os evaporadores;
- Válvulas seccionadoras – são válvulas de corte e seccionamento;
- Reguladores de pressão – fazem o controlo da pressão no circuito no sentido de o tornar o mais eficiente possível;
- Tubagem – São linhas que ligam os vários componentes do circuito frigorífico.

2.4 INSTALAÇÕES DE REFRIGERAÇÃO

Na refrigeração industrial são vários os sistemas atualmente existente, dando repostas as mais variedades necessidades das instalações. As manutenções são também um assunto de relativa importância.

2.4.1 MANUTENÇÕES

A manutenção é necessária para assegurar que uma dada instalação tenha o melhor desempenho possível, para tal são feitas inspeções destinadas a detetar sinais de deterioração atempadamente, de forma a não por em causa o bom funcionamento da instalação.

Para que os planos de manutenção tenham máxima eficácia é necessário conhecer o seguinte:

- O produto a ser refrigerado e o seu volume;
- A capacidade de arrefecimento, para as condições extremas de temperatura exterior;
- A potência do compressor para as condições nominais;
- Os requisitos para meia carga;
- As condições do sistema de refrigeração durante a operação nominal incluindo condensação, evaporação, o sobreaquecimento e subarrefecimento;
- Bolbo seco e húmido;
- Pressões e temperaturas de refrigeração na entrada da válvula de expansão, saída do evaporador, e de sucção e descarga do compressor;
- Configurações de todos os controlos.

Partindo de toda a informação recolhida é feito um plano de manutenção de acordo com as necessidades da instalação.

2.4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO NAS SUAS INSTALAÇÕES

De forma a dar a conhecer a tipologia dos sistemas de refrigeração normalmente utilizados nas indústrias, e principalmente na indústria alimentar apresentam-se os seguintes sistemas com interesse para o desenvolvimento do presente trabalho:

- Unidades de condensação;
- Central de frio;
- Unidades compactas.

Caracterizando cada um deles, tem-se:

2.4.2.1 UNIDADE DE CONDENSAÇÃO

Este tipo de sistema é composto por um compressor e um condensador assentes numa base, estando pronto a que seja feita a sua ligação ao um evaporador, possui ainda um ou dois ventiladores. É largamente utilizado no sector da refrigeração comercial e industrial, em particular nas indústrias alimentares que têm necessidade de pequenas ou médias potências de refrigeração, sendo estas potências vão desde valores inferiores a um kilo-watt até 100 kW (Hundy, 2008). A sua ampla aplicação deve-se à sua grande versatilidade, disponibilidade no mercado, funcionalidade, facilidade de instalação e baixo custo. Este tipo de unidade ilustra-se na Figura 2.3 (Hundy, 2008).

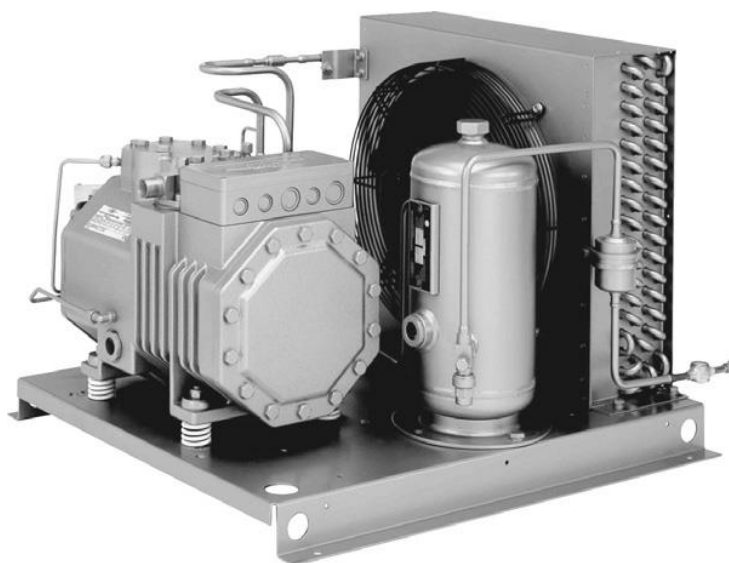


Figura 2.3 – Unidade de condensação.

2.4.2.2 CENTRAL DE FRIO

Um sistema centralizado de frio consiste em que a partir de um único ponto de produção de frio, é feita a refrigeração de toda a instalação. Com este tipo de sistema é possível reduzir os custos de aquisição de equipamentos, tem uma fácil manutenção e melhor gestão do controlo e eficiência energética. Por outro lado apresenta desvantagens relacionadas com o comprimento das condutas, que como transportam fluido a longas distancias este pode ser alvo de perdas ao longo do circuito, sendo necessário fazer a sua reposição e manutenção (Hundy, 2008). Um exemplo deste tipo de sistema pode ser visualizado na Figura 2.4 (Hundy, 2008).



Figura 2.4 – Central de frio.

2.4.2.3 UNIDADES COMPACTAS

Possuindo todos os seus elementos num único bloco, designam-se de sistemas de unidades compactas. Este tipo de sistemas são produzidos em serie e prontos a ser instalados. Existem várias configurações geométricas dependendo das necessidades. Estes sistemas compactos são utilizados em câmaras de pequena, média e grande dimensão, servindo o sector comercial e industrial. Tem como principais vantagens: a versatilidade, facilidade na

seleção e instalação bom como um bom desempenho energético. A título de exemplo ilustra-se um sistema deste género na Figura 2.5 (Zanotti, 2014).

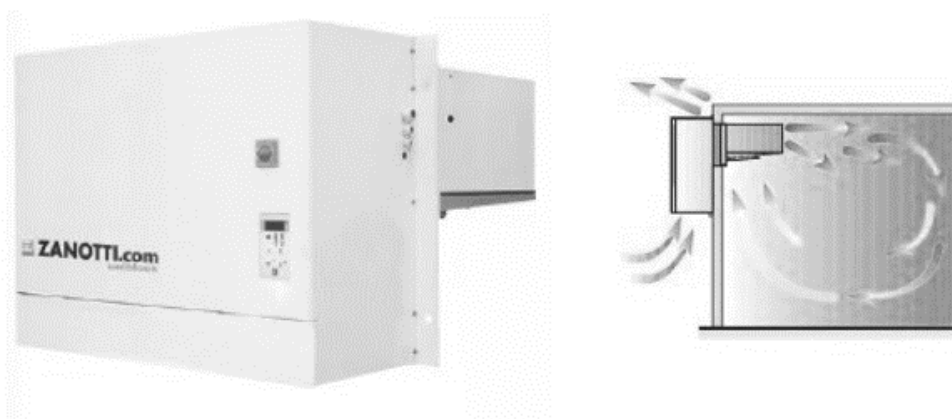


Figura 2.5 – Unidade compacta.

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um conceito que está cada vez mais presente na sociedade, tendo-se vindo ao longo dos tempos a ter cada vez mais preocupações com os consumos de energia, pois é um dos pilares da sustentabilidade. Eficiência energética define-se sendo o rácio entre o resultado em termos do desempenho, serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito (Diretiva, 2012).

Na indústria geral a eficiência energética pode ser obtida a partir de (Abdelaziz, 2011):

- Gestão de energia;
- Novas tecnologias;
- Políticas e regulamentos.

A gestão de energia passa por conseguir estratégias no sentido de otimizar a utilização de energia, isto passa por implementar medidas de forma a reduzir as exigências de energia por unidade de produção reduzindo assim os custos de produção. Para que os programas de gestão de energia sejam eficazes devem incluir:

- Análise de histórico de informação;
- Auditoria energética;

- Análise de engenharia e de investimentos;
- Informação e formação pessoal.

A eficiência energética obtida através da aplicação de novas tecnologias pode ser recorrendo a motores mais eficientes e com variadores de velocidade, sistemas de recuperação de calor, e de um modo geral tecnologias com maior rendimento.

2.5.1 CONSUMOS DE ENERGIA

O que foi referido é uma forma global de abordar a eficiência energética. No presente trabalho interessa focar nos sistemas de refrigeração, o que não escapa aos métodos globais de eficiência energética. Relativamente aos consumos energéticos na refrigeração, na indústria alimentar, estes ocupam mais de 50%, o que globalmente é cerca de 15% a 17% do total de energia elétrica produzida (Mulobe, 2012).

Para uma melhor perceção de como se distribuem os consumos nas instalações de refrigeração num armazém de refrigeração segue-se a Figura 2.6 que mostra o consumo de energia elétrica relativo aos vários componentes das instalações de frio (Alexander, 2009). É possível verificar a grande fatia da refrigeração 54% que aliada à descongelação chegará aos 75% (Alexander, 2009).

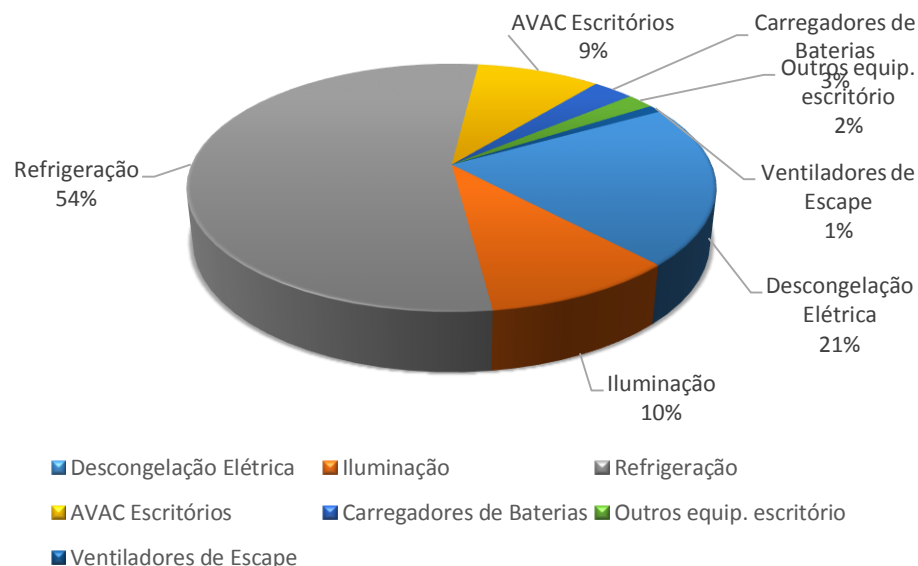


Figura 2.6 - Distribuição dos consumos elétricos de um armazém de refrigeração.

Um outro estudo referente aos consumos de energia nos matadouros dos países nórdicos apresenta a seguinte distribuição como se vê na Tabela 2.1 (Commission, 2005). Nestes matadouros 60% da energia consumida é energia elétrica enquanto 40% é proveniente de fontes de calor.

Tabela 2.1 - Distribuição dos consumos nos matadouros dos países nórdicos.

Onde é consumida a energia	Percentagem (%)
Refrigeração	52
Máquinas	22
Bombas	10
Ar comprimido	8
Iluminação	2
Ventilação	2
Outros	4

Ao nível da instalação é notória a grande fatia ocupada pela refrigeração. No que respeita à câmara de frio, os consumidores de energia são: os motores dos ventiladores do evaporador, a iluminação, as sondas e sensores e se existir, o motor para abertura das portas. A distribuição dos consumos destes equipamentos segue a tendência como mostra o gráfico da Figura 2.7 (Mulobe, 2012).

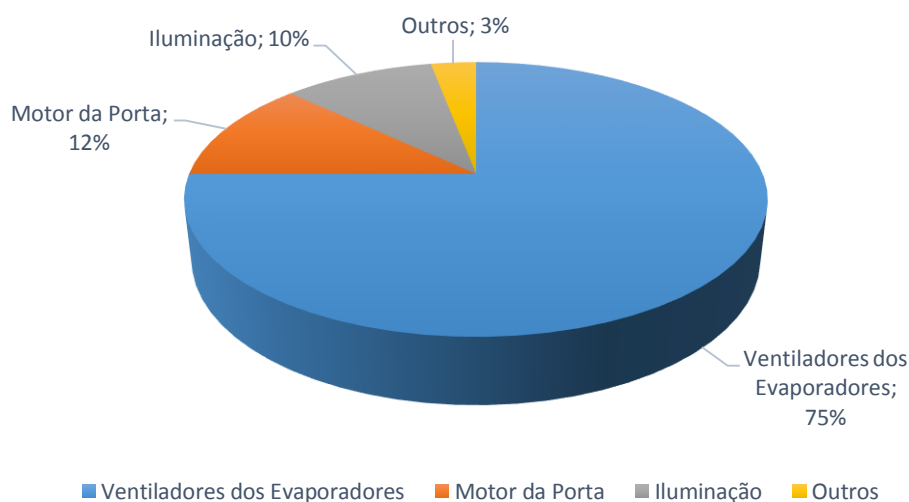


Figura 2.7 – Distribuição dos consumos no interior de uma câmara frigorífica.

Relativamente ao custo da energia elétrica por cada kilo-watt hora (kWh) para as indústrias portuguesas no ano de 2014 este valor, segundo o *Eurostat*, é de 0,1029 €/kWh (Eurostat, 2015).

2.5.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A área da refrigeração é uma área onde podem ser implementadas várias medidas ao nível da eficiência energética, podem ser feitas grandes reduções das emissões com relativa facilidade, usando equipamentos mais eficientes e efetuando as devidas manutenções. Estas medidas passam por reparar as vedações das portas, limpar condensadores e evaporadores são alguns dos exemplos de manutenção que aumentam a eficiência energética. Uma melhor conceção das instalações desde a escolha do compressor, o refrigerante a utilizar, o isolamento da envolvente do chão teto e paredes, o tipo de portas a utilizar também poderão ser medidas interessantes. A melhoria dos painéis isolantes pode diminuir entre 5% a 12% no consumo de energia por ano (James, 2010).

Em maior detalhe um estudo intitulado de *Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California* da Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (Alexander, 2009), refere as seguintes oportunidades de eficiência energética nos sistemas de refrigeração:

Isolamento: as cargas de aquecimento e arrefecimento em armazéns frigoríficos industriais podem ser reduzidas aumentando os níveis de isolamento. Aumentar os níveis de isolamento em tetos, paredes, pisos, tubos e naves permite reduzir as perdas de calor do equipamento de refrigeração ou pelas tubagens que contêm fluido frigorigéneo. Medidas de melhoria de isolamento em armazéns frigoríficos são aplicadas recorrendo ao uso de poliestireno extrudido. Por exemplo, durante uma remodelação com o objetivo de aumentar a eficiência energética, numa instalação foi instalado um isolamento de poliestireno extrudido numa parede e num piso com 15 cm de espessura, e uma espessura de 35 cm de isolamento de poliestireno extrudido no teto, de forma a reduzir as perdas por aquecimento e arrefecimento.

Portas de ação rápida: ajudam a reduzir as infiltrações de ar e ganhos de calor para os espaços refrigerados. As portas de ação rápida, como as portas bipartidas, portas *roll-up* ou portas de correr horizontais abrem em segundos e são controlados por circuitos magnéticos com sensores no chão, detetores de movimento óticos, ou por controladores remotos por

operadores de empilhadoras. Estas portas permitem poupar uma quantidade significativa de energia em comparação com portas manuais, lamelas ou ar cortinas, que só reduzem moderadamente as infiltrações de ar.

Iluminação: a iluminação pode ser adaptada para diminuir o uso e a procura de energia da instalação e assim reduzir os custos operacionais. Substituição por iluminação mais eficiente em espaços refrigerados também diminui a carga de refrigeração, reduzindo a quantidade de calor libertada pelos sistemas de iluminação para as áreas de armazenamento de frio.

Unidades variadoras de frequência (UVF): os equipamentos têm, frequentemente, dimensões demasiado grandes para as cargas existentes, isto deve-se a estes terem sido projetados para as condições de funcionamento no pico. Isto resulta num funcionamento ineficiente dos ventiladores, bombas, compressores em condições de carga parcial. Reduzir a velocidade de operação dos equipamentos para coincidir a capacidade do equipamento com a carga pode melhorar a eficiência a carga parcial. Tipicamente, as UVF são usados para ajustar a velocidade dos motores elétricos e assim reduzir o uso global de energia, permitindo que os equipamentos operem nas velocidades necessárias. Podem ainda ser instalados numa variedade de equipamentos usados na refrigeração, incluindo os compressores e os ventiladores dos condensadores e dos evaporadores.

Ciclo de trabalho: implica ciclos de *on* e *off* dos equipamentos de forma a coincidir a capacidade do equipamento com a carga. Os sistemas de controlo são capazes de desligar os equipamentos de refrigeração em certas zonas em intervalos previamente definidos, e reiniciar o sistema de refrigeração, se a mudança de temperatura exceder os limites operacionais. No entanto, proceder a este tipo de ciclos *on* e *off* nos equipamentos, como os compressores ou os ventiladores do evaporador, pode diminuir a vida útil destes equipamentos e aumentar as necessidades de manutenção, a não ser que se recorra a medidas tais como dispositivos de *soft-start* (arranque suave).

Necessidade da refrigeração: implica desligar toda a instalação do sistema de refrigeração quando todas as temperaturas da zona estão razoavelmente perto do valor do *set point* durante o tempo que as características dos produtos refrigerados permitirem. Quando qualquer temperatura da zona chegar a um ponto pré-definido, todo o sistema é ligado

novamente até que todas as zonas estejam de volta à temperatura pré-definida. Esta sequência é repetida continuamente.

Compressores: a eficiência do compressor pode ser melhorada através da redução da diferença entre a pressão de sucção e a pressão descarga (também conhecido como *lift*) no sistema de refrigeração. Esta diferença pode ser reduzida por qualquer aumento da pressão de sucção ou pela redução da pressão de descarga. As características da carga e da descarga do compressor são fatores importantes a ser considerados no planeamento de possíveis atualizações na eficiência compressor.

Condensadores: operar os condensadores de forma mais eficiente envolve o acompanhamento da temperatura ambiente de bolbo húmido e redefinir o *set-point* da pressão de descarga para usar a capacidade disponível do condensador. A eficiência do condensador pode ser melhorada evitando operar um condensador quando as bombas estão em execução e os ventiladores não estão em execução, e vice-versa. Instalando UVF nos ventiladores do condensador também irá contribuir para alcançar economias de energia juntamente com a melhoria do desgaste da correia e com o controlo da pressão.

Evaporadores: a eficiência do evaporador pode ser melhorada pela seleção de serpentinas de maior eficiência, evitando evaporadores de expansão direta em favor de evaporadores com sobrealimentação de líquido ou inundados, e usando ventiladores com um *design* das pás mais eficiente. Para serpentinas de evaporador que ficam congeladas, escolhendo serpentinas do evaporador com um espaçamento de quatro alhetas por polegada ou menos vai também melhorar a eficiência energética.

Melhorar a performance a carga parcial: os sistemas de refrigeração são projetados para corresponder aos picos de carga, mas, em muitos casos, funcionam muito pouco tempo no pico. Melhorar a performance do equipamento de refrigeração no funcionamento a carga parcial pode ter um impacto significativo na redução do uso de energia da instalação. A performance do evaporador a carga parcial pode ser melhorada com uso de ciclos nos ventiladores, o uso de ventiladores de duas velocidades, e instalar UVF nos ventiladores. A performance dos compressores a carga parcial pode ser melhorada através da limitação da operação a carga parcial por meio de compressores com desempenho mais eficiente quando está a carga parcial como corte, e permitindo que outros compressores funcionem

eficientemente a plena carga. A performance do condensador a carga parcial pode ser melhorada usando controlos nos ventiladores que utilizam UVF.

Controlo automático da descongelação: descongelar a serpentina liberta calor para os espaços refrigerados e pode reduzir o teor de humidade do produto refrigerado. O controlo automático da descongelação apenas quando há necessidade em vez da descongelação normalmente agendada pode reduzir descongelamentos desnecessários. Tais controlos reduzem o consumo de energia da unidade de refrigeração atrasando os ciclos de descongelação até o desempenho da serpentina do evaporador indicar que uma descongelação é necessária.

São várias a técnicas de eficiência passíveis de implementar, outras ainda poderiam ser cortinas de ar na entrada das câmaras para reduzir a entrada de ar no momento de abertura, a instalação de cortinas de lamelas também seria uma opção para reduzir estas infiltrações de ar na entrada das câmaras.

Para quantificar as poupanças que as medidas poderão conduzir, a Figura 2.8 mostra a redução que poderá ser obtida a partir da utilização de variadores de frequência e da automatização do sistema (Aranda, 2012).

