



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Avaliação do desempenho dos sistemas de refrigeração
nas indústrias agroalimentares da Beira Interior**

José Nunes

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Mecânica
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Nuno Dinho da Silva
Co-orientador: Prof. Doutor Luís Pedro Pinto de Andrade

Covilhã, Outubro de 2013

Dedicatória

Com eternas saudades,
dedico este trabalho ao meu filho José.

Agradecimentos

Ao concluir este trabalho, olhando para trás, vejo que nem tudo foi fácil, atendendo à quantidade de contactos e pessoas com quem tive de falar, e por isso eventualmente foi como tinha de ser. A transposição das barreiras que se foram desvanecendo com o passar do tempo, foi em muito facilitada por ter contado com o apoio daqueles, a quem agora me cabe agradecer.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Pedro Nuno Dinho Pinto da Silva e Professor Doutor Luís Pedro Pinto de Andrade, pela confiança, ensinamentos e motivação transmitida.

Às Professoras Doutoras Cristina Gavinhos e Maria Cristina Canavarro pelas sugestões e apoio prestado no tratamento estatístico dos resultados práticos obtidos nos estabelecimentos agroalimentares.

Ao meu colega de Gabinete na ESACB, Professor Doutor António Canatário Duarte e ao meu Amigo da UBI, Professor Doutor Rui Boucho, pela amizade, motivação e ajuda, prestada ao longo do tempo, principalmente nos momentos mais difíceis da minha vida.

Ao Senhor José Raposo Nunes, técnico de Informática, pela amizade, pelos conhecimentos transmitidos e pelo exemplo de dedicação e profissionalismo que manifestou durante a elaboração da base de dados em Access, ferramenta fundamental para a realização do presente trabalho.

À Senhora Engenheira Natália Martins Roque pela sua amabilidade e colaboração prestada no tratamento da informação na plataforma GPS, com software arcPad6.

À Senhora Engenheira Maria João Águas, Chefe de Divisão da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro e aos Técnicos da mesma divisão, pela disponibilidade de informação de projectos de licenciamento dos estabelecimentos agroalimentares.

À Senhora Engenheira Catarina Domingues pela sua amizade, motivação e ajuda na realização da fase experimental do presente trabalho.

À minha esposa Dina, a minha filha Verónica e ao meu saudoso filho José, um beijinho muito grande por todo o apoio e pela partilha dos sacrifícios que passámos juntos nesta fase da nossa vida.

Resumo

As indústrias agroalimentares são um dos principais sectores das indústrias transformadoras da União Europeia, sendo mesmo o sector mais importante em Portugal.

A refrigeração é imprescindível nos processos de fabrico das várias fileiras das indústrias agroalimentares e na conservação dos géneros alimentícios. Os sistemas de refrigeração são os principais equipamentos dos estabelecimentos das fileiras da carne, lacticínios e hortofrutícolas, sendo responsáveis pela maior fatia do consumo energético das indústrias agroalimentares, em particular, na forma de energia eléctrica.

Para a caracterização dos estabelecimentos industriais, seleccionamos 33 na fileira da carne, 31 na fileira dos lacticínios e 23 na fileira dos hortofrutícolas na região centro de Portugal. Foram recolhidos dados das infraestruturas, dos sistemas produtivos e dos sistemas de refrigeração e determinaram-se múltiplos indicadores específicos e valores médios de consumo de energia para cada fileira. Procedemos a uma análise comparativa entre os valores médios calculados e os resultados obtidos para cada estabelecimento, possibilitando-nos concluir que existe um apreciável potencial de poupança de energia eléctrica. Realizou-se, também, uma análise semelhante, com valores de *benchmarking*, disponibilizados na literatura especializada, que confirmou esse potencial de poupança.

A fileira da carne reúne as categorias de matadouros, salsicharias e estabelecimentos de fabrico de presunto. Para cada uma delas avaliou-se a percentagem do consumo de energia eléctrica e de combustíveis, tendo-se chegado aos seguintes valores; 66,4% e 33,6%, para os matadouros; 84,8% e 15,2%, para as salsicharias; e 92% e 8%, para o fabrico de presunto. O consumo médio anual de energia eléctrica registado é de 491,1 MWh, 127,1 MWh e 1034 MWh, respectivamente. Determinou-se ainda o valor médio do indicador específico de energia eléctrica (IEEE), para cada categoria, obtendo-se 148,5 kWh/ton_{MP}, 660,17 kWh/ton_{MP} e 1208 kWh/to_{MP}, respectivamente. As poupanças de energia obtidas para cada uma destas categorias, em relação ao indicador específico de energia médio é de 17%, 24% e 16,7%, respectivamente, e em relação ao valor de *benchmarking*, os resultados ainda são superiores. A fileira dos lacticínios foi repartida em estabelecimentos de fabrico industrial e de fabrico artesanal e a percentagem dos consumos de energia eléctrica e de combustíveis para cada categoria foi de 62% e 38% e de 63,5% e 36,5%, respectivamente. O consumo médio anual de energia eléctrica obtido para estas duas categorias de estabelecimentos é de 615,3 MWh e 75,6 MWh, respectivamente. Os indicadores específicos de energia eléctrica médios (IEEE) obtidos para as mesmas, são de 0,283 kWh/l_{MP} e 0,169 kWh/l_{MP} e as poupanças de energia eléctrica são de 19,4% e 29,7, respectivamente.

A fileira das hortofrutícolas abrange os estabelecimentos de revenda de produtos e de centrais de fruta e o consumo médio anual de energia eléctrica de cada uma é de 53,1 MWh e 68,6 MWh. O indicador específico de energia eléctrica médios (IEEE) e a poupança de energia alcançada para cada categoria são de 82,5 kWh/ton_{MP} e 60,8 kWh/ton_{MP}, e 18,9% e 17,2 %, respectivamente.

Os resultados dos diferentes estabelecimentos, permitiram-nos determinar múltiplas equações lineares, e construir um modelo que avalia o seu desempenho real, incluindo o comportamento dos seus sistemas de refrigeração. Após a aplicação do modelo a quatro casos de estudo conclui-se que existe uma boa aproximação entre os resultados reais dos estabelecimentos e os resultados indicados pelo modelo, podendo assim considerar o mesmo como uma boa ferramenta para estudar o comportamento geral dos estabelecimentos alimentares destas três fileiras.

Palavras-chave

Indústrias agroalimentares; Sistemas de refrigeração; Eficiência energética; Indicador específico de energia eléctrica; Modelação.

Abstract

The agricultural-food industries are one of the main sectors of the manufacturing industries of the European Union, being even the most important sector in Portugal.

Cooling is essential in the manufacturing processes of several food industries and in the preservation of food. The cooling systems are the main equipments of meat, dairy, fruit and vegetables establishments, being responsible for the largest share of energy consumption of the food industry, in particular in the form of electricity.

For the characterization of the industrial establishments, we selected 33 from the meat sector, 31 from the dairy sector and 23 from the fruit and vegetable sector in the central region of Portugal. Data were collected from the infrastructures, production systems, and cooling systems, and multiple indicators were determined as well as the average specific energy consumption for each row. We carried out a comparative analysis between the mean values calculated and the results obtained for each facility, allowing us to conclude that there is a considerable potential in electricity savings. A similar analysis was also held, but with benchmarking values, available in specialized literature, which confirmed that saving potential.

The meat sector gathers the categories of slaughterhouses, charcuteries and the ham production establishments. For each one, we evaluated the percentage of electricity and fuel consumption, having reached the following values; 66.4% and 33.6% for slaughterhouses, 84.8% and 15.2% for charcuteries; and 92% and 8% for the production of ham. The annual recorded average consumption of electrical energy is of 491.1 MWh, 127.1 MWh and 1034 MWh, respectively. The average value of the specific electricity indicator (IEEE) for each category was also determinate, obtaining 148.5 kWh / ton_{MP}, 660.17 kWh / ton_{MP} and 1208 kWh / ton_{MP}, respectively. The savings achieved for each of these categories, in relation to the specific indicator of average power is of 17%, 24% and 16.7%, respectively, and relative to the value of benchmarking, the results are even superior.

The dairy sector was divided into handmade and industrial cheese production establishments and the percentage of electricity consumption and fuel for each category was of 62% and 38% and 63.5% and 36.5%, respectively. The obtained average annual consumption of electrical energy for these two categories of establishments is of 615,3 MWh and 75,8 MWh, respectively. Specific indicators of average power (IEEE) obtained for the same are of 0.283 kWh / L_{MP} and 0,0,169 kWh/L_{MP} and the electricity savings are 19,4% and 29,7%, respectively.

The horticultural sector covers the reselling products establishments and fruit centres and the average annual consumption of electrical power for each is of 53.1 MWh and of 68.6 MWh. The specific indicator of the average power (IEEE) and energy savings achieved for each category are of 82.5 kWh/ton_{MP} and 60.8 kWh/ton_{MP}, and 18.9% and 17.2%, respectively.