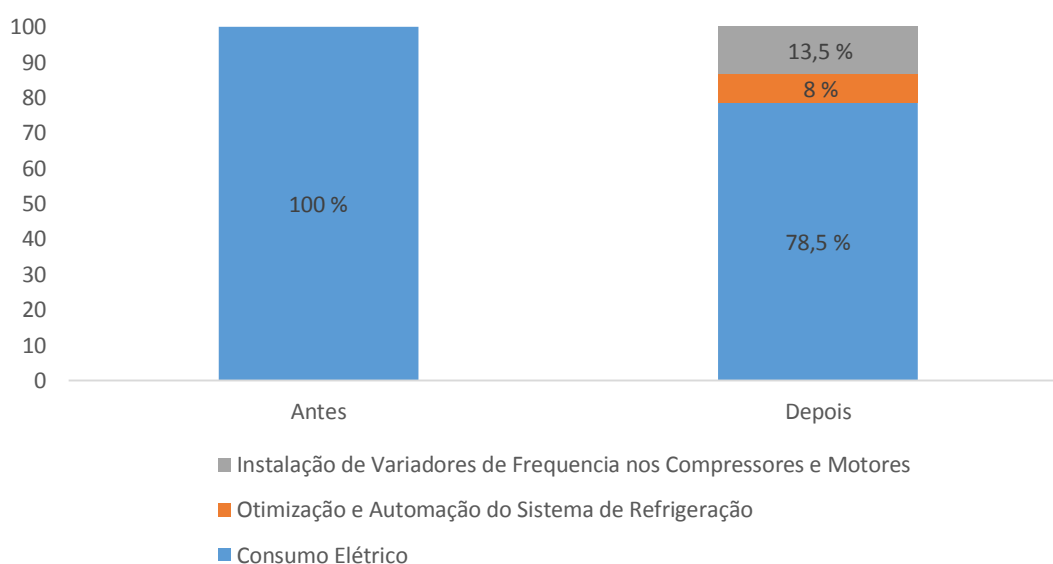


Figura 2.8 – Percentagem de consumo de energia elétrica antes e depois de aplicadas medidas.

As poupanças energéticas apresentadas resultam de valores médios, pelo que a instalação de variadores de frequência nos compressores e motores podem estar associados a poupanças entre 2 e 25 %, e a otimização e automatização do sistema de refrigeração pode estar associado a melhorias de 1 a 15 %, assim sendo as poupanças totais poderão ser, para este setor de atividade, entre 3 a 40 % (Aranda, 2012).

Além das tecnologias uma boa gestão de boas práticas também terá reflexos nos consumos energéticos, tais como, uma melhor gestão do tempo de abertura das portas das câmaras frigoríficas e a disposição dos produtos no seu interior. As manutenções também são fator a ter em linha de conta no bom funcionamento

Com base numa pesquisa pelas várias oportunidades de eficiência energética e do seu valor de poupança foram encontrados alguns documentos. Para os variadores de velocidade estes valores foram obtidos a partir de: (Mulobe, 2012); (Mulobe, 2014) e (Evans, 2014). Os valores da iluminação foram através de (Trust, 2011) e as restantes oportunidades com base em (Evans, 2014). Através dos estudos referidos e de forma a sintetizar os tipos de medidas de eficiência energética possíveis de implementar bem como as respetivas poupanças surge a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Oportunidade de Eficiência Energética nos Sistemas de Refrigeração.

Oportunidade de Eficiência Energética	Poupança de Energia (%)
Variadores de Velocidade nos Motores e Ventiladores	15-40%; 34%; 7-17%
Controlo dos Ventiladores dos Condensadores	14 %
Controlo dos Ventiladores dos Evaporadores	16 %
Limpeza e Manutenção	20%
Isolamento	14 %
Proteções das portas	16 %
Iluminação LED	8%
Iluminação T5 de alta eficiência	5 %
Controlo da descongelação	30 %
Controlo de sobreaquecimento	5 %
Controlo de subarrefecimento	4%
Válvula de expansão	5%
Temperatura do produto	12%
Ajustes da temperatura da câmara	5%

2.5.3 INDICADORES PARA *BENCHMARKING*

A avaliação do desempenho energético ou a eficiência energética dos vários tipos de estabelecimentos pode ser efetuada através da técnica de *benchmarking*, cujo método consiste em comparar os consumos específicos de energia de uns estabelecimentos com os de outros que possuam características similares. *Benchmarking* pode ser definido como (Spendolini, 1992): “*Benchmarking é um processo contínuo e sistemático para avaliar produtos e processos de trabalho de organizações que são reconhecidas como representantes das melhores práticas, com a finalidade de melhoria organizacional.*”.

O consumo específico é um indicador de eficiência energética muito utilizado. Na indústria alimentar, o armazenamento de alimentos tem um papel fundamental, sendo assim é necessário conhecer valores de consumo específico para poder fazer comparações.

Um indicador transversal a todas as indústrias é o consumo específico de energia, em que se trata de um indicador anual que quantifica a relação entre a energia consumida e a quantidade de matéria-prima produzida, a unidade geralmente utilizada é o tep para facilitar a junção das várias formas de energia, no presente trabalho a unidade utilizada será o kWh. Como as indústrias em estudo são do setor de armazenamento e abate de gado a matéria-prima será as carcaças e a unidade de medida será a tonelada resultando em (kWh/t). A expressão que traduz este indicador apresenta-se como:

$$\text{Consumo Específico de EE} = \frac{\text{Consumo de EE (kWh)}}{\text{Quantidade de produto (t)}} \quad (2.3)$$

Com este indicador é possível comparar e avaliar o desempenho deste tipo de indústrias. Relativamente a valores, um estudo efetuado no Reino Unido em 1991 mostra que o consumo específico de energia elétrica nos matadouros de grandes animais foi de 85 kWh/t carcaça, com um intervalo de 36-154 kWh/t (Commission, 2005).

Um outro indicador, relaciona o consumo de energia com o volume das câmaras, assim é possível perceber qual o consumo de EE por cada metro cubico. A expressão é a seguinte:

$$\text{Consumo de EE por Unidade de Volume} = \frac{\text{Consumo de EE (kWh)}}{\text{Volume das Câmaras (m}^3\text{)}} \quad (2.4)$$

A Tabela 2.3 mostra estudos de *benchmarking* de (kWh/m³) em instalações frigoríficas. Apresentam-se quatro locais: Nova Zelândia, Reino Unido, Holanda, Região Centro-Oeste dos Estados Unidos da América (EUA) e Califórnia e os respectivos consumos específico (Commission, 2008).

Tabela 2.3 – *Benchmarking* entre armazéns de refrigeração.

		Nova Zelândia	Reino Unido	Holanda	Centro-Oeste dos EUA	Califórnia
Nº Instalações estudadas		34	-	56	11	28
Consumo Especifico (kWh/m ³)	Intervalo	26-379	34-124	-	19-88	15-132
	Média	84	71	35	48	-

O custo da energia por tonelada de produto é um indicador que também permite aferir da eficiência energética da instalação, a unidade é (€/t) poderá ser calculado através de:

$$\text{Custo de EE por quantidade} = \frac{\text{Custo de EE (€)}}{\text{Quantidade de produto (t)}} \quad (2.5)$$

Um outro custo com interesse será o custo médio do kilowatt-hora para uma dada instalação. Este valor é calculado a partir dos consumos mensais e respetivos custos como mostra a expressão (2.6).

$$\text{Custo Médio} = \frac{\sum_{m=1}^{nm} \left(\frac{\text{Custo Mensal}_{(m)}}{\text{Consumo Mensal}_{(m)}} \right)}{nm} \quad (2.6)$$

Onde:

Custo Médio Custo médio mensal (€/kWh)

*Custo Mensal*_(m) Custo total por mês (€)

*Consumo Total*_(m) Consumo total por mês (kWh)

nm Número de meses

De forma a contabilizar a ocupação e movimentação de carcaças, surge um indicador que relaciona a quantidade de carcaças pelo volume da totalidade das câmaras de refrigeração. Este indicador é dado por:

$$\text{Quantidade de produto por volume} = \frac{\text{Quantidade de produto (t)}}{\text{Volume das câmaras (m}^3\text{)}} \quad (2.7)$$

A relação entre potência instalada dos equipamentos de frio e um dado volume permite perceber se haverá algum sobredimensionamento da instalação, este indicador expressa-se por:

$$\text{Potência instalada por volume} = \frac{\text{Potência Instalada (W)}}{\text{Volume das câmaras (m}^3\text{)}} \quad (2.8)$$

A partir destes indicadores é possível fazer a comparação entre instalações do mesmo setor.

2.6 AUDITORIA ENERGÉTICA

Uma auditoria energética é uma análise metódica da utilização da energia e do consumo de energia, a fim de identificar, quantificar e informar sobre as oportunidades de melhoria do desempenho energético (ISO, 2014). Tem como objetivos principais conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente medidas com viabilidade técnico-económica para as anomalias detetadas de modo a reduzir os consumos energéticos necessários à sua atividade (Ali, 2010).

Dependendo do contexto, cada auditoria deve ter uma abordagem distinta. De um modo geral existem vários tipos de auditorias, desde as mais simples às mais complexas. Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) são três os níveis de auditorias e definem-se como (ASHRAE, 2015):

Nível 1: Auditoria preliminar permite identificar oportunidades de eficiência energética sem custos ou de baixo custo. As atividades envolvidas incluem estudos das faturas de energia e uma breve inspeção ao local

Nível 2: Estudo e análise de auditoria energética na perspectiva de engenharia. Promove recomendações de oportunidades de eficiência energética em função do valor que se esteja disposto a investir. Incluem uma análise em detalhe dos custos de energia e de como é utilizada.

Nível 3: Análise detalhada de investimento de capital. Pretende-se com este tipo de auditoria estudar a análise financeira de grandes investimentos. Acresce ao nível 1 e nível 2 a monitorização e recolha de dados da instalação para posteriormente ser feita uma análise de engenharia.

A cada nível corresponde um esforço que se traduz numa maior ou menor eficiência energética, o que dependendo do objetivo da auditoria e da complexidade da instalação será aplicado um nível.

Existem ainda outros tipos de auditorias energéticas, quer em contexto nacional e internacional. No contexto nacional existe um tipo de auditorias energéticas ao abrigo do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), este sistema aplica-se às instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE) com consumos superiores a 500 tep/ano (Decreto-Lei, 2008). No contexto internacional existem as normas *International Organization for Standardization* (ISO) nomeadamente a ISO 50001:2011 e a ISO 50002:2014 em que abordam um sistema de gestão de energia e de auditorias energéticas, respetivamente. Como as instalações abordadas no presente trabalho não se inserem nesta ordem de valores de consumo referidas no SGCIE e não é interesse do presente trabalho certificar as instalações pelas normas ISO, estes assuntos não serão abordados.

Para se desenvolver um processo de auditoria são várias as etapas necessárias. Inicialmente começa-se por definir o âmbito da auditoria, para isso devem ser respondidas as seguintes questões (Ali, 2010):

- Objetivo da auditoria;
- Tipo de auditoria;
- Metodologia a adotar;
- Pessoas envolvidas;
- Calendarização.

Após definido o âmbito da auditoria segue-se a fase de planeamento. Esta fase compreende as seguintes etapas:

- Definir a duração de cada passo da auditoria;
- Informação a ser recolhida na instalação;
- Escolha de instrumentos de medição, e de registo;
- Listagem da duração e equipamentos a serem medidos e avaliados;
- Passos a seguir durante a visita ao local.

De seguida segue-se o trabalho de campo seguindo as orientações previamente definidas. Com toda a informação recolhida segue-se o seu tratamento e são apresentadas as devidas conclusões da auditoria.

De um modo geral podem-se definir os passos de auditoria como ilustra a Figura 2.9 (Thumann, 2013).



Figura 2.9 – Fases típicas de uma auditoria energética.

Este método de auditoria apresentado, é transversal à grande parte das auditorias energéticas. Tratando-se o presente trabalho de sistemas de refrigeração, a principal diferença recai sobre o trabalho de campo e o seu planeamento. Nesta fase é importante conhecer bem os sistemas de refrigeração, dos quais se destaca: ciclo de refrigeração,

princípio de funcionamento, componentes, constituintes, parâmetros do sistema e hábitos de utilização.

Em suma, o principal objetivo de uma auditoria energética é procurar uma maior racionalização da energia, para isso são propostas medidas no sentido de reduzir o consumo mantendo, ou mesmo elevando os níveis de produção da indústria.

3. METODOLOGIA DE AUDITORIAS AOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Para a realização do presente trabalho foi necessário estudar e desenvolver uma metodologia, sendo também útil como auxiliar para trabalhos futuros. A metodologia desenvolvida baseia-se nos processos necessários à realização de uma auditoria energética aos sistemas de refrigeração para posterior comparação com outras instalações e para a determinação de medidas de melhoria a implementar nas instalações.

Mostra-se assim neste capítulo o modelo desenvolvido e são expostos todos os passos necessários à sua aplicação prática. Como se trata de uma metodologia que é constituída por duas componentes distintas, uma prática, de trabalho de campo e uma outra de engenharia de análise de resultados e conclusões, surge assim também a necessidade de desenvolver um outro tipo de ferramenta que facilite este tratamento e organização da informação recolhida, neste sentido foram desenvolvidas algumas folhas em *software Excel*.

3.2 MODELO DESENVOLVIDO

Para o desenvolvimento da metodologia de auditorias aos sistemas de refrigeração, partiu-se dos estudos referidos em 2.6 bem como da reflexão de ideias sobre como se prevê que as auditorias decorram e todos os passos necessários ao seu sucesso. Ou seja é importante ter sempre presente o objetivo inicial das auditorias e trabalhar no sentido de conseguir dar resposta.

3.2.1 DIAGRAMA DO MODELO

De uma forma mais superficial, esta metodologia contém quatro fases principais. Através do diagrama da Figura 3.1 é possível verificar todas estas fases e para cada uma deles é feita uma breve descrição. Dentro de cada fase será feita uma descrição detalhada como mostra a secção 3.2.2.

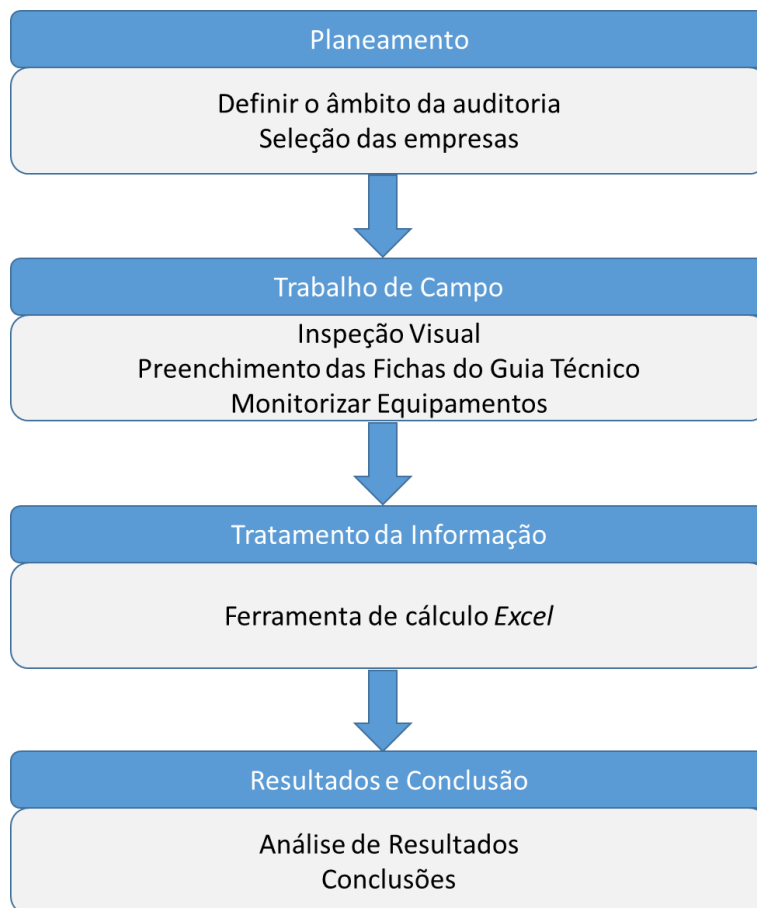


Figura 3.1 – Diagrama do modelo desenvolvido.

3.2.2 FASES DO MODELO

Feita a apresentação do diagrama do modelo, segue-se a explicação detalhada do que se pretende com cada fase:

- Fase de planeamento;
- Fase de trabalho de campo;
- Fase de tratamento da informação;
- Fase de resultados e conclusão.

3.2.2.1 FASE DE PLANEAMENTO

A fase de planeamento consiste em preparar todo o desenvolvimento das auditorias. Inicia-se por definir o âmbito e objetivos das auditorias, serão escolhidas as instalações a serem estudadas e faz-se um primeiro contacto com vista a comunicar sobre a possibilidade

de ser realizado um estudo às instalações em causa. É ainda feito um planeamento de como decorrerá a auditoria no momento da visita ao local, ou seja o material a utilizar e informações necessárias a recolher.

Esta primeira fase pode ser assim dividida em três etapas: definir o âmbito das auditorias, escolha das empresas e o seu primeiro contacto com os seus responsáveis. A Figura 3.2 ilustra a primeira fase por ordem das etapas e os respetivos assuntos pertencentes a cada uma.

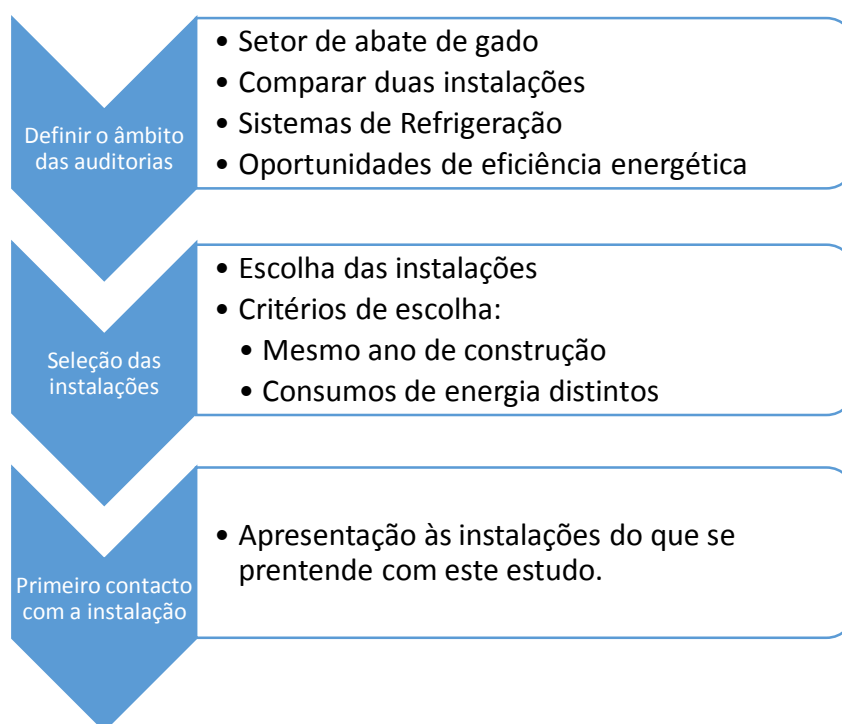


Figura 3.2 – Planeamento: etapas da primeira fase

Paralelamente a este todo o processo referido no diagrama da Figura 3.2, fez-se o planeamento do trabalho de campo propriamente dito. Nesta fase fez-se uma reflexão sobre toda a informação relevante a ser recolhida e necessária a pedir aos responsáveis da instalação. Com base nesta informação foi feita também a escolha do material a utilizar durante a auditoria. Reunida toda a informação essencial ao desenvolvimento do trabalho elaborou-se um guia técnico que serviu de orientação aquando das visitas às instalações. Este guia técnico é constituído por uma série de perguntas a fazer na instalação bem como um conjunto de informação necessária ao desenvolvimento da auditoria. Para o estudo dos consumos energéticos por câmara, é necessário fazer uma escolha prévia de o que se irá

medir e qual a duração da medição. A Tabela 3.1 pretende mostrar a informação principal a recolher para a realização das auditorias.

Tabela 3.1 – Informação a recolher nas instalações.

Informação a recolher	Descrição
Dados genéricos sobre a empresa	<ul style="list-style-type: none"> • Setor; • Ano; • Renovações; • Atividades internas; • Quantidade de produto (t); • Faturas de Energia Elétrica.
Informação das câmaras frigoríficas	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensões (m³); • Equipamentos: Evaporador, Iluminação, Ventiladores; • Tipo de câmara (refrigeração/congelação).
Hábitos de utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de abertura das portas; • Quantidade de produto nas câmaras; • Temperatura do produto quando colocado.
Inspeção visual aos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Isolamentos; • Gelo; • Sujidade.
Manutenções	<ul style="list-style-type: none"> • Planos de manutenção; • Técnicos responsáveis.
Monitorizar equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Condensador, Evaporador, Compressor, Sistema total de frio.

Para uma consulta detalhada de toda a informação a ser recolhida sugere-se a consulta do ANEXO A: Guia Técnico. Este guia técnico foi elaborado nesta fase com o objetivo de ser impresso e levado para as instalações a auditar.

Foi ainda elaborado um outro guia, um catálogo de equipamentos, tipicamente utilizados nestas instalações. Este documento compreende todo um conjunto de imagens fotográficas e sua breve descrição. A necessidade deste guia surge da eventual possibilidade de no momento das visitas às instalações se for confrontado com equipamentos pouco conhecidos, sendo que com este catálogo de equipamentos rapidamente se faz uma consulta e classifica-se o equipamento em questão.

Para este tipo de auditorias é indispensável a utilização de algum equipamento que facilitará e auxiliará nas tarefas no momento do trabalho de campo. Idealmente o material necessário será:

- Medidor de distâncias laser;
- Termómetro;
- Camara termográfica;
- Luxímetro;
- Pinça amperimétrica;
- Voltímetro;
- Analisador/monitorizador de energia;
- Camara fotográfica;
- Caudalímetro;
- Medidor de pressão e temperatura do circuito de refrigeração.

De forma a sintetizar esta segunda parte mostra-se a Figura 3.3.

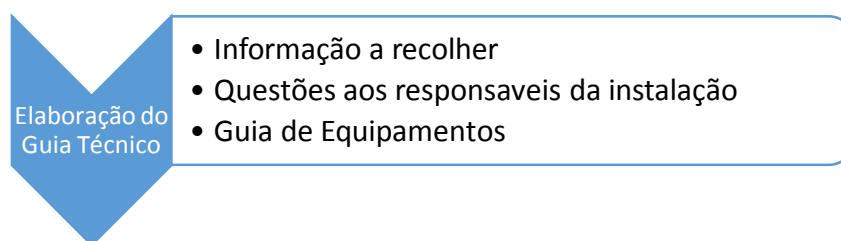


Figura 3.3 – Planeamento: etapas da segunda fase.

Com estes dois processos, abordagem das empresas e elaboração do guia técnico, conclui-se a fase de planeamento.

3.2.2.2 FASE DE TRABALHO DE CAMPO

Concluída toda a fase de planeamento segue-se a fase crucial do trabalho, a fase campo. Nesta fase é importante que todas as etapas anteriores estejam concluídas.

Agendada a visita ao local e com todo o material reunido e documentação impressa, segue-se a deslocação. Nesta fase é essencial usar todo o material, fazer um levantamento fotográfico e registar a máximo de informação possível de recolher, bem como definir o que se irá monitorizar. Esta fase inclui as seguintes etapas: Inspeção visual, preenchimento das fichas do guia técnico e colocação dos dispositivos de monitorização. A Figura 3.4 ilustra as etapas e sua descrição.

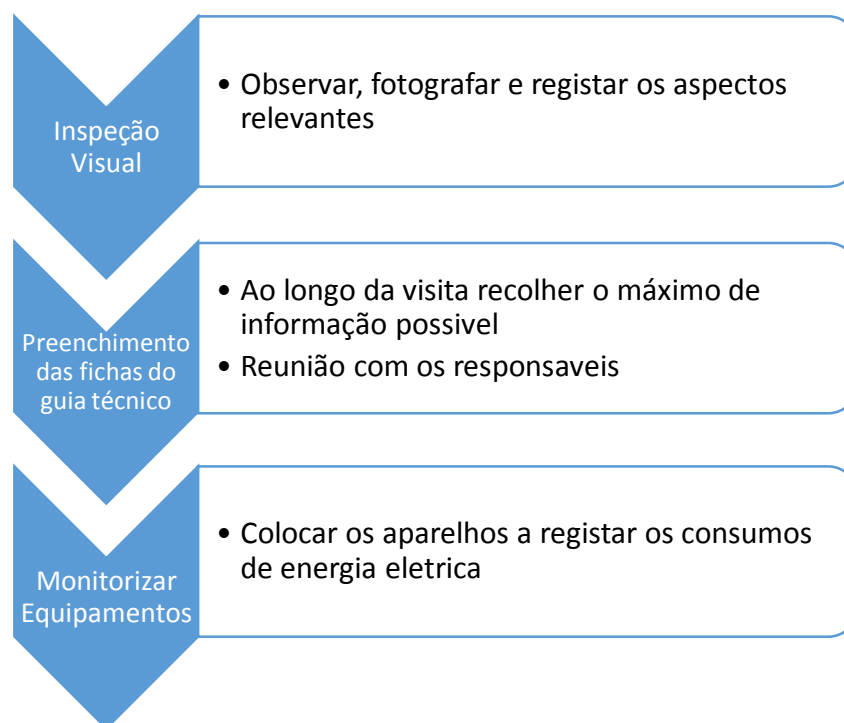


Figura 3.4 – Etapas da fase de trabalho de campo.

3.2.2.3 FASE DE TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO

Com toda a informação obtida no trabalho de campo segue-se a fase de organização da informação, tratamento e o seu estudo. Como auxílio à interpretação dos resultados obtidos fez-se uma ferramenta *Excel* como mostra a secção 3.3.

Nesta fase são calculados todos os indicadores expostos na secção 2.5.3 Indicadores para *Benchmarking*, e feita a sua interpretação. São recolhidos os dados das faturas de energia elétrica e comparados com a quantidade de produto, para tal é fundamental conhecer estes valores descritos para cada mês do ano. Toda a informação acerca das câmaras e diversos equipamentos será tratada de forma a obter os seus valores totais e individuais para cada câmara. A informação dos consumos de energia, obtida através dos aparelhos de medição será também nesta fase estudada. Apresenta-se assim o diagrama da Figura 3.5 que mostra a informação principal a ser tratada durante esta fase.

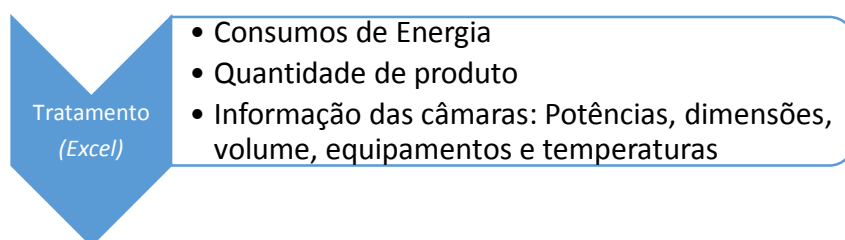


Figura 3.5 – Tratamento da informação.

3.2.2.4 FASE DE CONCLUSÃO

Por ultimo com todos os dados obtidos e tratados é feita a sua análise e são retiradas as devidas conclusões de forma a dar resposta ao objetivo inicial da auditoria. Aqui são apresentados todos os resultados e referidas as oportunidades de eficiência energética que foram descritas em 2.5.2. Conclui-se a auditoria apresentando as medidas de eficiência energética, tanto ao nível de tecnologias a serem instaladas como questões de uma melhor gestão de boas práticas da unidade em estudo. A Figura 3.6 ilustra a fase final da auditoria.

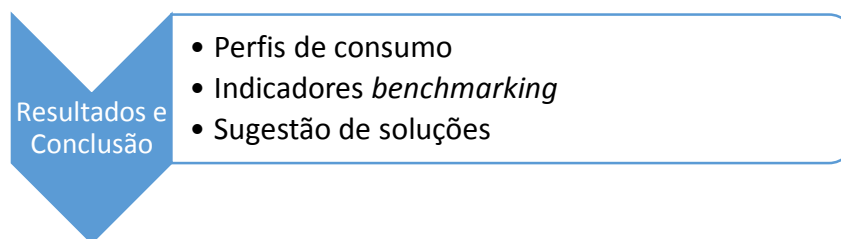


Figura 3.6 – Resultados e conclusão

3.3 FERRAMENTA DE APOIO À ANÁLISE DE RESULTADOS

Para facilitar a organização e tratamento da informação obtida através das auditorias desenvolveram-se folhas de cálculo que com base na informação recolhida acerca das instalações, ira facilitar a análise de resultados e servirá também como base para possíveis futuras auditorias energéticas.

A título de exemplo, nas três secções seguintes, mostra-se o *layout* das folhas em *Excel* e sua descrição.

3.3.1 FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA E INDICADORES

Começando por caracterizar a folha ilustrativa da Figura 3.7 tem-se assim uma página dedicada aos consumos de energia elétrica, ao qual se pretende que seja preenchida com os consumos desagregados pelo tipo de energia ativa ou reativa e por períodos horários, horas de ponta (HP), horas de cheias (HC), horas de vazio normal (HVN) e horas de super vazio (HSV), bem como os seus respetivos custos e custo total. Com estes dados introduzidos é possível traçar os respetivos gráficos do comportamento da instalação ao nível dos consumos energéticos mensais ao longo de um ano. Obtém-se ainda o somatório total de cada coluna, correspondente ao consumo (kWh) e ao custo (€). Estes consumos surgem das faturas de energia elétrica. Como exemplo pode-se visualizar na Figura 3.7 uma tabela e alguns gráficos referentes aos consumos de energia elétrica. Para uma análise da relação entre os consumos (kWh) com o peso do produto (t) é possível inserir os valores mensais do peso e traçar o gráfico das duas variáveis para perceber o andamento e a relação entre ambos os fatores. Para o cálculo dos indicadores referidos em 2.5.3 uma outra página facilitará esta tarefa, sendo apenas necessário introduzir os seguintes valores: consumos de energia elétrica, e respetivo custo, peso total do produto, volumes das câmaras e potências dos equipamentos, obtendo-se assim os indicadores necessários ao *benchmarking*.

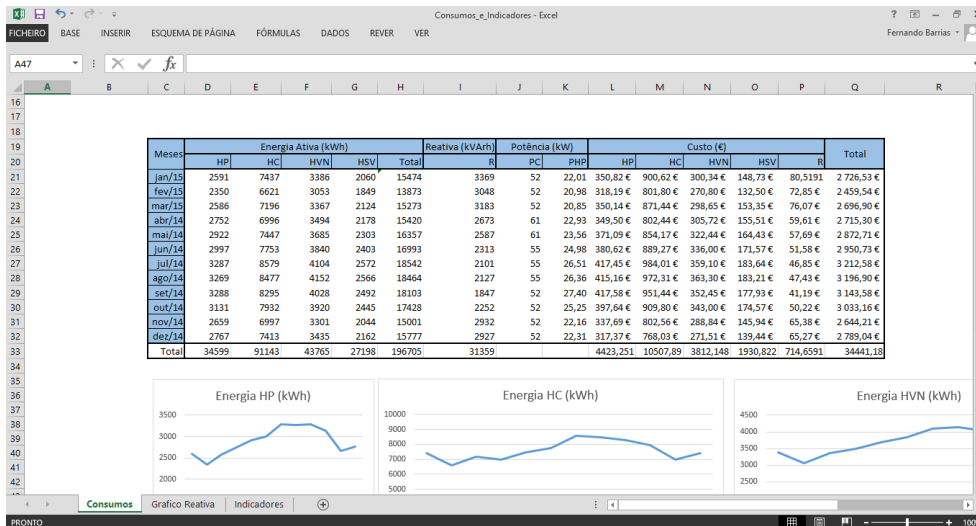


Figura 3.7 – Consumos obtidos a partir das faturas energéticas.

3.3.2 INFORMAÇÃO DAS CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO

Ao nível das câmaras foi criada uma folha que tem como objetivo caracterizar as câmaras ao nível das suas dimensões e potências dos seus equipamentos. Esta página tem como *inputs*: as dimensões das câmaras, a potência de cada compressor associado à respetiva câmara (se for um sistema não centralizado), a potência dos ventiladores e a da iluminação para cada câmara. Desta forma é possível obter o volume total e volume médio referente às câmaras e a potência total dos vários constituintes, com isto pode-se desagregar por componente e verificar a fatia de potência instalada para cada componente. A Figura 3.8 pretende ilustrar a folha *Excel* correspondente à informação das câmaras de refrigeração.

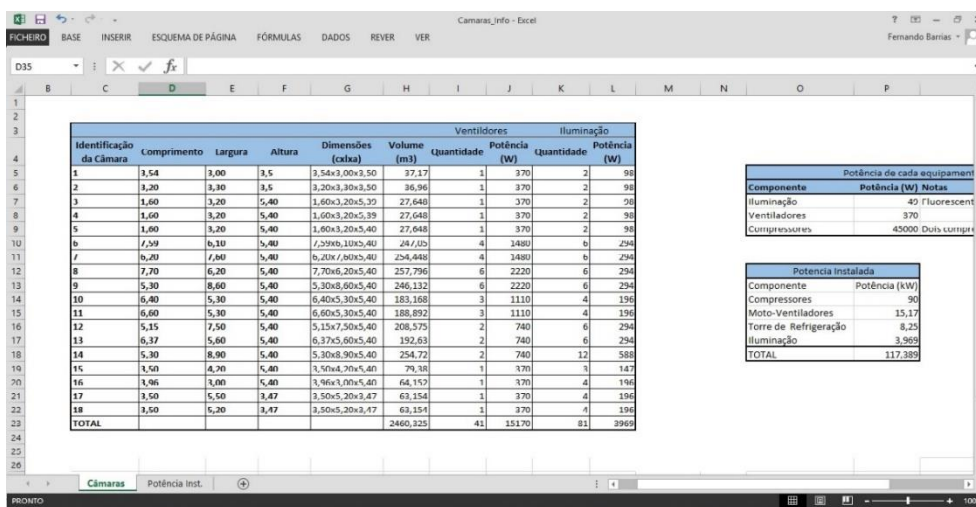


Figura 3.8 – Informações das câmaras.

3.3.3 PERFIL DOS CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA

Para perceber o andamento e comportamento dos consumos de energia elétrica, uma outra folha serve de base. É constituída por colunas em que, uma coluna contém o período horário, representado em períodos de hora a hora e na coluna conseqüente, a potência nesses dado período de uma hora. Os valores e o respetivo período horário correspondente são obtidos através dos equipamentos de registo da potência. Com estes dois valores obtém se o diagrama de carga para o equipamento monitorizado. A Figura 3.9 ilustra as colunas e o respetivo perfil de consumo.

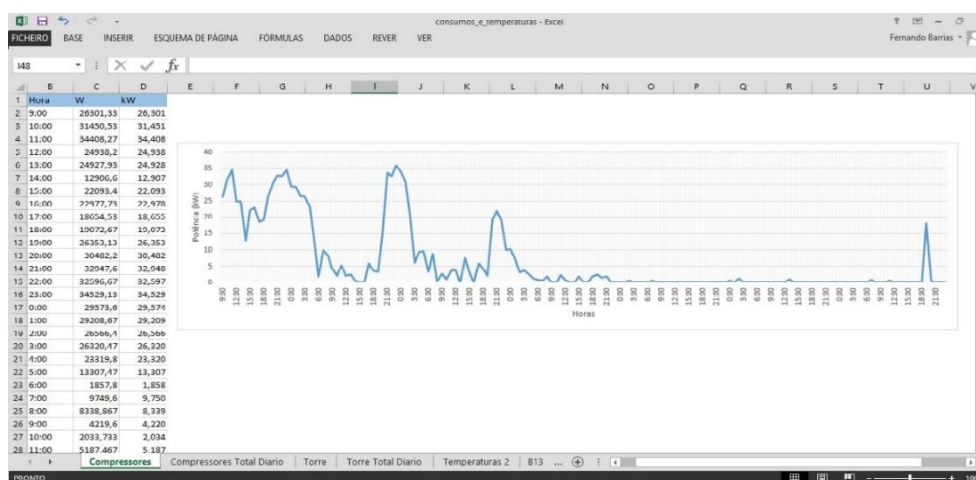


Figura 3.9 – Diagrama de carga.

Da informação fornecida pelas empresas, tal como a quantidade de produto que passou pelas suas instalações ou o valor das temperaturas do interior das câmaras de refrigeração, sugere-se a utilização das tabelas dinâmicas do *Excel*, pois facilitam a sua análise. Com este tipo de tabelas é possível agrupar valores de, por exemplo, temperaturas que inicialmente se encontravam em períodos de 5 minutos para períodos mais longos de por exemplo uma hora, fazendo assim uma média da temperatura nesse desse período inicial e passando a corresponder esse valor a uma hora. O mesmo pode ser para os valores obtidos dos analisadores de energia, em que de períodos de um minuto é possível somar e agrupar para períodos de uma hora, e isto tudo de uma forma automática e simples.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Para implementar o modelo desenvolvido é assim necessário começar por identificar o âmbito e o objetivo das auditorias. Para o presente trabalho o âmbito foi comparar duas instalações ao nível das suas tecnologias e boas práticas, e identificar oportunidades de eficiência energética.

A preparação das auditorias a realizar começou com o estudo de ponto da situação da empresa SKK[®], relativamente ao levantamento da informação já obtida acerca de instalações de frio. Partiu-se de uma base de dados disponibilizada pela SKK[®], esta base de dados de elevada extensão possui informação superficial das instalações de frio. Daqui foi feita uma seriação de pares de empresas a serem alvo de estudo com base no mesmo setor e ano de atividade e de consumos energéticos distintos. Desta triagem foram selecionadas 14 empresas, sendo destas escolhidos 10 pares de empresas, de seguida iniciou-se um processo de abordagem do trabalho para com as empresas a informar sobre o que se pretende com este estudo. É importante referir que nesta primeira abordagem foi agendada uma reunião com os responsáveis a fim de explicar todas as tarefas e informações necessárias à realização das auditorias, desde a necessidade de visitar o interior das instalações, ter acesso aos seus componentes até à necessidade de informações mais sensíveis como a quantidade de produto que passa pelas instalações e as faturas de energia elétrica. Foram realizadas sete reuniões e destas conseguiu-se obter respostas positivas de um par de empresas, sendo essas duas alvo dos casos de estudo como se mostra no próximo capítulo.

No momento da visita às instalações destaca-se a importância da inspeção visual quer a nível do interior e do exterior, é importante verificar a sua envolvente, o que a rodeia e tentar perceber se há câmaras em contacto direto com o exterior. No interior das câmaras para ter acesso aos equipamentos é necessário utilizar uma escada que permita que se aproxime dos evaporadores e iluminação de forma a registar os equipamentos instalados. Ainda nesta fase de trabalho de campo sugerem-se outras ações a tomar como ir com todo o material necessário e fazer o registo da máxima informação apresentada no guia técnico. O catálogo de equipamentos também é um documento útil, como referido anteriormente, permitirá o esclarecimento de dúvidas quando confrontados com algum equipamento menos familiar.

A análise da informação recolhida constitui uma fase onde é feita toda a interpretação dos resultados obtidos, devendo ser analisada e relacionada toda a informação desde os indicadores obtidos às questões acerca das instalações, seus hábitos, equipamentos, estado dos equipamentos entre outros.

O modelo aqui desenvolvido e mostrado serve essencialmente para instalações que possuam instalados sistemas de refrigeração, preferencialmente instalações de frio onde é feito o armazenamento de alimentos. Seguindo toda a metodologia pela ordem demonstrada anteriormente no diagrama da Figura 3.1 e tentando preencher o máximo de requisitos o que quantos mais requisitos forem preenchidos mais rica será a auditoria bem como as suas conclusões, tem-se assim uma metodologia de auditorias aos sistemas de refrigeração.

4. CASOS DE ESTUDO

4.1 INTRODUÇÃO

Partindo da metodologia desenvolvida no capítulo 3 bem como dos conhecimentos estudados e apresentados no capítulo 2 seguem-se os dois casos de estudo.

A primeira fase, como mostra a secção 3.2.2.1 é a fase do planeamento, onde se define o âmbito e são escolhidas as empresas para o primeiro contacto. O âmbito da auditoria recai sobre a determinação de oportunidades de eficiência energética em duas empresas. Foram alvo deste estudo duas instalações do setor de abate de gado (produção de carne), em que foi feito todo o levantamento de informação acerca das instalações principalmente da parte dos sistemas de refrigeração. Com base na informação obtida acerca das instalações foi feito um estudo independente para cada caso e posteriormente fez-se a comparação entre ambas as instalações. Para cada instalação foram sugeridas soluções de aumento de eficiência energética.

De forma respeitar a confidencialidade das instalações, estas aparecem com a designação de instalação (A) e instalação (B).