The results of the different establishments allowed us to determine multiple linear equations and to build a model that evaluates the actual performance, including the performance of their cooling systems. After applying the model to four study cases it was concluded that

there is a good approximation between the real results of the establishments and the results indicated by the model and can therefore be considered as a good tool to study the general behaviour of these three food establishments sectors.

Keywords

Agricultural-food industries; Cooling systems; Energy efficiency; Specific electricity indicator; modelling.

Índice

Resumo	vii
Abstract	ix
Índice	xi
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas.....	xxiii
Nomenclatura	xxiv
Lista de Acrónimos	xxvii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Perspectiva geral	1
1.2. O problema em estudo e a sua relevância	10
1.3. Revisão bibliográfica	12
1.3.1. Trabalhos relacionados com os consumos de energia na indústria alimentar	13
1.3.2. Trabalhos relacionados com medidas de eficiência energética	17
1.3.3. Trabalhos relacionados com indicadores de consumo de energia	23
1.3.4. Trabalhos relacionados com os estabelecimentos de armazenamento de produtos	29
1.4. Objectivos e contribuição da presente tese	35
1.5. Visão Geral da Organização da tese	36
CAPITULO 2 - A REFRIGERAÇÃO NOS ESTABELECIMENTOS AGROALIMENTARES	39
2.1. Aplicação das baixas temperaturas na fileira da carne, lacticínios e hortofrutícolas	39
2.1.1. Refrigeração nos estabelecimentos da carne	42
2.1.2. Refrigeração nos estabelecimentos de lacticínios	45
2.1.3. Refrigeração nos estabelecimentos de hortofrutícolas	47
2.2. Sistemas de refrigeração	50
2.2.1. Características termodinâmicas dos ciclos de refrigeração	50
2.2.2. Elementos principais dos sistemas de refrigeração	58
2.2.3. Sistemas com mais estágios de compressão	70
2.2.4. Classificação dos sistemas de refrigeração usados nos estabelecimentos agroalimentares	72
2.3. Nota conclusiva	94
CAPITULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS	95
3.1. Estabelecimentos em estudo	95
3.2. Inquérito de recolha de dados	97
3.3. Base de dados	98
3.4. Equações do balanço	99
3.5. Avaliação dos consumos de energia	105
3.6. Avaliação da potência nominal dos compressores de refrigeração	106
3.7. Determinação do diagrama de carga e perfil de consumo de energia.....	112
3.8. Determinação da temperatura	112
3.9. Determinação da humidade relativa	113

3.10.	Determinação das dimensões das câmaras de refrigeração.....	113
3.11.	Inspecção da qualidade geral das câmaras de refrigeração	113
3.12.	Indicadores específicos	114
3.13.	Tratamento de dados das amostras para obtenção das correlações.....	118
3.14.	Nota conclusiva	118
CAPITULO 4 - CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FILEIRAS DA CARNE, LACTICÍNIOS E HORTOFRUTÍCOLAS		121
4.1.	Fileira da carne	121
4.1.1.	Classificação dos estabelecimentos	121
4.1.2.	Infra-estruturas.....	122
4.1.3.	Actividade e processos produtivos.....	128
4.1.4.	Condições ambientais das câmaras de refrigeração.....	139
4.1.5.	Características dos sistemas de refrigeração	141
4.1.6.	Consumos de energia	148
4.1.7.	Indicadores energéticos e físicos	156
4.2.	Fileira dos lacticínios.....	165
4.2.1.	Classificação dos estabelecimentos	165
4.2.2.	Infraestruturas.....	165
4.2.3.	Actividade e processos produtivos.....	170
4.2.4.	Condições ambientais das câmaras de refrigeração.....	175
4.2.5.	Características dos sistemas de refrigeração	176
4.2.6.	Consumos de energia	180
4.2.7.	Indicadores físicos e energéticos	184
4.3.	Fileira das hortofrutícolas	189
4.3.1.	Classificação dos estabelecimentos	189
4.3.2.	Infra-estruturas.....	189
4.3.3.	Actividade e processos produtivos.....	193
4.3.4.	Condições ambientais das câmaras de refrigeração.....	198
4.3.5.	Características dos sistemas de refrigeração	199
4.3.6.	Consumos de energia	204
4.3.7.	Indicadores energéticos e físicos	207
4.4.	Nota conclusiva	225
CAPITULO 5 - MODELAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DA FILEIRA DA CARNE, LACTICÍNIOS E HORTOFRUTÍCOLAS		227
5.1.	Introdução	227
5.2.	Fileira da carne	227
5.2.1.	Modelo para os sistemas de refrigeração dos matadouros	227
5.2.2.	Modelo para os sistemas de refrigeração das salsicharias.....	231
5.2.3.	Modelo para os sistemas de refrigeração dos estabelecimentos de fabrico de presunto	235
5.3.	Fileira dos lacticínios.....	239
5.3.1.	Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de fabrico industrial	239

5.3.2.	Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de fabrico artesanal	244
5.4.	Fileira das hortofrutícolas	248
5.4.1.	Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de revenda de produtos hortofrutícolas ..	248
5.4.2.	Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de centrais de fruta.....	252
5.5.	Estudo de casos	256
5.5.1.	Estudo de caso: Estabelecimento da fileira dos lacticínios de fabrico artesanal	256
5.5.2.	Estudo de caso: Estabelecimento da fileira dos lacticínios de fabrico industrial de queijo	260
5.5.3.	Estudo de caso: Estabelecimento da fileira da carne da categoria de salsicharia	264
5.5.4.	Estudo de caso: Estabelecimento de fabrico de presuntos.....	266
5.6.	Nota conclusiva	270
CAPITULO 6 - CONCLUSÕES.....		271
6.1.	Recapitulação	271
6.1.1.	Fileira da carne	272
6.1.2.	Fileira dos lacticínios	275
6.1.3.	Fileira das hortofrutícolas	277
6.1.4.	Principais factores que influenciam a eficiência energética.....	280
6.1.5.	Modelo matemático.....	282
6.2.	Sugestões para trabalhos futuros	283
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		287
ANEXO A - INQUÉRITO USADO NA RECOLHA DA INFORMAÇÃO NOS ESTABELECIMENTOS		306
ANEXO B - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS DA FILEIRA DA CARNE		317
ANEXO C - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE UM MATADOURO		318
ANEXO D - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE SALSICHARIA		318
ANEXO E - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE FABRICO DE PRESUNTO.....		320
ANEXO F - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS DA FILEIRA DOS LACTICÍNIOS		321
ANEXO G - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE LACTICÍNIOS DE FABRICO DE QUEIJO ARTESANAL		322
ANEXO H - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE LACTICÍNIOS DE FABRICO DE QUEIJO INDUSTRIAL		322
ANEXO I - CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DOS ESTABELECIMENTOS DE HORTOFRUTÍCOLAS		324
ANEXO J - IMAGENS DE DOIS ESTABELECIMENTOS DE REVENDA DE PRODUTOS DE HORTOFRUTÍCOLAS ..		325
ANEXO L - IMAGENS DE DOIS ESTABELECIMENTOS DE CENTRAIS DE FRUTAS		326

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Resultados do volume de negócios (VN) e volume acrescentado bruto (VAB) das indústrias transformadoras do ano de 2010. Fonte:(INE, 2011b).	3
Figura 1.2 - Variação da produção das indústrias transformadoras e do PIB.	3
Figura 1.3 - Pessoal ao serviço das indústrias transformadoras (milhares de postos de trabalho activos, em 2009)	4
Figura 1.4 - Valor de vendas das indústrias Alimentares.	5
Figura 1.5 - Distribuição dos consumos totais de energia eléctrica das centrais de fruta da região da Catalunha	17
Figura 1.6 - Deficiências encontradas nos estabelecimentos de conservação de alimentos (lado esquerdo) e potencial de poupança de cada deficiência (lado direito)	34
Figura 2.1 - Representação do Ciclo inverso da máquina de Carnot e das transformações que o constituem, no Diagrama P-h (Mollier).	52
Figura 2.2 - Esquema básico do sistema de refrigeração e diagrama P-h (Mollier) do Ciclo Teórico de compressão de vapor-	53
Figura 2.3 - Diagrama P-h do Ciclo Teórico de compressão de vapor com sub-arrefecimento e com sobreaquecimento.	55
Figura 2.4 - Influência da variação da temperatura de evaporação sobre a capacidade de refrigeração e potência requerida por um compressor (temperatura de condensação constante.	57
Figura 2.5 - Influência do aumento da temperatura de condensação sobre a capacidade de refrigeração e a potência requerida pelo compressor	57
Figura 2.6 - Gama de capacidades de refrigeração dos compressores usados na refrigeração em toneladas de refrigeração.	61
Figura 2.7 - Esquema de um condensador arrefecido a ar	62
Figura 2.8 - Condensador de corpo cilíndrico e feixe tubular arrefecido a água..	63
Figura 2.9 - Esquema do condensador evaporativo	64
Figura 2.10 - Esquema da serpentina de um evaporador de arrefecimento de ar	65
Figura 2.11 - Esquema com indicação da legislação dos fluidos frigorigéneos em vigor.	68
Figura 2.12 - Esquema de um sistema individual de produção de frio por compressão de vapor com expansão directa.	74
Figura 2.13 - Esquema do circuito frigorífico da unidade de condensação.	75
Figura 2.14 - Unidade de condensação fixa na parede da envolvente de uma indústria de lacticínios.	75
Figura 2.15 - Unidade de condensação do tipo comercial (à esquerda) e industrial (direita) utilizadas na indústria alimentar.	76
Figura 2.16 - Esquema de uma central de frio de circuito directo.	78
Figura 2.17 - Sistema compacto comercial de tecto: a) aspecto geral; b) esquema de instalação	81
Figura 2.18 - Sistema compacto industrial de parede: a) aspecto geral; esquema de instalação	81
Figura 2.19 - Sistema semi-compacto comercial com bloco condensador vertical: a) aspecto geral; b) esquema de instalação.	82
Figura 2.20 - Sistema semi-compacto industrial: a) aspecto geral; b) esquema de instalação.	82