Para ambos os casos de estudo foi feita uma inspeção visual em que teve como objetivo verificar as condições das instalações, desde o estado dos isolamentos até ao levantamento de todo o equipamento e características das câmaras de refrigeração. Dos dados recolhidos, a volumetria foi obtida através da medição das câmaras e apresenta-se em m³, as temperaturas nos vários pontos das câmaras foram obtidas através da câmara termográfica, o que nas imagens é possível verificar a distribuição das temperaturas através da distribuição da coloração nas imagens representadas, o consumo de energia dos equipamentos foi obtido a partir de aparelhos medidores de energia com função de armazenamento e exportação para ficheiros do tipo “.csv”. As fichas técnicas do material utilizado apresentam-se no ANEXO B: Equipamento Utilizado.

4.2 CASO DE ESTUDO: INSTALAÇÃO A

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

Como supracitado trata-se de uma empresa inserida no setor de gado, nesta empresa é feita a comercialização e armazenamento de carne. Entrou em funcionamento no início da década de 90, a sua localização é num meio rural encontrando-se rodeada por uma zona florestal com várias árvores de médio a grande porte.

Ao nível de câmaras de refrigeração possui nove câmaras sendo uma delas de congelação. O ciclo termodinâmico é o de compressão a vapor. Sabe-se ao longo dos anos a instalação sofreu várias melhorias e viu o seu número de câmaras a aumentar. A data de construção das câmaras bem como do seu equipamento data do início dos anos 90, mais tarde foram feitas melhorias, no ano 2000 e mais recentemente em 2005. Esta instalação é alimentada em baixa tensão especial (BTE). Os equipamentos de frio instalado datam sensivelmente do ano de 2000 e 2005.

4.2.2 RESULTADOS

Feita a visita ao local e cumprindo com as orientações da metodologia referidas na secção 3.2.2.2 verificou-se a existência de nove câmaras de refrigeração e uma de congelação, perfazendo um total de 1600 m³. As temperaturas das câmaras de refrigeração são de 0 a 2 °C e a da congelação é da ordem dos -18 °C. A potência instalada referente aos compressores é de 46 kW, sendo que a potência total instalada acrescentando os compressores, os motores dos ventiladores e a iluminação perfaz um total de 53,8 kW.

Com base na ferramenta *Excel* exposta em 3.3 inseriram-se os respetivos valores na folha e obteve-se a Tabela 4.1. De notar que devido à existência de unidades compactas de refrigeração, não são conhecidas as características dos motores dos ventiladores, pois não foi possível ter acesso à chapa de características. Mesmo com a consulta dos respetivos catálogos esta informação não estava disponibilizada, sendo apresentada apenas a potência do compressor.

Tabela 4.1 – Descrição de cada câmara frigorífica da instalação (A).

Identificação da Câmara	Volume (m ³)	Potência Compressores (W)	Ventiladores		Iluminação		Potência Total (W)
			Quantidade	Potência (W)	Quantidade	Potência (W)	
1	127,04	3700	-	-	4	196	3896
2	130,16	2940	-	-	4	196	3136
3	203,05	5510	-	-	12	588	6098
4	93,96	3730	-	-	2	98	3828
5	259,76	7500	2	2730	8	392	10622
6	146,51	3730	-	0	4	196	3926
7	57,51	3730	2	750	4	196	5622
8	63,18		2	750	4	196	
9 a)	523,85	9500	2	1100	9	441	16631
		5590					
TOTAL	1605,02	45930	8	5330	51	2499	53759

a) Câmara de Congelação

Relativamente à fatura energética a instalação apresenta um custo total anual de EE de 34 441,18 € e um consumo anual de energia de 196 705 kWh. De referir que este custo representa o valor final na fatura, com todas as taxas incluídas. A evolução dos consumos ao longo de um ano civil segue tendência como mostra a Figura 4.1.

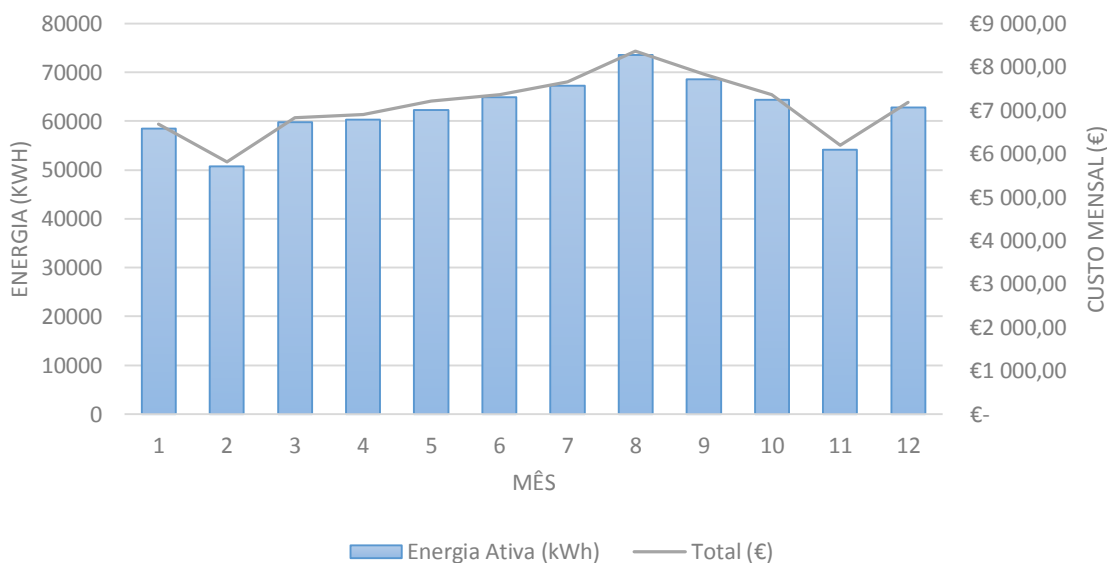


Figura 4.1 - Evolução dos consumos e custo ao longo de um ano na instalação (A).

Daqui se retira em que os meses de maior consumo são os meses de verão, já os de menor consumo são novembro e fevereiro, o mês de dezembro apresenta um valor relativamente elevado comparativamente a novembro, este facto deve-se à época festiva natalícia e de ano novo.

A potência contratada (PC) varia entre os 52 e os 61 kW, a potência em horas de ponta (PHP) apresenta um valor médio de 24 kW.

Além da energia ativa esta instalação apresenta valores significativos de energia reativa, como mostra a, Figura 4.2 o valor total anual de reativa foi de 31 359 kVArh e o respetivo custo de 714,66 €. Dada a quantidade de motores e de iluminação fluorescente é notório o valor elevado da energia reativa.

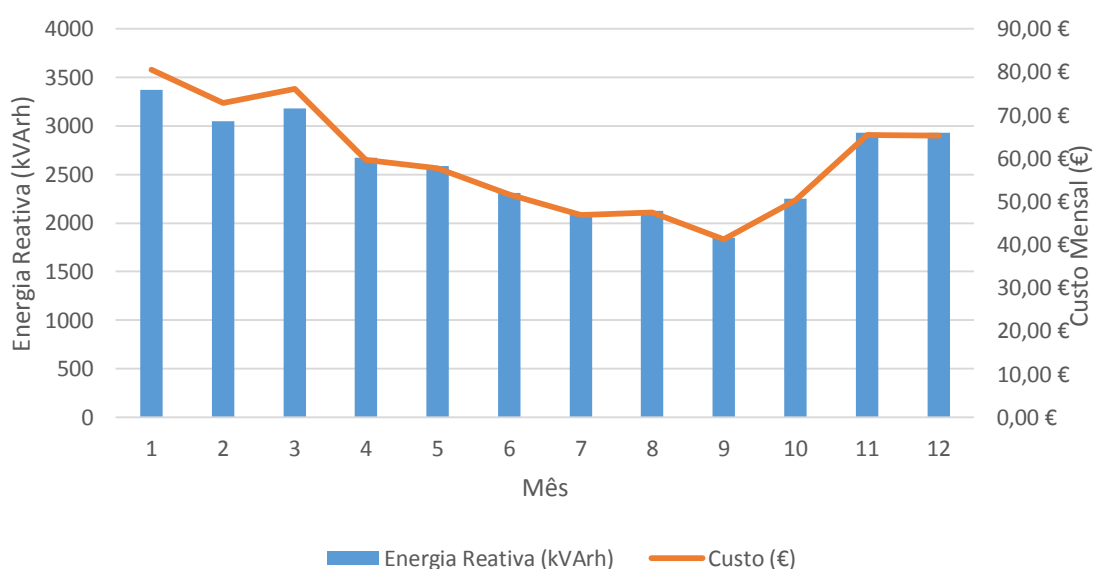


Figura 4.2 - Evolução da energia reativa ao longo de um ano na instalação (A).

A distribuição dos consumos por períodos horários distribui-se ao longo de um ano como mostra a Figura 4.3. O período horário que toma preponderância é o das horas cheias, ocupando cerca de 46%. O ciclo horário da BTE pode ser consultado no ANEXO D: Horário do Tarifário.

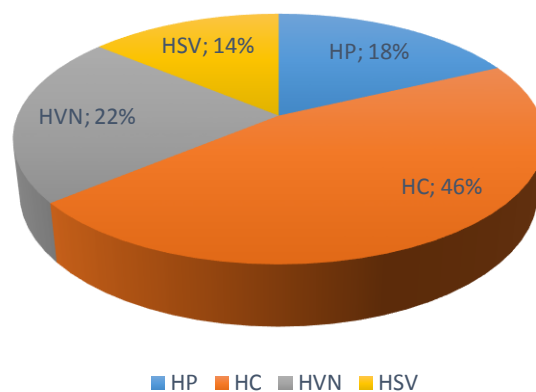


Figura 4.3 – Distribuição dos consumos por período horário na instalação (A).

Com toda a informação tratada e sintetizada como mostra a Tabela 4.2, foram calculados os valores dos indicadores apresentados na secção 2.5.3. Daqui surgem os valores dos indicadores presentes na Tabela 4.3.

Tabela 4.2 – Dados para obter os indicadores da instalação (A).

Descrição	Valor
Consumo Total Anual de EE	196 705 kWh
Quantidade de Produto Anual	3120 t
Volume Total das Câmaras	1 605,02 m ³
Potência Nominal dos Compressores	45,93 kW
Potência Instalada de Frio	53,76 kW
Custo Anual EE	34 441,18 €

Tabela 4.3 – Indicadores da instalação (A).

Indicador	Valor
Consumo Especifico de EE	63,05 kWh/t
Consumo de EE por Volume das Câmaras	122,56 kWh/m ³
Quantidade de Produto por Volume	1943,90 kg/m ³
Potência Instalada por volume	33,49 W/m ³
Potência dos compressores por volume	28,62 W/m ³
Custo de EE por Tonelada	11,04 €/t
Custo médio anual do kWh	0,1751 €/kWh

Com recurso ao uso da câmara termográfica foi possível verificar os pontos de maior temperatura e possíveis fugas, como se mostram nas Figura 4.4 até à Figura 4.7.

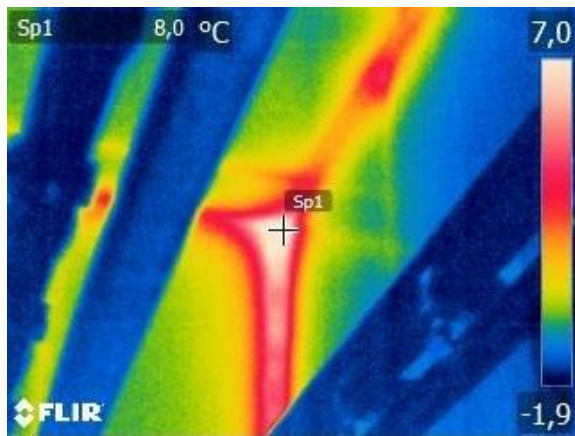


Figura 4.4 – Ponte térmica.

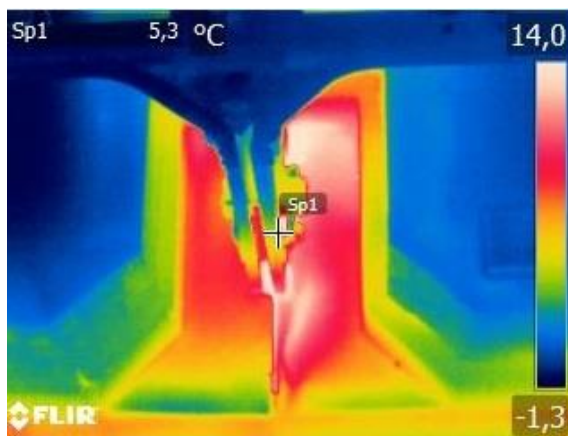


Figura 4.5 – Porta e carris de entrada de carcaça.

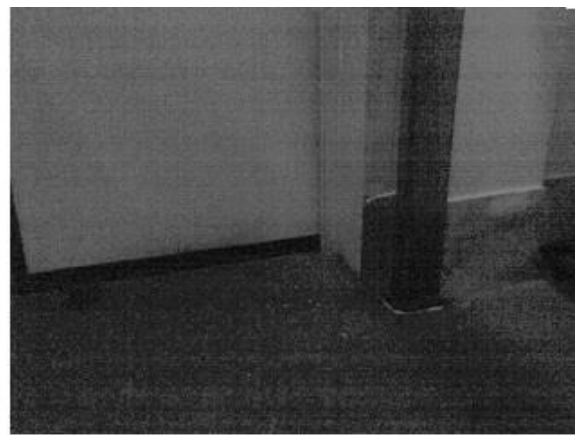
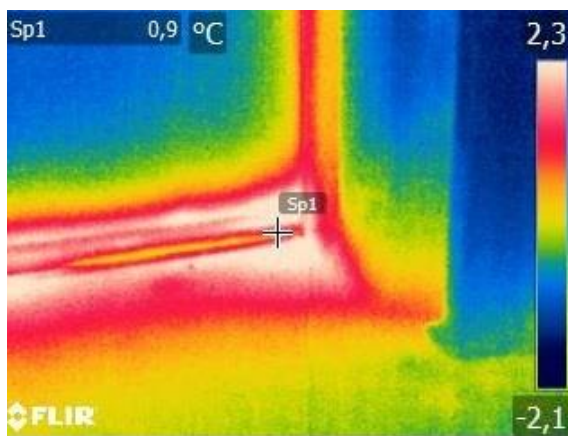


Figura 4.6 – Porta.

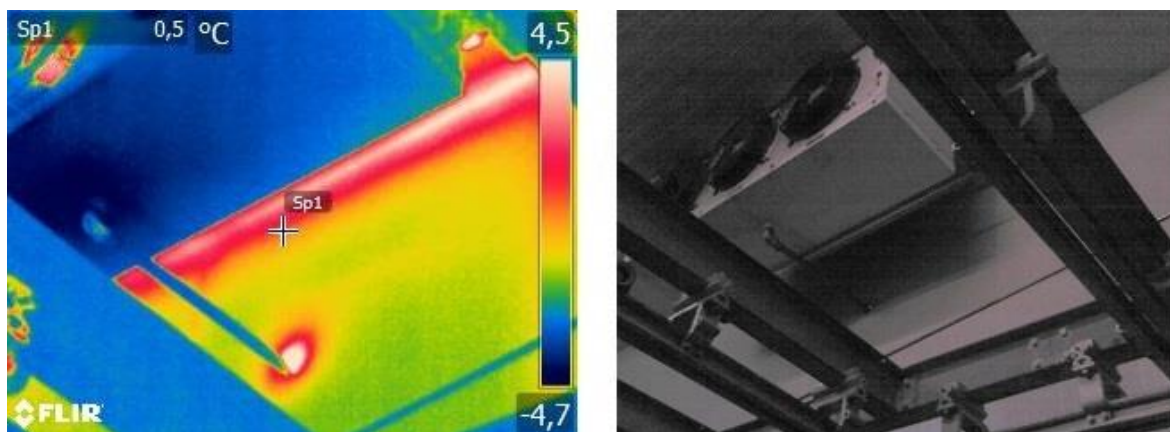


Figura 4.7 – Problemas de isolamentos.

Da inspeção visual observou-se que os isolamentos do compressor da câmara 5 se encontravam em mau estado com presença de ferrugem e alguma corrosão como mostra a Figura 4.8.



Figura 4.8 – Isolamentos deteriorados e presença de ferrugem.

Num outro compressor, pertencente à câmara de congelação, verificou-se uma fuga de óleo. No interior desta mesma câmara observou-se a presença de gelo no evaporador. O óleo como ilustra a Figura 4.9 e o gelo na Figura 4.10.



Figura 4.9 – Fuga de óleo.



Figura 4.10 – Presença de gelo no evaporador.

Destas imagens verifica-se que existe falta de manutenção. Um outro aspeto verificado na instalação foi o local escolhido para a instalação de uma das unidades de refrigeração. Como se pode verificar na Figura 4.11 esta unidade encontra-se com a ventilação deficitária devido à obstrução pela parede, o que impede o seu bom funcionamento, deveria se encontrar livre, permitindo assim um melhor funcionamento.



Figura 4.11 – Ventilação deficitária.

Relativamente aos hábitos de utilização, a instalação não tem grandes cuidados com as portas de cais, mantendo as abertas por períodos prolongados em momentos que não são necessárias. Os motores dos ventiladores não possuem qualquer tipo de controlo de velocidade, estando apenas ligado ou desligado. Um aspeto positivo foi a existência de cortinas de lamelas na câmara de congelação.

4.2.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com todos os resultados obtidos seguem-se as fases do seu tratamento e sua análise como mostra a metodologia na secção 3.2.2.3 e 3.2.2.4. Assim sendo, dos dados obtidos através das faturas de energia elétrica é possível observar um maior consumo de energia nos meses de verão, sendo o aumento médio de cerca de 20% em relação ao inverno, no inverno apresenta-se um consumo médio de 15 000 kWh e no verão de 18 000 kWh. A envolvente da instalação poderá afetar positivamente os consumos pois a instalação encontra-se em zona florestal, ainda relativamente à construção apresenta cobertura o que da parte superior existe uma outra divisão, não estando assim a parte superior em contacto direto com o exterior. Das câmaras, três, encontravam-se com um dos seus lados em contacto com as fachadas da instalação.

Como a instalação não faz a compensação do fator de potência, é faturada energia reativa o que neste caso toma valores elevados, 714,66 €, sendo possível ser feito um estudo de viabilidade económica da possibilidade de instalação de uma bateria de condensadores.

Considerando apenas as câmaras de refrigeração, a área média é de 180 m³ e a potência média dos compressores é de 5,10 kW. Ao nível da potência instalada e a sua relação com o volume, é notória uma tendência que com o aumento de volume das câmaras a potência instalada siga a mesma tendência, como mostra a Figura 4.12.

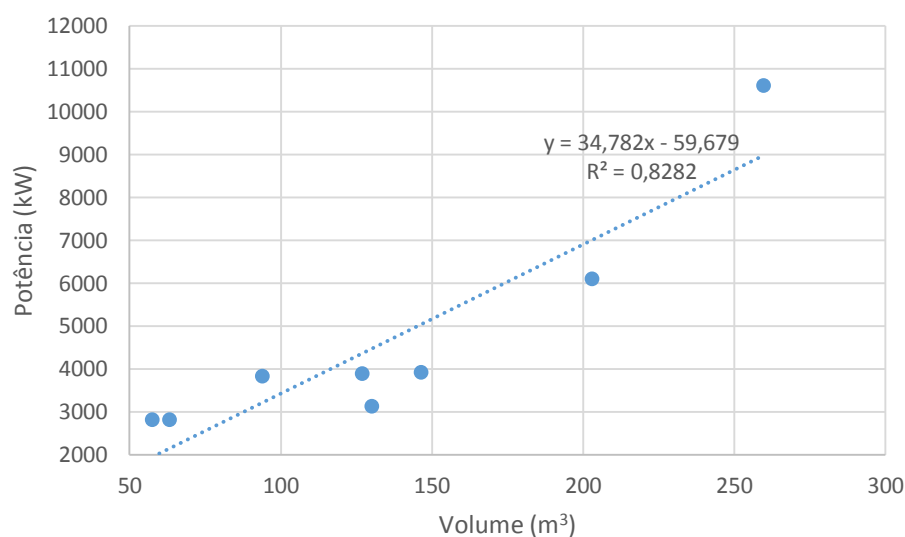


Figura 4.12 – Relação do volume das câmaras com a potência instalada.

Da regressão linear é possível verificar a tendência da potência para um dado volume de refrigeração, a expressão que permite obter este valor é:

$$Potência(W) = 34,78 \times volume (m^3) - 59,68 \quad (4.1)$$

De salientar que na regressão linear apenas se apresentam câmaras de refrigeração, não estando contabilizada a de congelação, para não introduzir erros.

Com a câmara termográfica foi possível verificar alguns pontos de maior temperatura no interior das câmaras. Das imagens é possível observar que na porta existem uns carris por onde circulam as carcaças, este ponto apresenta temperaturas elevadas relativamente ao interior da câmara, sendo um ponto onde haverão fugas devia ser reforçado o isolamento. A alteração para limitar por completo a fuga é inevitável pois será sempre necessário a

existência de carris para facilitar a movimentação de carcaças na instalação. Uma outra fuga encontra-se na parede em torno da tubagem que segue para o exterior.

Da informação recolhida, a iluminação utilizada no interior das câmaras é fluorescente do tipo T5 de 49 W, em que são utilizados balastros ferromagnéticos, que tendo em conta estas condições haverá margem para aumento da eficiência energética. O controlo é automático, ou seja, a iluminação fica ativa no momento da abertura das portas das câmaras. Nos ventiladores não é utilizado qualquer dispositivo de controlo de velocidade sendo que estes ou se encontram ligados ou desligados, atualmente existem tecnologias que permitem fazer o controlo de velocidade dos ventiladores conduzindo também a uma diminuição dos consumos de energia elétrica.

Notou-se que existe algum descuido na manutenção tal como evidenciado nas imagens, destacando-se: óleo no compressor, isolamentos em mau estado, presença de gelo no evaporador, fraca ventilação de uma unidade de refrigeração. Daqui se verifica que não há grandes cuidados com manutenções.

Relativamente aos indicadores calculados, é importante referir que estes foram calculados com base nos valores totais presentes na fatura energética, quer no custo como no consumo. Foi feita esta abordagem devido a não ter conhecimento detalhado do consumo somente da parte do sistema de frio, embora estudos referidos em 2.5.1 indiquem que estes valores sejam da ordem dos 75%, pela sensibilidade e tendo em conta o tipo de instalação, neste caso este valor seria superior. Assim sendo de forma a não utilizar valores de outros estudos para o presente caso de estudo preferiu-se utilizar a totalidade, assim aborda-se também numa perspetiva mais global em que os consumos da administração contribuem para o desenvolvimento e funcionamento do comércio de gado.

Por último foram obtidos todos os indicadores, que terão especial interesse para fazer a comparação com uma outra instalação do mesmo setor. Esta comparação é feita na secção 4.4 do presente trabalho.

4.2.4 SOLUÇÕES SUGERIDAS

Com base nos resultados e sua análise, reparou-se que a instalação pode ser alvo de várias melhorias. Das várias melhorias a fazer sugerem-se as seguintes:

- Isolamentos;

- Manutenções;
- Variadores de velocidade;
- Substituição de balastros ferromagnéticos por eletrônicos;
- Corrigir o fator de potência;
- Melhorar os hábitos na gestão da abertura das portas de cais;
- Fuga na câmara 3;
- Alterar a localização da unidade de refrigeração (Figura 4.11);
- Estudar a possibilidade de instalar uma central de frio;
- Estudar a possibilidade de substituição da iluminação fluorescente por LED.

Destas soluções, algumas apresentam custos relativamente baixos com melhorias significativas, tais como fazer uma revisão dos isolamentos e manutenções ao nível dos vários equipamentos, como compressores e evaporadores. Controlar melhor o tempo em que as portas de cais se encontram abertas também será uma medida interessante na medida em que diminui as variações de temperatura o que, reduzirá o número de arranques do sistema de refrigeração. Outras medidas passíveis de implementar, embora com custos elevados, seria estudar a possibilidade de instalar um sistema de frio centralizado, assim seria feita uma melhor gestão de todo o sistema, como consequência veria o seu consumo reduzido.

4.3 CASO DE ESTUDO: INSTALAÇÃO B

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

A instalação (B) iniciou o seu funcionamento por volta no ano de 2001, sendo que as câmaras e o sistema de refrigeração datam da mesma altura, a sua localização é numa zona industrial, estando rodeada por outras instalações industriais. Tal como a instalação (A), esta insere-se no mesmo setor, embora ao contrário da anterior que apenas exerce funções de entreposto, esta faz o armazenamento e ainda efetua abate de gado, possuindo para isso uma área dedicada ao matadouro. A alimentação é feita em Média Tensão (MT) havendo um transformador de 630 kVA.

O sistema de refrigeração é centralizado, composto por dois compressores com controlo de carga. O ciclo termodinâmico é o de compressão a vapor, tendo como fluido refrigerante o amoníaco.

4.3.2 RESULTADOS

À luz do caso de estudo (A) e com base na metodologia apresentada em 3.2 seguem-se os resultados obtidos através do trabalho de campo. Do levantamento das câmaras verifica-se que a instalação possui 18 câmaras, sendo as mais pequenas com volume na ordem dos 37 m³ e as maiores de 250 m³, o somatório do volume de cada câmara perfaz um total de 2460 m³. Tratam-se todas de câmaras de refrigeração sendo o seu valor de temperatura interior compreendido entre 0 a 2 °C. Relativamente aos componentes consumidores de EE no interior das câmaras, os ventiladores dos evaporadores têm uma potência de 370 W. O ciclo termodinâmico é o de compressão a vapor

A Tabela 4.4 descreve todas as câmaras existentes na instalação, delas as que se encontram em funcionamento contínuo são a: 2; 8; 12 e 14.

Tabela 4.4 – Descrição de cada câmara frigorífica da instalação B

Identificação da Câmara	Volume (m ³)	Ventilador do Evaporador		Iluminação	
		Quantidade	Potência (W)	Quantidade	Potência (W)
1	37,17	1	370	2	98
2	36,96	1	370	2	98
3	27,648	1	370	2	98
4	27,648	1	370	2	98
5	27,648	1	370	2	98
6	247,05	4	1480	6	294
7	254,448	4	1480	6	294
8	257,796	6	2220	6	294
9	246,132	6	2220	6	294
10	183,168	3	1110	4	196
11	188,892	3	1110	4	196
12	208,575	2	740	6	294
13	192,63	2	740	6	294
14	254,72	2	740	12	588
15	79,38	1	370	3	147
16	64,152	1	370	4	196
17	63,154	1	370	4	196
18	63,154	1	370	4	196
TOTAL	2460,325	41	15170	81	3969

A potência instalada dos principais equipamentos da instalação de frio apresenta-se distribuída por: compressores, ventiladores, torre de refrigeração e iluminação. Os valores totais apresentam-se na Tabela 4.5 em que o valor total é de 117,40 kW.

Tabela 4.5 – Potência instalada

Equipamento	Potência (kW)
Compressores	90
Ventiladores	15,17
Torre de refrigeração	8,25
Iluminação	3,97
Total	117,40

Relativamente aos consumos energéticos, foram fornecidas faturas completas dos meses de abril de 2014 até agosto de 2014, o restante período foi fornecido em folhas *Excel* apenas contendo o valor do consumo. Como não era conhecido o custo mensal dos restantes meses, fez-se uma estimativa com base nas faturas existentes fazendo a relação entre o custo e a quantidade de kWh para cada mês como mostra a expressão (2.6), obteve-se um valor médio de 0,1143 €/kWh o que se aproxima do valor referido em 2.5.2. O valor da PC é de 293 kW e o valor médio da PHP é de 153 kW tendo variações da ordem dos 3%.

Após tratada toda a informação relativa às faturas resulta o gráfico da Figura 4.13. É notável um maior consumo e consequentemente maior custo mensal nos meses de verão, o mês de inverno com maior consumo é o de dezembro fruto de ser uma época festiva. O consumo total de EE anual é de 747 081 kWh e o respetivo custo total de 85 355,11 €.

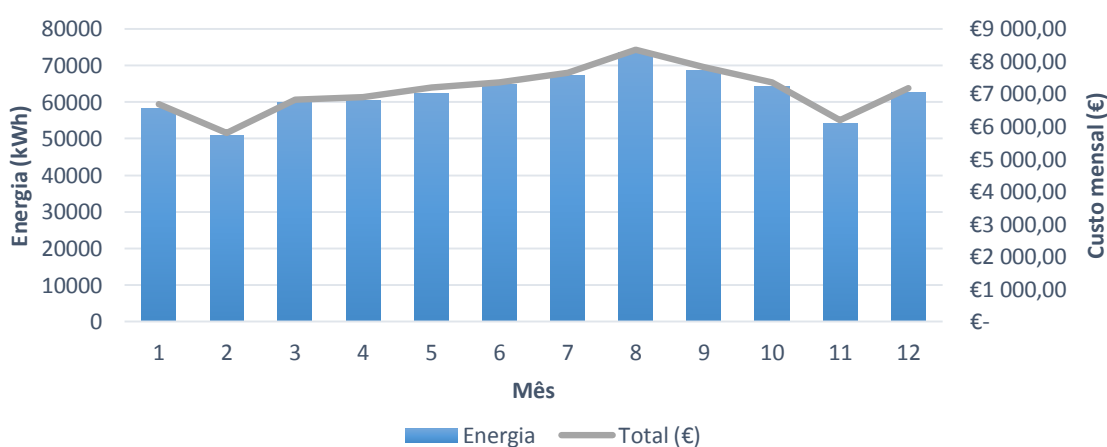


Figura 4.13 – Evolução dos consumos e respetivo custo ao longo de um ano na instalação (B)

A Figura 4.14 representa os consumos repartidos por período horário: horas de ponta (HP); horas de cheias (HC); horas de vazio normal (HVN) e horas de super vazio (HSV). O ciclo horário é o semanal. O horário do ciclo semanal de MT pode ser consultado no ANEXO D: Horário do Tarifário.

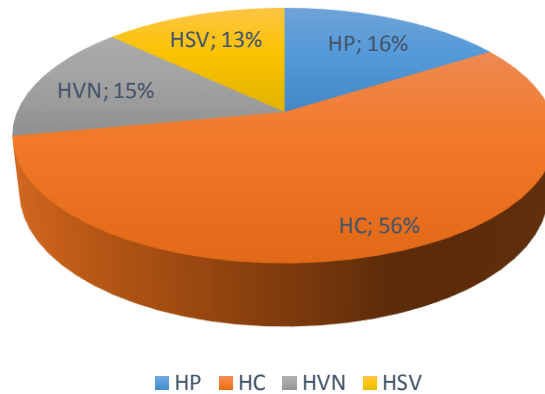


Figura 4.14 – Distribuição dos consumos por período horário na instalação (B).

A relação entre o consumo de EE e quantidade de produto em toneladas que passa pelas instalações, representa-se no gráfico da Figura 4.15.

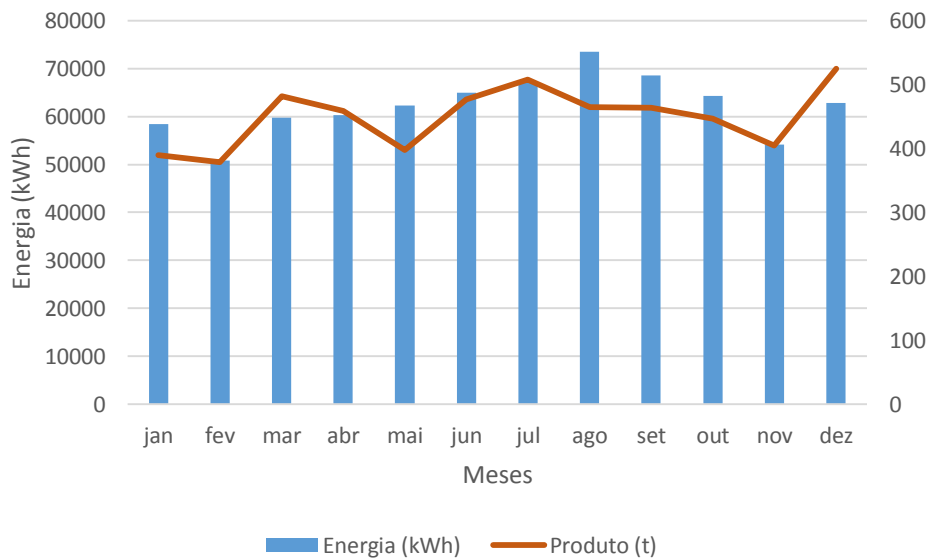


Figura 4.15 – Relação entre o consumo de EE e quantidade de produto em toneladas

Foram monitorizados ao longo de uma semana os seguintes equipamentos: um compressor, a torre de refrigeração e duas câmaras, a 2 e 14. O gráfico da Figura 4.17 mostra

a distribuição destes mesmos. Nestas condições em que foi feita a monitorização, o consumo total foi de 1582,3 kWh. A Figura 4.16 representa a instalação do equipamento de medição de energia num disjuntor motor. O equipamento utilizado apresenta-se como sendo um medidor de energia ativa com função de memória. Como a ideia era conhecer o perfil dos consumos de quatro equipamentos em simultâneo, utilizaram-se estes equipamentos mais económicos.



Figura 4.16 – Instalação de aparelhos de medida de energia.

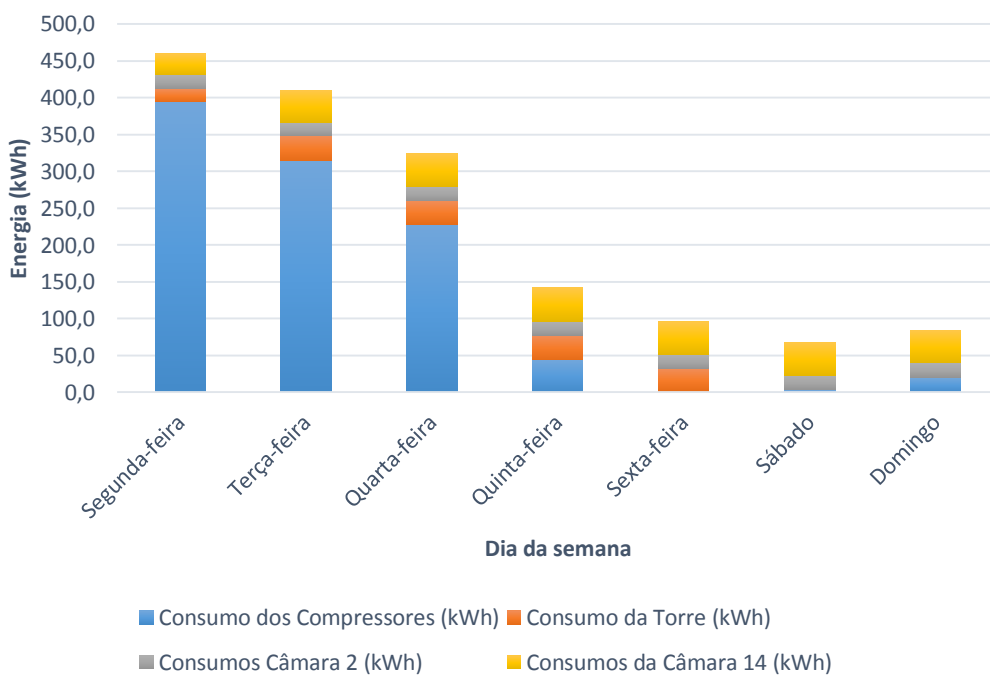


Figura 4.17 – Consumos por equipamento ao longo de uma semana.

Como a instalação forneceu os valores das temperaturas das câmaras alvo de estudo, foi possível fazer a relação entre o consumo e a temperatura. Esta relação ilustra-se na Figura 4.18, que mostra o comportamento ao longo de um dia. Para um maior detalhe dos perfis de consumo e temperatura sugere-se a consulta do ANEXO C: Perfis de Consumos e Temperaturas.

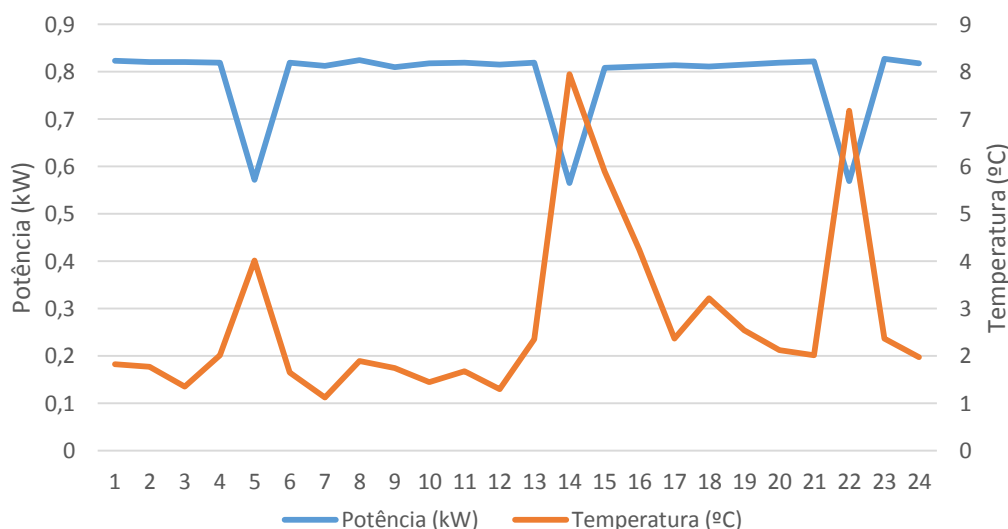


Figura 4.18 – Relação entre a energia (kWh) e a temperatura (°C) na câmara 2.

Com os dados recolhidos é possível obter os indicadores referidos em 2.5.3.

A Tabela 4.6 resume os valores totais para cálculo dos indicadores apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.6 – Valores para obtenção dos indicadores da instalação (B).

Descrição	Valor
Consumo Total Anual de EE	747 081 kWh
Quantidade de Produto Anual	5394,80 t
Volume Total das Câmaras	2 460,33 m ³
Potência Nominal dos Compressores	90 kW
Potência Total de Frio	117,40 kW
Custo Anual EE	85 355,11 €

Tabela 4.7 – Indicadores da instalação (B)

Indicador	Valor
Consumo Especifico de EE	138,5 kWh/t
Consumo de EE por Volume das Câmaras	303,7 kWh/m ³
Quantidade de Produto por Volume	2193 kg/m ³
Potência Instalada por volume	47,7 W/m ³
Potência dos compressores por volume	36,6 W/m ³
Custo de EE por Tonelada	15,82 €
Custo médio anual do kWh	0,1143 €/kWh

Como são conhecidos os valores de produto por cada mês e o respetivo consumo de EE, é possível obter os consumos específicos para cada mês e perceber o comportamento ao longo do ano entre estas duas variáveis, o consumo EE e a quantidade de produto. O gráfico da Figura 4.19.

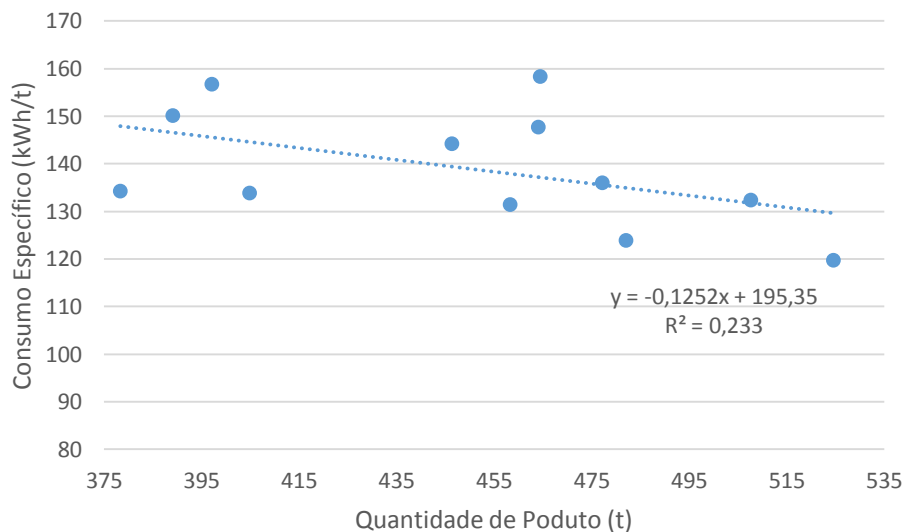


Figura 4.19 – Consumo específico por mês e quantidade de produto.

Da regressão linear é possível obter o consumo específico para uma dada quantidade de produto, a expressão que permite obter este valor é:

$$\text{Consumo Especifico (kWh / t)} = -0,1252 \times \text{produto (t)} + 195,35 \quad (4.2)$$

Da inspeção visual recorrendo ao uso da camera termográfica, foi possível localizar os locais de maior fuga, como se verifica da Figura 4.20 à Figura 4.23.