Figura 2.21 - Esquema típico de um secador com bomba de calor	84
Figura 2.22 - Esquema do funcionamento de um secador mediante a técnica da intermitência térmica.	85
Figura 2.23 - Esquema da unidade de tratamento de ar.	86
Figura 2.24 - Esquema das condutas de insuflação de retorno do ar na unidade de tratamento do ar....	87
Figura 2.25 - Esquema do circuito frigorífico da unidade de tratamento de ar.....	88
Figura 2.26 - Esquema típico do sistema frigorífico de tratamento de ar semi-compacta.	90
Figura 2.27 - Central de frio indirecto e respectivos componentes	91
Figura 2.28 - Esquema de uma instalação de refrigeração com acumulação de água	92
Figura 2.29 - Esquema de uma instalação de refrigeração com um evaporador do tipo serpentina ou bateria de tubos lisos submersa no fluido secundário contido no interior de um tanque. .	93
Figura 3.1 - Valor percentual do número de estabelecimentos alimentares nas diferentes regiões	95
Figura 3.2 - Localização das Agro-indústrias em estudo.....	96
Figura 3.3 - Página principal da base de dados criada em Office Access 2007.	99
Figura 3.4 - Limites da fronteira do estabelecimento do tipo global.....	100
Figura 3.5 - Limites da fronteira do estabelecimento do tipo isolado	101
Figura 3.6 - Esquema do modelo da fronteira usada para a avaliação da variação de massa e energia. .	101
Figura 3.7 - Características de funcionamento de um compressor de marca Bitzer modelo, 2CC-4.2.Y obtidas através do software do fabricante.	108
Figura 3.8 - Central de frio de circuito directo do estabelecimento F16.	109
Figura 3.9 - Resultados do software da marca BITZER, para o compressor 4N.2 do estabelecimento F1109	
Figura 3.10 - Medição da tensão eléctrica do motor eléctrico que acciona o compressor.	110
Figura 3.11 - Medição da corrente eléctrica do motor eléctrico que aciona o compressor.	110
Figura 3.12 - Valores estimados e medidos da potência eléctrica absorvida pelos compressores de refrigeração	111
Figura 4.1 - Distribuição percentual dos estabelecimentos da fileira da carne.	122
Figura 4.2 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos da fileira da carne.	124
Figura 4.3 - Tipo de materiais utilizados nas envolventes dos estabelecimentos da fileira da carne. ..	125
Figura 4.4 - Tipo de materiais usados nas coberturas dos estabelecimentos da fileira da carne.....	125
Figura 4.5 - Características da ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira da carne.	126
Figura 4.6 - Distribuição percentual da idade dos estabelecimentos da fileira da carne.....	127
Figura 4.7 - Tipo de materiais usados nas câmaras dos estabelecimentos da fileira da carne.	127
Figura 4.8 - Características das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira da carne. ...	128
Figura 4.9 - Actividade mensal dos matadouros.	129
Figura 4.10 - Diagrama esquemático do processo produtivo dos matadouros.	130
Figura 4.11 - Actividade mensal dos estabelecimentos das salsicharias.	134
Figura 4.12 - Diagrama esquemático do processo produtivo das salsicharias.	135
Figura 4.13 - Actividade mensal dos estabelecimentos de fabrico de presunto.	137
Figura 4.14 - Esquema do processo produtivo do presunto.	138
Figura 4.15 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria dos matadouros: a) Humidade relativa, b) Temperatura.	140
Figura 4.16- Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria das salsicharias: a) Humidade relativa, b) Temperatura.	140
Figura 4.17- Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria dos estabelecimentos de fabrico de presunto: a) Humidade relativa, b) Temperatura. .	141