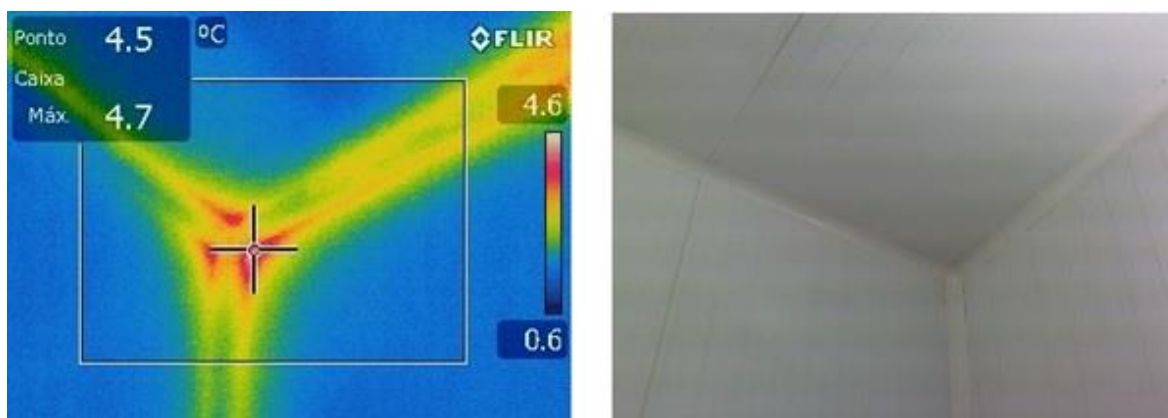


Figura 4.20 – Ponte térmica.

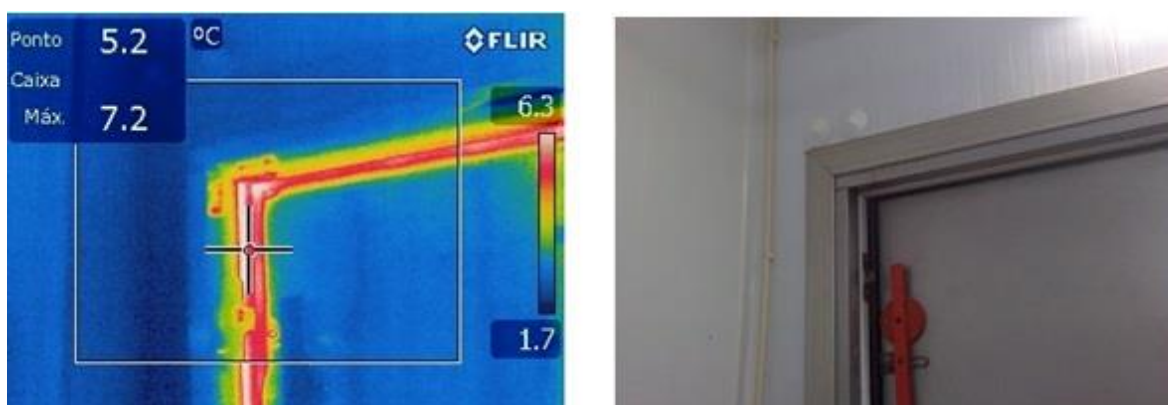


Figura 4.21 – Porta (parte superior).

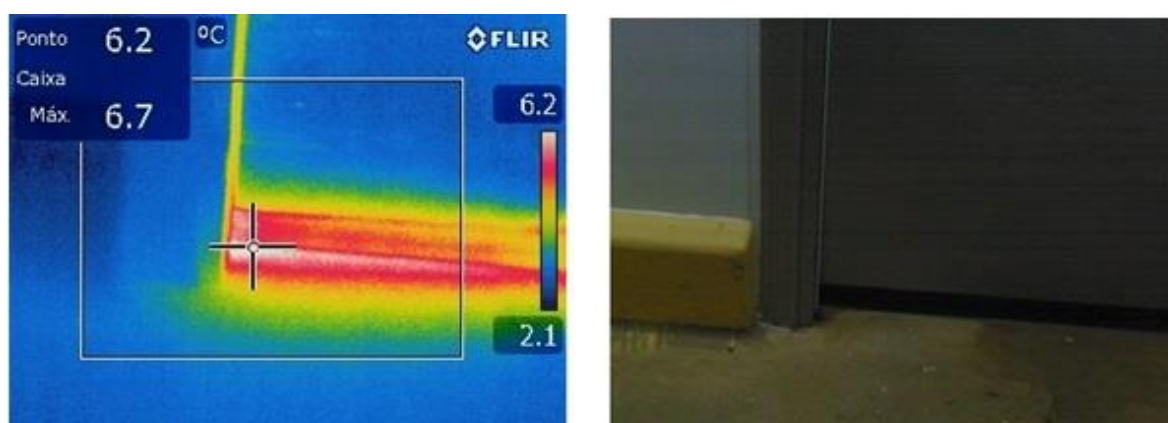


Figura 4.22 – Porta (parte inferior).

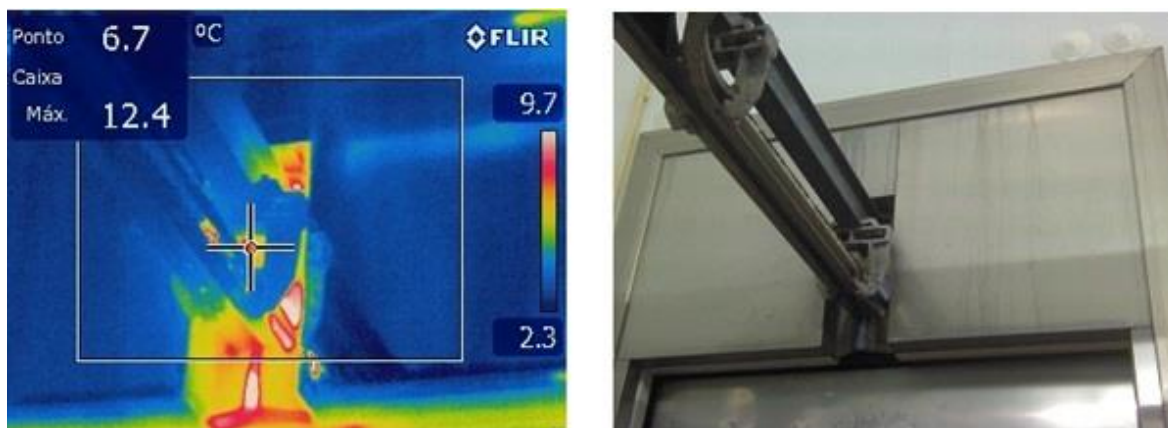


Figura 4.23 – Carris de entrada.

Reparou-se ainda a falta de manutenções e falhas nos isolamentos com a presença de gelo devido à baixa temperatura que leva o ar que esta à volta a condensar, se estivesse isolado não estaria em contacto com o ar o que não formava gelo.



Figura 4.24 – Presença de gelo

A empresa apresenta preocupações e grandes exigências ao nível de uma boa gestão da abertura e fecho de portas, tanto das câmaras como as portas de cais. Um problema verificado foi com a descongelação, que não está implementada de forma automática. As câmaras de refrigeração não possuíam isolamentos secundários.

4.3.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Começando por analisar a tendência dos consumos verifica-se que o mês de maior consumo é o de agosto e os de menor são novembro e fevereiro. Como é conhecida a quantidade de produto que entra na instalação por mês, fez-se o cruzamento da EE consumida com a quantidade de produto. Daqui se observa, de modo geral, uma tendência

coincidente dos consumos com a quantidade de produto, com exceção do mês de agosto e dezembro em que esta tendência não se verifica, como são os meses de extremos ou seja o mais quente e mais frio conclui-se o que a temperatura exterior tem uma maior influência nos consumos do que a quantidade de carcaças. O período horário onde é feito o maior consumo é nas horas de ponta (HP) sendo que pelos restantes existe uma distribuição quase uniforme, não havendo diferenças acentuada. A instalação possui uma bateria de condensadores o que se confirma quando verificadas as faturas que a energia reativa é praticamente inexistente, apresentando-se apenas um valor residual sem relevante significado.

Com os resultados da monitorização dos equipamentos, verificou-se que segunda-feira é o dia de maior consumo, informação esta que vai de encontro ao que foi informado através da reunião com os responsáveis. No Anexo C.3 - Perfil de Consumo do Compressor representa-se o perfil de consumo do compressor, daqui repara-se que entre quinta-feira e domingo o consumo do compressor não é expressivo como nos restantes dias, isto deve-se a que a medição apenas foi feita num dos compressores e muito possivelmente seria o outro compressor que estaria em funcionamento. A instalação em estudo funciona por períodos de grande movimentação e consumo ou baixa movimentação, os de maior no início da semana e menor mais para o fim da semana. Quando se cruzaram dados das temperaturas do interior da câmara com o perfil de consumos da mesma, foi possível observar a coincidência dos grandes picos de temperatura com os momentos de menor consumo, este facto deve-se aos momentos de descongelação, outros pequenos picos e variações devem-se à abertura e fecho de portas bem como a entrada e saída de produto. Estes perfis de consumos podem ser consultados no Anexo C.1 - Perfil de Consumo e Temperatura da Câmara 2 e no Anexo C.2 - Perfil de Consumo e Temperatura da Câmara 14. É possível ainda verificar quando comparados os perfis da câmara 2 com a câmara 14 são notórios os picos de temperatura, sendo que devido às dimensões da câmara 2, 37 m³, tem muito menor inercia térmica o que pequenas variações de temperatura devido a abertura de portas, tem um efeito mais acentuado nas variações de temperatura e conseqüentemente no arranque dos motores dos ventiladores, já na outra câmara como tem uma área de 255 m³ estas variações não são tão expressivas fruto da maior inercia térmica da câmara.

Partindo da obtenção dos consumos e da quantidade de produto, fez-se o consumo específico para cada mês, fazendo a linha de tendência ao longo de um ano, o que foi possível

denotar que existe uma relação de aumento de eficiência energética com o aumento da quantidade de produto, o que daqui se retira que nos dias da semana em que não existem grande movimentação a eficiência da instalação decai.

Da inspeção visual, com a ajuda da câmara termográfica verificaram-se os pontos de fugas, o que terão um maior interesse quando feita a comparação entre ambas as instalações. Outros reparos feitos foram ao nível da presença de gelo nas tubagens que nesta instalação são evidentes e se tornam num problema para a eficiência do sistema de refrigeração.

Da parte elétrica das câmaras de frio, a iluminação existente é feita a partir de lâmpadas fluorescentes do tipo T5 com uma potência de 49 W, sabe-se ainda que tem vindo a ser progressivamente substituídos os balastros ferromagnéticos por eletrónicos, o controlo é manual sendo necessário ativar ou desativar a iluminação manualmente. Os motores ventiladores não possuem nenhum tipo de controlo de velocidade.

4.3.4 SOLUÇÕES SUGERIDAS

À luz de como foram sugeridas melhorias na instalação (A) apresentam-se as melhorias propostas para a instalação (B):

- Isolamentos;
- Manutenções;
- Variadores de velocidade;
- Substituição de balastros ferromagnéticos por eletrónicos;
- Estudar a possibilidade de substituição da iluminação fluorescente por LED;
- Automatizar a descongelação;
- Atualizar o sistema de gestão da refrigeração para um mais atual.

Das soluções apresentadas, as que à partida com baixo custo teriam impacto nos consumos seriam, colocar isolamentos de forma a evitar a formação de gelo como verificado. Nunca é demais fazer as devidas manutenções e limpezas dos evaporadores e condensadores. A instalação de variadores de velocidade também passa por ser uma medida interessante. Ainda ao nível da iluminação sabe-se que estão a ser feitas melhorias através da substituição dos balastros. Uma outra opção, seria atualizar todo o sistema de gestão da refrigeração, pois como referido a descongelação não é totalmente automática.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS CASOS DE ESTUDO

Sabe-se que ambas as empresas atuam no setor de gado, embora com ligeiras diferenças entre elas. A empresa (A) possui uma câmara de congelação e não faz abate de gado apenas armazenamento e distribuição, a (B) tem a atividade de matadouro e distribui mas só tem refrigeração. O seu sistema de refrigeração também difere um é formado por unidades individuais para cada câmara a (B) é composta por uma central de frio.

A volumetria e a envolvente das instalações são dois aspetos distintos entre ambas as instalações, sendo a primeira estudada de menores dimensões, com número inferior de janelas e portas o que oferece menores perdas térmicas, a segunda instalação tem uma área superior em que por sua vez possui mais janelas e portas. A localização é benéfica para a instalação que se encontra numa zona florestal enquanto a instalação (B) numa zona industrial. São ambos os edifícios em alvenaria em que predomina a cor branca no seu exterior. O tempo de operação difere entre ambos os sistemas de refrigeração, das reuniões com os responsáveis, percebeu-se que a empresa (A) apresenta tempos de operação inferiores ao da empresa (B).

4.4.1 DISTRIBUIÇÃO DAS POTÊNCIAS E CONSUMOS

A potência instalada para cada instalação, tendo em conta a iluminação, compressores e evaporadores segue a distribuição representada nas Figura 4.25 e Figura 4.26, valores estes que não se distanciam significativamente entre as duas empresas.

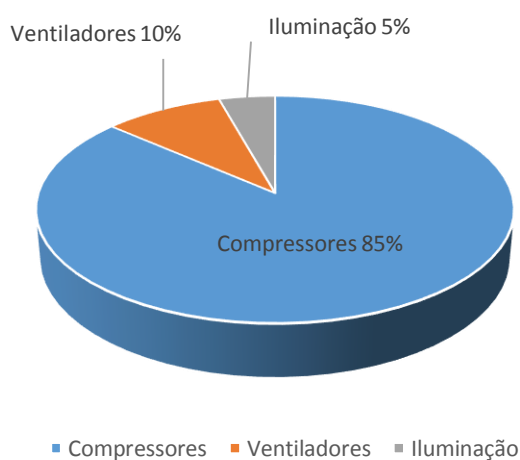


Figura 4.25 – Distribuição da potência instalada em (A).

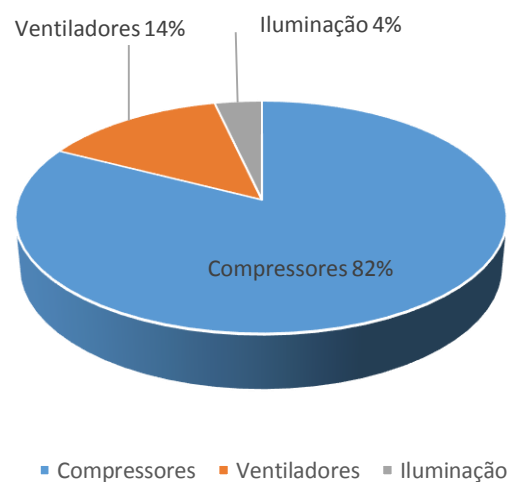


Figura 4.26 – Distribuição da potência instalada em (B).

Na instalação (A) os meses de menor consumo são fevereiro e novembro e os de maior consumo o mês de julho e agosto, a mesma tendência acontece na instalação (B), embora se verifique que o mês de agosto é o de maior consumo. Esta tendência justifica-se pelo facto de nos meses quentes a temperatura é mais elevada comparativamente ao inverno

Os consumos por período horário mostram-se na Figura 4.27. É evidente que perto de 50% do consumo acontece nas horas de cheias (HC), relativamente aos restantes períodos ambas as empresas seguem a mesma tendência. De notar ainda que o segundo período com maior consumo difere para ambas as empresas, na empresa (A) são as horas no vazio normal, (HVN), na (B) as horas de ponta (HP). A empresa (B) apresenta maior uniformidade na distribuição nos períodos de ponta, vazio normal e super vazio.

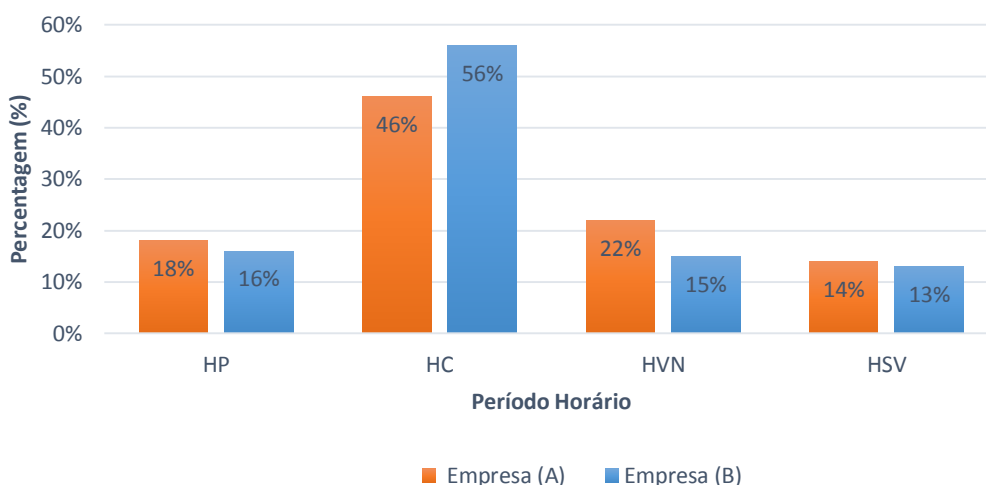


Figura 4.27 – Distribuição da EE por período horário.

4.4.2 INDICADORES

Partindo das duas instalações estudadas é possível fazer comparações através da técnica de *benchmarking*. Como se verifica na Tabela 4.8 é notória a diferença de valores nos indicadores que contemplam a energia elétrica. Começando por analisar o consumo específico de EE, é de notar que a instalação (B) apresenta um valor que ultrapassa o dobro da instalação (A). Seria de esperar que a instalação (B) tivesse um consumo específico superior, pois tem maior área e faz abate de gado o que influencia nos consumos pois as carcaças entram nas câmaras frigoríficas a sensivelmente entre 30 a 40 °C, sendo que também permanecem mais tempo no interior das câmaras, outro aspeto a ter em linha de

conta é a tipologia da instalação em que uma apresenta uma central de frio e a outra, unidades individuais para cada câmara. Na instalação (A) as carcaças chegam do transporte entre sensivelmente os 3 e os 7 °C.

A partir dos indicadores do consumo e a quantidade por unidade de volume, é possível perceber o nível de ocupação de produto nas câmaras, em que a diferença entre as instalações é de 16% tendo a (B) uma maior quantidade de produto. Confrontando este valor com o consumo por volume, surgem grandes diferenças pois a empresa (B) apresenta um valor triplo da (A), este facto justifica-se pela eficiência das empresas, em que na (A) o período de tempo em que as carcaças se encontram no interior das câmaras é bastante inferior ao da (B), sendo assim feita a rápida distribuição pelos clientes. Outros fatores determinantes são como referido anteriormente as funções que compreendem a cada instalação.

Os indicadores da potência instalada indicam que a instalação (B) em relação à (A) possui para os compressores e para o total de frio um valor superior em 22% e 30% respetivamente. De forma a estudar estes valores seria necessário fazer um estudo de projeto de instalações de refrigeração.

Como os consumos de EE e a quantidade de produto difere entre eles, o custo por tonelada resulta num valor superior para a instalação (B) de cerca de 16 €/t para 11 €/t, um outro fator determinante neste custo é o custo médio do kWh, que para a instalação (A) é de 0,1751 €/kWh e na (B) é de 0,1143 €/kWh, esta diferença surge devido ao tipo de tensão contratada e consequentemente o seu tarifário, para a média tensão o valor obtido foi bastante inferior relativamente à baixa tensão especial.

Tabela 4.8 – Comparação de indicadores entre as instalações (A) e (B).

Indicador	Valor Instalação (A)	Valor Instalação (B)
Consumo Específico de EE	63,05 kWh/t	138,5 kWh/t
Consumo de EE por Volume das Câmaras	122,56 kWh/m ³	303,7 kWh/m ³
Quantidade de Produto por Volume	1943,90 kg/m ³	2193 kg/m ³
Potência dos Compressores por volume	28,62 W/m ³	36,6 W/m ³
Potência Instalada de frio por volume	33,49 W/m ³	47,7 W/m ³
Custo de EE por Tonelada	11,04 €/t	15,82 €/t
Custo médio anual do kilowatt-hora	0,1751 €/kWh	0,1143 €/kWh

Tabela 4.9 – Dados gerais das instalações (A) e (B).

Descrição	Valor Instalação (A)	Valor Instalação (B)
Consumo Total Anual de EE	196 705 kWh	747 081 kWh
Quantidade de Produto Anual	3120 t	5394,80 t
Volume Total das Câmaras	1 605,82 m ³	2 460,33 m ³
Número de Câmaras	9	18
Potência Nominal dos Compressores	45,93 kW	90 kW
Potência Total de Frio	53,8 kW	117,40 kW
Custo Anual EE	34 441,18 €	85 355,11 €
Ciclo termodinâmico	Compressão a Vapor	Compressão a Vapor

Quando confrontados os valores obtidos do consumo específico de energia elétrica, com os apresentados no estudo referido em 2.5.3, verifica-se que se encontram dentro do intervalo de valores desse mesmo estudo ou seja, 36-154 kWh/t.

4.4.3 TECNOLOGIAS

Ao nível das tecnologias, as instalações apresentam algumas características distintas, o tipo de sistema instalado é uma delas, outra o controlo da iluminação em que na primeira é feito de forma automática e na segunda instalação é feito de forma manual. A iluminação utilizada é semelhante entre ambas, tratando-se de lâmpadas fluorescentes. O método de descongelação é também uma tecnologia diferente, sendo que na empresa (B) é feito através de gás quente e na empresa (A) é feito através de resistência elétricas. Destes métodos o que representa melhor eficiência é o de gás quente.

Das tecnologias a instalar, o controlo de velocidade dos ventiladores seria uma hipótese para ambas as instalações, uma outra de interessa em câmaras com mais movimentação seria a instalação de cortinas de ar na entrada por forma a reduzir as infiltrações de ar.

Uma semelhança entre ambas as empresas é a idade dos equipamentos constituintes que contam com quinze anos de existência. Como a tecnologia tem vindo cada vez a ser alvo de melhorias, é de salientar que para o mesmo fim existem equipamentos de maior eficiência.

4.4.4 BOAS PRÁTICAS

Embora a instalação (A) apresente condições mais favoráveis ao desperdício de energia ao nível das manutenções, boas praticas e estado de isolamentos, tem um consumo específico de metade da (B), este facto justifica-se pela diferença do tipo de instalações quer a nível do equipamento e também o tipo de funções que exercidas por cada empresa. Daqui é possível concluir que existem possibilidades de melhorias na eficiência energética da primeira instalação.

A localização dos equipamentos de frio na empresa (B), nomeadamente os compressores, encontrava-se centralizada, num compartimento devido a ser um sistema central de frio, na empresa (A) encontravam-se localizados no exterior, numa varanda e outros acoplados na parede, ao qual uma das unidades de refrigeração encontrava-se com falta evidente de ventilação

Ambas as câmaras não se encontravam demasiado cheias, verificando-se a fácil passagem de ar entre os vários produtos. Já a temperatura em que o produto entra nas câmaras é bastante distinto entre ambas as empresas, motivado principalmente pela parte de matadouro. Ainda acerca das câmaras a instalação (A) possui cortinas de lamelas na porta o que constitui um isolamento secundário na câmara de congelação, já na segunda instalação nenhuma câmara possui este tipo de isolamento secundário. Relativamente aos isolamentos das portas, não se notam diferenças significativas, apenas nos carris de entrada de produto em que na instalação (A) encontram-se em mau estado como confirmam as imagens da câmara termográfica, não tendo uma uniformidade de temperatura, na instalação (B) estas encontram-se em melhor estado.

A falta de manutenções foi evidente em ambas as instalações, verificando-se um aspeto essencial em falta no que respeita a boas práticas. Deveriam ser agendadas manutenções periódicas.

4.4.5 OPORTUNIDADES DE AUMENTO DE EFICIÊNCIA

Dos estudos expostos em 2.5.2 e por forma a facilitar a interpretação das oportunidades, apresenta-se a Figura 4.28 que ilustra as medidas identificadas com base na relação do custo de investimento e do potencial de poupança.

Destas medidas destacam-se as de baixo custo e com potencial de poupança elevado: manutenções, questões comportamentais como anteriormente referido, substituição e colocação de isolamento. De referir que para cada oportunidade fez-se a correspondência à respetiva instalação (A) ou (B).

Custo de investimento

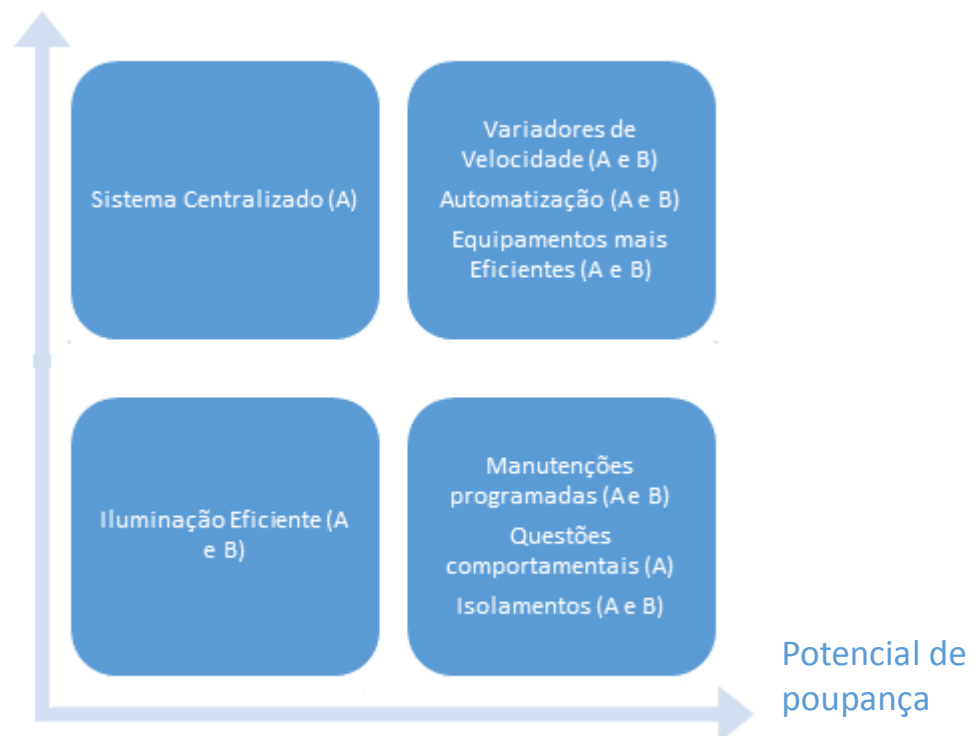


Figura 4.28 – Oportunidades de eficiência em função do custo e do potencial de poupança

5. CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foram estudadas duas instalações da indústria agroalimentar pertencentes ao setor das carnes. O trabalho desenvolvido incidiu sobre estudo dos seus sistemas de refrigeração.

Dos resultados obtidos são várias as conclusões obtidas. Partindo do histórico dos consumos de EE ao longo de um ano e da quantidade de produto da instalação (B), verificaram-se que as condições ambientais, nomeadamente a temperatura externa, tem mais impacto nos consumos do que a quantidade de produto que passa pelas instalações. O período horário de maior consumo é durante as HC e o de menor consumo nas HSV, esta tendência é igual para ambos os casos de estudo.

As visitas às instalações foram um momento chave do trabalho, pois permitiram o contacto direto com as empresas, sendo de salientar a importância das reuniões com os responsáveis e a inspeção visual à instalação.

O equipamento utilizado ao longo das auditorias foi uma ajuda crucial que de outro modo não seria possível obter determinadas informações. Daqui se destaca a câmara termográfica que permitiu conhecer as temperaturas e os possíveis pontos de fugas, sendo que no interior das câmaras os pontos identificados de maiores perdas são as pontes térmicas e as vedações das portas. Com os aparelhos de medida foi possível obter os perfis de consumo e conhecer o equipamento de maior consumo. Ao nível dos componentes do sistema de refrigeração os que têm maior consumo são os compressores. Apenas foram obtidos os perfis de consumo da segunda instalação pois na primeira a tipologia e localização do quadro elétrico não permitiu a sua instalação, encontrando-se numa zona de grande movimentação o que o seria incomodativo para os responsáveis da instalação. Foram obtidos ainda os perfis das temperaturas de duas câmaras, em que uma das conclusões retirada foi que câmaras de menores dimensões tem maiores variações de temperatura do que câmaras de maiores dimensões, este facto justifica-se pela inércia térmica da câmara, sendo que câmaras inferiores oferecem menor inércia térmica, o que para reduzir estas variações

deveriam ser utilizadas com menor frequência, ou com períodos reduzidos de abertura das suas portas.

Relativamente aos indicadores foi possível fazer o *benchmarking* entre as instalações, o que se verificou ser uma ferramenta de bastante utilidade. Para uma comparação mais exigente, sugere-se que seja feita entre empresas do mesmo setor e com processos internos mais semelhantes possíveis. No presente trabalho a comparação foi feita entre empresas do mesmo setor mas uma apresentava a atividade de matadouro enquanto outra apenas armazenamento e distribuição, o que se tornou num dos fatores das diferenças obtidas nos indicadores. Embora a instalação (A) apresente indicadores mais favoráveis, o que leva a concluir que seja mais eficiente, esta conclusão não é tão evidente assim pois da inspeção visual e dos hábitos comportamentais da instalação (A) apresenta-se em piores condições.

Dos indicadores de consumo específico e da quantidade de produto foi possível concluir para a instalação (B) que, valores superiores de produto se traduzem num aumento de eficiência, ou seja o consumo específico de EE tende a diminuir.

Das medidas sugeridas destaca-se o melhoramento da gestão comportamental, em que é uma medida de custo nulo ou reduzido que poderá ter grande influência nos consumos pois a abertura e fecho de portas permite infiltrações de ar a temperaturas superiores que conduzem à necessidade de maior consumo de energia do sistema de refrigeração para manter a temperatura da câmara. Deveriam assim ser feitas formações ou sensibilizar os funcionários no sentido de gerir melhor as questões comportamentais. Outras de eventual interesse seriam a substituição e melhoramento dos isolamentos das tubagens.

Para finalizar, esta dissertação apresenta assim uma metodologia de auditorias orientada para os sistemas de refrigeração bem como a sua aplicação prática em dois casos de estudo, o que se tornou numa ferramenta essencial para a obtenção de resultados legítimos.

5.2 PERSPETIVAS FUTURAS

Na sequência do trabalho desenvolvido sugere-se a continuação deste tipo de auditorias de forma a obter mais dados para poder fazer comparações e também para que sejam adquiridos mais conhecimentos acerca dos sistemas de refrigeração. De referir que para futuros trabalhos, sejam feitas comparações entre instalações do mesmo setor mas com

processos internos muito idênticos, é assim importante obter informação mais detalhada dos processos antes de se iniciarem as fases das auditorias.

Relativamente à metodologia, sugere-se que seja feito um aprofundamento nomeadamente na área da engenharia mecânica, por exemplo, recorrendo ao uso de medidores de pressão e temperatura para eventuais estudos.

Das instalações um possível estudo a fazer seria avaliar a viabilidade de instalar um sistema central de frio na instalação (A), e fazer as devidas comparação entre um sistema centralizado e um não centralizado. Um estudo científico e de laboratório de interessante seria quantificar a influência do estado do isolamento das tubagens, pois pela inspeção visual não nos foi permitido conhecer em detalhe até que ponto poderiam ser feitas poupanças de energia. Como as instalações não apresentavam cuidados com a manutenção, um tema a explorar seria definir planos de manutenção para os sistemas de refrigeração.

Para a empresa SKK[®], onde se desenvolveu esta dissertação, fica uma metodologia de auditorias aos sistemas de refrigeração, bem como um completo documento da aplicação prática que servirá de base para futuros trabalhos.

5.3 NOTA DO AUTOR

Em suma foi um trabalho enriquecedor na medida que permitiu o relacionamento com outras pessoas nomeadamente, engenheiros, colegas, colaboradores das instalações e seus responsáveis, o que permitiu a troca de conhecimentos e de experiências. Foram essenciais os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico no ISEP, desde disciplinas de instalações elétricas até às relacionadas com eletrónica de potência e máquinas elétricas. No âmbito da engenharia foram adquiridos conhecimentos de outras áreas como a da engenharia mecânica, em que neste trabalho é feita uma ponte entre ambas. Outras lições aprendidas foram que é fulcral a capacidade de improviso e desenrasque pois no momento das auditorias por mais planeado esteja, aconteceram sempre barreiras a algumas ações necessárias.

BIBLIOGRAFIA

- (Abdelaziz, 2011) Abdelaziz, E. A., R. Saidur, and S. Mekhilef. 2011. "A review on energy saving strategies in industrial sector." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 15 (1):150-168.
- (Alexander, 2009) Alexander, B. Lekov, Thompson Lisa, T. McKane Aimee, Alexandra Rockoff, and Piette Mary Ann. 2009. Opportunities for Energy Efficiency and Automated Demand Response in Industrial Refrigerated Warehouses in California
- (Ali, 2010) Ali, Hasanbeigi, and K. Price Lynn. 2010. Industrial Energy Audit Guidebook: Guidelines for Conducting an Energy Audit in Industrial Facilities. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- (Aranda, 2012) Aranda-Usón, Alfonso, Germán Ferreira, M. D. Mainar-Toledo, Sabina Scarpellini, and Eva Llera Sastresa. 2012. "Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors." *Energy* no. 42 (1):477-485.
- (ASHRAE, 2015) ASHRAE. 2015. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Disponivel em: <https://www.ashrae.org/>
- (Commission, 2005) Commission, European. 2005. Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries.
- (Commission, 2008) Commission, California Energy. 2008. Energy Benchmarking of Warehouses for Frozen Foods edited by Department of Biological and Agricultural Engineering University of California. California.

- (Decreto-Lei, 2008) Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril do Ministério da Economia e da Inovação.
- (Dinçer, 2010) Dinçer, I., and M. Kanoglu. 2010. *Refrigeration Systems and Applications*. Edited by Wiley. 2 ed.
- (Diretiva, 2012) Diretiva 2012/27/UE Do Parlamento Europeu e do Conselho.
- (Eurostat, 2015) Eurostat. *Electricity prices by type of use* 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00117&language=en>
- (Evans, 2014) Evans, J. A., E. C. Hammond, A. J. Gigiel, A. M. Foster, L. Reinholdt, K. Fikiin, and C. Zilio. 2014. "Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores." *Applied Thermal Engineering* no. 62 (2):697-705.
- (Hundy, 2008) Hundy, G. F. , A. R. Trott , and T.C. Welch. 2008. *Refrigeration and Air Conditioning* Edited by BH. 4 ed.
- (ISO, 2014) ISO. 2014. ISO 50002:2014 Energy audits -- Requirements with guidance for use.
- (James, 2010) James, S. J., and C. James. 2010. "The food cold-chain and climate change." *Food Research International* no. 43 (7):1944-1956
- (Mulobe, 2012) Mulobe, N. J., and Z. Huan. 2012. Energy efficient technologies and energy saving potential for cold rooms. Paper read at Industrial and Commercial Use of Energy Conference (ICUE), 2012 Proceedings of the 9th, 15-16 Aug. 2012.
- (Mulobe, 2014) Mulobe, N.J. Huan, Z. 2014. "Optimal Energy Saved Using Variable Air Ventilation for Cold Rooms." *IEEE*.
- (Spendolini, 1992) Spendolini, M. 1992. *The Benchmarking Book*: Amacom.

- (Stoecker, 2004) Stoecker, Wilbert F. 2004. *Industrial Refrigeration Handbook*: McGraw-Hill.
- (Thumann, 2013) Thumann, A. Niehus, T. Younger, W. J. 2013. *Handbook of Energy Audits*: Fairmont Press
- (Tipler, 2006) Tipler, P., and G. Mosca. 2006. *Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. I Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica*. LTC
- (Trust, 2011) Trust, Carbon. 2011. Refrigeration Systems - Guide to key energy saving opportunities.
- (Zanotti, 2014) Zanotti. *Zanotti Uniblock 2014*. Disponível em: http://issuu.com/zanottispa/docs/zanotti_uniblock2014/1.

ANEXOS

ANEXO A: GUIA TÉCNICO

Este primeiro anexo apresenta um conjunto de informações necessárias a preencher e recolher no mo campo das auditorias aos sistemas de refrigeração. É constituído por sete quadros cada um correspondente a u do respetivo quadro.

Informações Gerais	
Instalação: _____	Descrição
Atividade da empresa	
Sector de atividade	
Capital social	
Ano de início de atividade	
Fontes de energia	
Número de câmaras	
Consumo de energia elétrica ao longo de um ano (Faturas de Energia Elétrica)	
Quantidade de produto ao longo de um ano (Idealmente quantidade por mês, toneladas)	
Potência instalada	
Zonas de frio (refrigeração/congelação/tratamento)	
Foram feitas renovações? Quando e quais?	
Tipo de Sistema de Refrigeração? (Central de frio, unidades individuais...)	

Dados Técnicos dos Equipamentos do Sistema de Refrigeração		
Câmara N° _____	Descrição	Mo
Ano de construção da câmara		
Ciclo termodinâmico		
Fluido refrigerante		
Câmara frigorífica		
Compressor		
Evaporador		
Condensador		
Iluminação		
Moto-ventilador		
Sistema de expansão		
Sistema de controlo e monitorização de temperaturas		

Dados das câmaras de Refrigeração		
Câmara N°: _____	Descrição	
Dimensões (volume) da câmara		
Tamanho das portas		
Temperaturas interiores		
Isolamento das portas		
Isolamento térmico das câmaras de refrigeração (espessura e material)		
Isolamento térmico das câmaras de congelação (espessura e material)		
Acesso às câmaras por dia		
Duração média do acesso		
Utilização das câmaras (todo o ano ou não, nº horas por dia)		
Acesso às câmaras é feito (máquinas/pessoas)		
Isolamento secundário (lamelas, cortinas de ar)		
Temperatura que os produtos entram nas câmaras		
Portas de cais quantidade e dimensões		

Manutenção e Instalação			
	Sim	Não	
Existe plano de manutenção?			
Tem técnicos especializados?			
Número de operadores nas várias unidades de produção			
Ultima manutenção (data)			

Inspeção visual aos componentes				
Câmara n° _____	Muito mau	Mau	Bom	Muito bo
Ferrugem na câmara				
Ferrugem porta				
Fecho da porta				
Borrachas de vedação da porta				
Gelo no evaporador				
Sujidade no compressor/ condensador				
Estado do isolamento térmico camaras				
Estado do isolamento térmico portas				
Estado do isolamento térmico circuito de frio				
Distribuição dos produtos na camara				

Vazamento de óleo				
Visor de líquido				

Tarifário e Consumos	
	Descrição
Fornecedor de Energia	
Tarifário	
Potência Contratada	
Consumos mensais	
Histórico	
Potência do PT	
É feita a correção do fator de Potência?	
Capacidade das Baterias de Condensadores	
Distribuição dos Quadros	

Equipamentos a Monitorizar	
Compressor	
Evaporador	
Condensador	
Outros	
Todos	

ANEXO B: EQUIPAMENTO UTILIZADO

Neste anexo apresentam-se as características do material utilizado nas auditorias realizadas. O material utilizado foi um medidor de energia com função de memória e uma câmara termográfica.




B.1 - APARELHO DE MEDIÇÃO E REGISTO DE ENERGIA: *EFERGY E2*

B.1.1 - *Datasheet*:

O *datasheet* do aparelho *Efergy E2* é o seguinte:

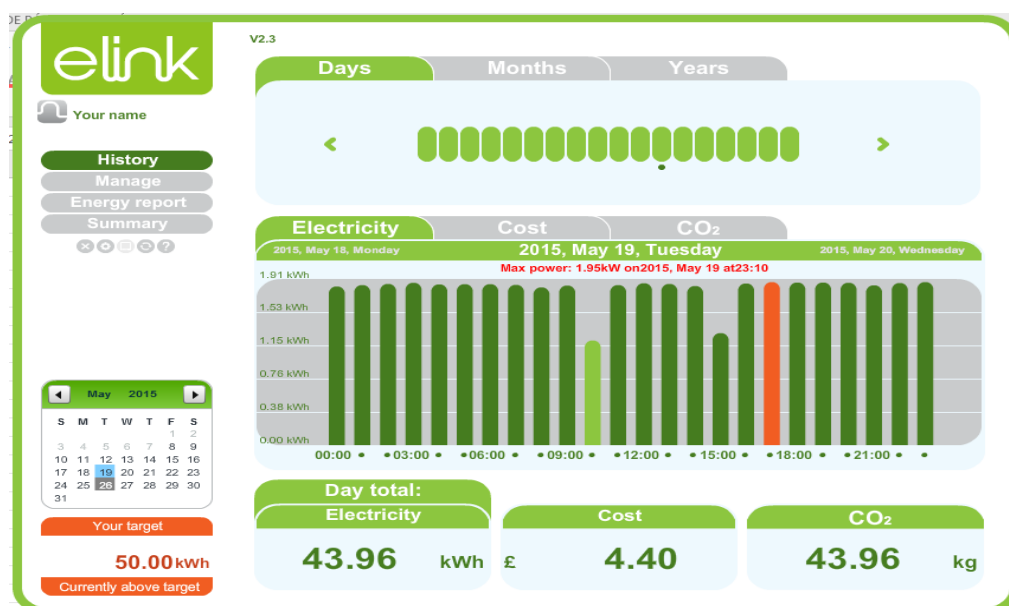
TECHNICAL INFORMATION	
Model Name	e2 classic
Model Number	E2-UK
Frequency	433.5MHz
Transmission Time	6, 12 or 18 Sec
Transmission Range	40 - 70m
Sensor Voltage Range	110 - 600V
Measuring Current	50mA - 90A
Accuracy	> 90%

The backlight will be activated from 18:00 to 6:00 hours

CE RoHS   N16354 

B.1.2 - *Software* de recolha de dados:

Figura ilustrativa do *software* do monitorizador de energia:



B.2 - CÂMARA TERMOGRÁFICA: FLIR E60

A câmara termográfica utilizada no presente trabalho foi o modelo *E60* da marca *FLIR*

B.2.1 - Datasheet

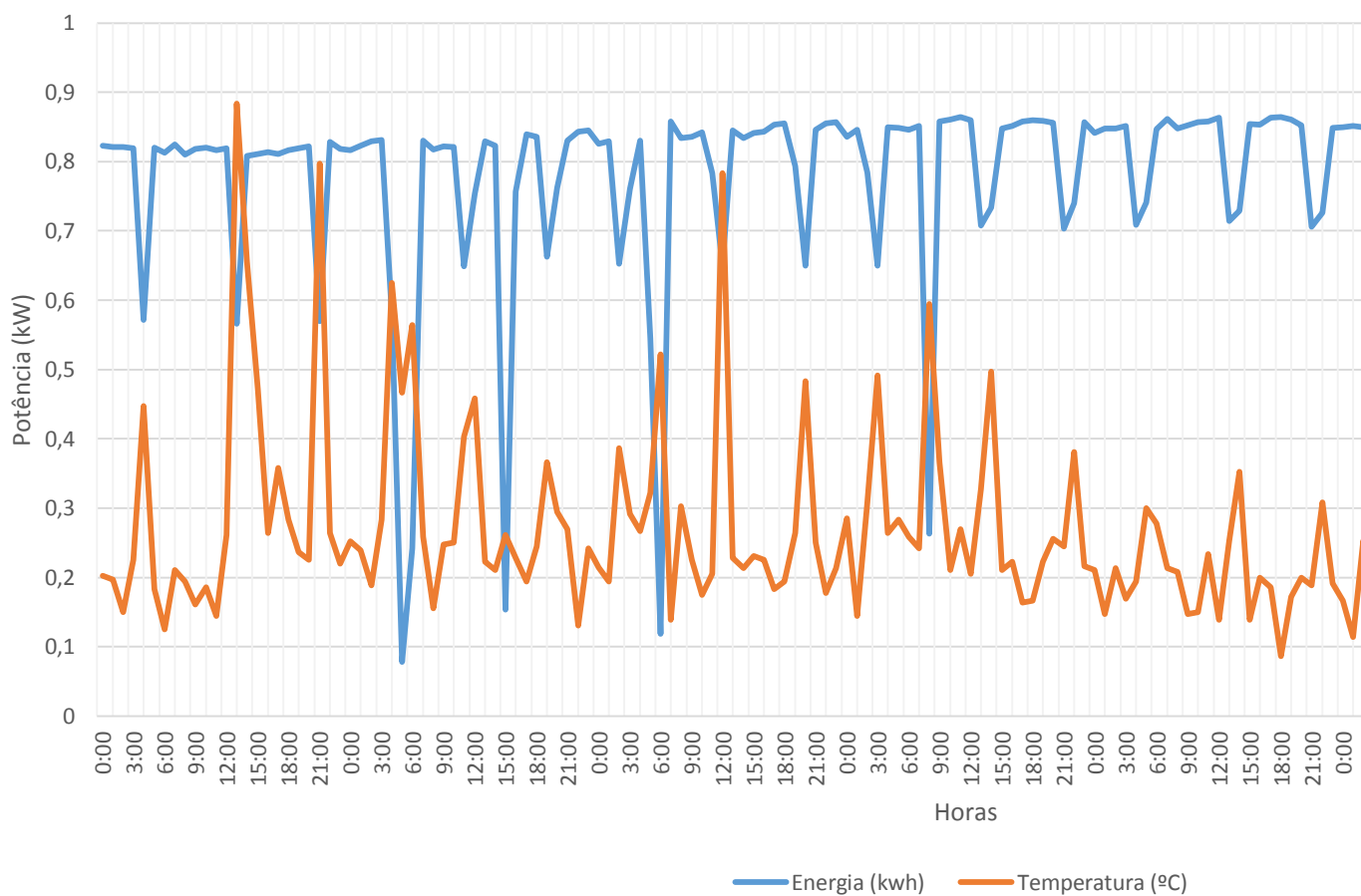
O *datasheet* com as características da câmara apresenta-se na seguinte tabela:

FEATURES	FLIR E40	FLIR E50	FLIR E60
Temperature range	-4 to 1202°F (-20 to 650°C)	-4 to 1202°F (-20 to 650°C)	-4 to 1202°F (-20 to 650°C)
Thermal sensitivity (N.E.T.D)	<0.07°C at 30°C	<0.05°C at 30°C	<0.05°C at 30°C
Detector Type - Focal plane array; (FPA) uncooled microbolometer	160 x 120 pixels	240 x 180 pixels	320 x 240 pixels
MSX® Thermal Image Enhancement	Yes	Yes	Yes
Picture-in-Picture (P-i-P)	Fixed P-i-P	Scalable P-i-P	Scalable P-i-P
MPEG 4 Video Recording	Yes	Yes	Yes
Video Camera w/Lamp & Laser	3.1MP/LED Lamp/Laser pointer	3.1MP/LED Lamp/Laser pointer	3.1MP/LED Lamp/Laser pointer
Digital Zoom	2X Continuous	4X Continuous	4X Continuous
Image annotation	Voice (60s)/Text Comments	Voice (60s)/Text Comments	Voice (60s)/Text Comments
Moveable Spot	3 Spotmeters	3 Spotmeters	3 Spotmeters
Area Box	3 Area Boxes (full image with min/max/avg)	3 Area Boxes (full image with min/max/avg)	3 Area Boxes (full image with min/max/avg)
Delta T	Yes	Yes	Yes
Data Communication Interface	USB-mini, USB-A, Composite Video, Bluetooth, Wi-Fi	USB-mini, USB-A, Composite Video, Bluetooth, Wi-Fi	USB-mini, USB-A, Composite Video, Bluetooth, Wi-Fi
COMMON FEATURES			
Frame Rate	60Hz		
Field of view / Focus	25° x 19° / Manual (Minimum focus distance 1.3ft/0.4m)		
Spectral range	7.5 to 13µm		
Display	Built-in 3.5" color LCD		
Image modes	Thermal, visual, MSX, and image gallery		
Image Storage	>1000 radiometric JPEG images (SD card memory)		
Laser Classification/Type	Class 2/Semiconductor AlGaInP Diode Laser: 1mW/635nm (red)		
Set-up controls	Mode selector, color palettes, configure image info, units, language, date and time formats, and image gallery		
Measurement modes	Auto hot/cold spot, Isotherm (above/below/interval)		
Measurement Correction	Reflected ambient temperature & emissivity correction		
Battery Type/Operating Time	Li-Ion/ >4 hours, Display shows battery status		
Charging system	In camera AC adapter/2 bay charging system		
Shock/Vibration/Drop / Encapsulation; Safety	25G, IEC 60068-2-29/ 2G, IEC 60068-2-6/ Drop-proof 2m (6.6ft) IP54; EN/UL/CSA/PSE 60950-1		
Dimensions/Weight	9.7x3.8x7.2" (246x97x184mm)/<1.82lbs (825g), including battery		

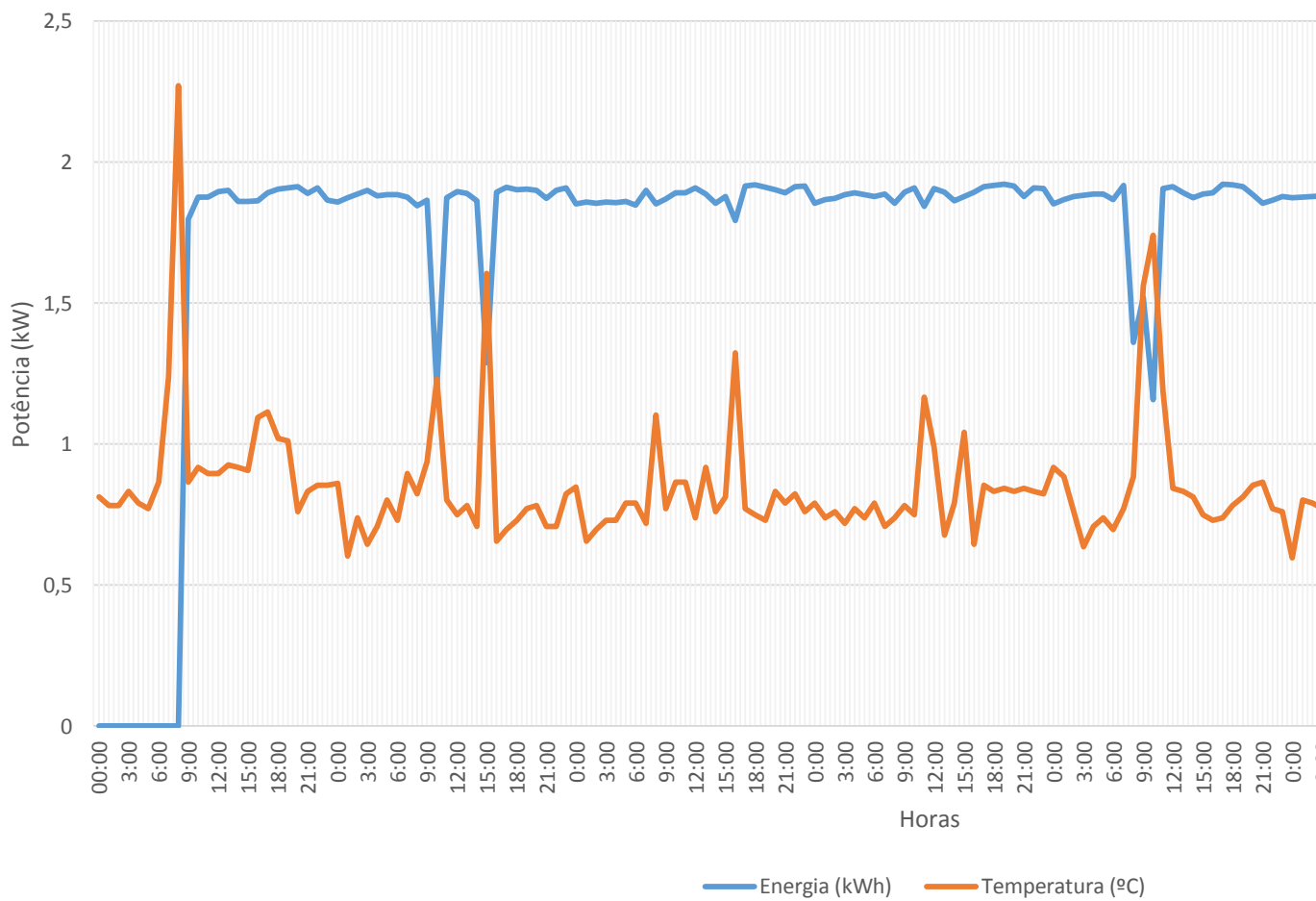
ANEXO C: PERFIS DE CONSUMOS E TEMPERATURAS

Neste anexo são ilustrados num mesmo gráfico os perfis de consumo e temperatura das câmaras 2 refrigeração é ilustrado o perfil de consumo.

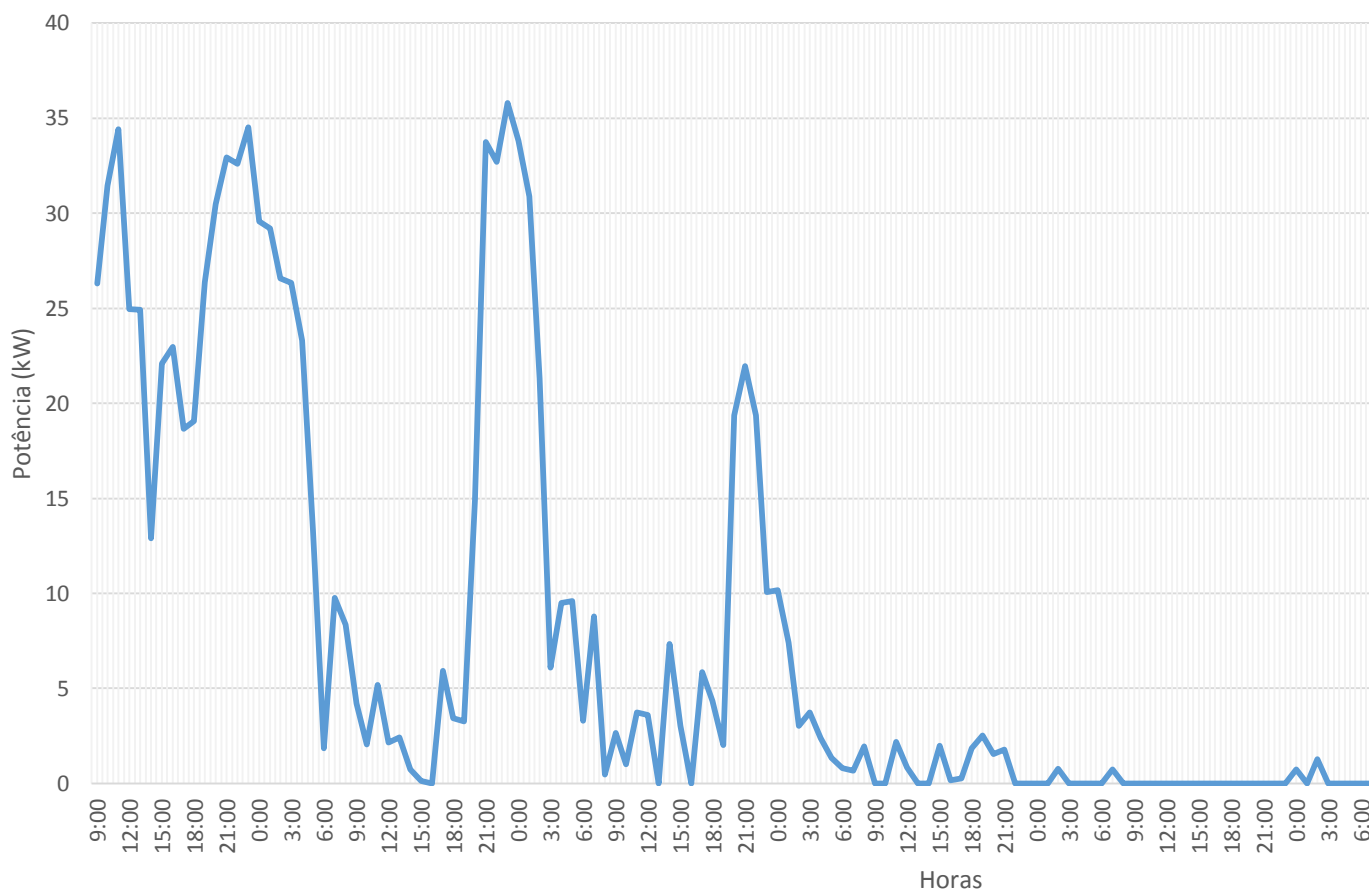
C.1 - PERFIL DE CONSUMO E TEMPERATURA DA CÂMARA 2



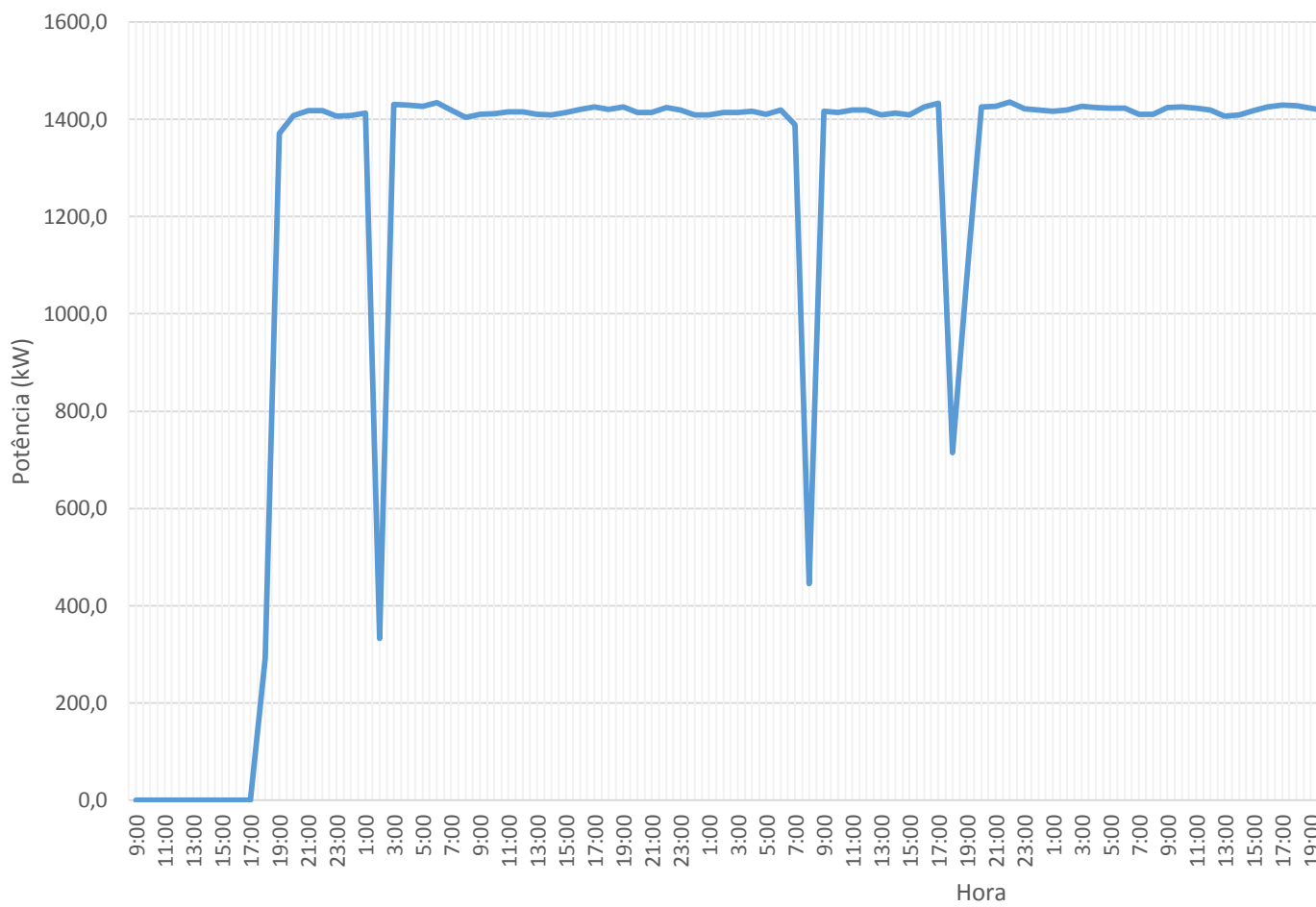
C.2 - PERFIL DE CONSUMO E TEMPERATURA DA CÂMARA 14



C.3 - PERFIL DE CONSUMO DO COMPRESSOR



C.3 - PERFIL DE CONSUMO DA TORRE DE REFRIGERAÇÃO



ANEXO D: HORÁRIO DO TARIFÁRIO

Este anexo contém os horários para cada período horário, ponta, cheias, vazio normal e super vazio.

D.1 - CICLO DIÁRIO PARA BTE E BTN

Utilizado na instalação de BTE (A).

Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h 18.00/20.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h 10.30/18.00 h 20.30/22.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h 13.00/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h	Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

D2 - CICLO SEMANAL

Utilizado na instalação de MT (B)

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h