Figura 4.18 - Valores percentuais das operações de frio e de fumagem que são aplicados nos estabelecimentos.	142
Figura 4.19 - Sistemas de refrigeração usados nos estabelecimentos da fileira da carne.	144
Figura 4.20 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados na fileira da carne.	145
Figura 4.21 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados nas três categorias de estabelecimentos da fileira da carne.	146
Figura 4.22- Tempo de operação dos compressores usados na fileira da carne.....	146
Figura 4.23 - Tipos de fluidos usados na fileira da carne	147
Figura 4.24 - Tipo de condensadores usados na fileira da carne.	147
Figura 4.25 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis nos matadouros.	149
Figura 4.26 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis nos matadouros da categoria 1.	149
Figura 4.27 - Consumo anual de energia eléctrica e de combustíveis nas salsicharias.	152
Figura 4.16 - Consumo anual de energia eléctrica e de combustíveis dos estabelecimentos de fabrico de presunto.....	153
Figura 4.29 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis dos estabelecimentos da fileira da carne.	153
Figura 4.30 - Distribuição dos tipos de energia usados pelos estabelecimentos da fileira da carne.	154
Figura 4.32 - Consumo anual de energia eléctrica dos estabelecimentos das três categorias da fileira da carne.	155
Figura 4.33 - Relação entre o consumo de energia eléctrica, a potência eléctrica contratada e a potência dos compressores dos sistemas de refrigeração dos estabelecimentos da fileira da carne.	156
Figura 4.34 - Valores do consumo específico de energia eléctrica nos estabelecimentos de matadouros.	157
Figura 4.35 - Valores do consumo específico de energia eléctrica dos estabelecimentos das salsicharias.	159
Figura 4.36 - Valores do consumo específico de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico de presunto.....	161
Figura 4.37 - Matéria-prima por unidade de volume das câmaras de refrigeração em cada uma das categorias de estabelecimentos da fileira da carne.	163
Figura 4.38 - Potência nominal dos compressores por unidade de volume das câmaras dos estabelecimentos.	163
Figura 4.39 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos de lacticínios.....	166
Figura 4.40 - Tipo de materiais utilizados nas envolventes dos estabelecimentos da fileira de lacticínios.	167
Figura 4.41 - Materiais usados nas coberturas dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.	167
Figura 4.42 - Características de ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira de lacticínios. .	168
Figura 4.43 - Idade dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.	168
Figura 4.44 - Materiais utilizados nas câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.	169
Figura 4.45 - Características da localização das câmaras de refrigeração.	169
Figura 4.46 - Características das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.	170
Figura 4.47 - Distribuição percentual do nível tecnológico dos estabelecimentos de lacticínios.....	171

Figura 4.48 - Perfil da actividade anual dos estabelecimentos de lacticínios.	171
Figura 4.49 - Diagrama esquemático do processo produtivo do fabrico do queijo.	174
Figura 4.50 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da fileira de lacticínios.	176
Figura 4.51 - Valores percentuais das operações de frio que se realizam nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.	177
Figura 4.52 - Tipos de sistemas de frio, usados na fileira dos lacticínios.	178
Figura 4.53 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados na fileira dos lacticínios.	178
Figura 4.54 - Tempo de operação dos compressores usados na fileira dos lacticínios.	179
Figura 4.55 - Tipos de fluidos frigorigéneos usados na fileira dos lacticínios.	179
Figura 4.56 - Tipo de condensadores usados na fileira dos lacticínios.	180
Figura 4.57 - Consumos dos vários tipos de energia nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios	182
Figura 4.58 - Consumos de energia eléctrica e de combustíveis na fileira dos lacticínios de fabrico industrial.	182
Figura 4.59 - Consumos de energia eléctrica e de combustíveis na fileira dos lacticínios de fabrico artesanal.	183
Figura 4.60 - Perfil do tarifário do consumo anual de energia eléctrica da fileira de lacticínios.	184
Figura 4.61 - Consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico de queijo de modo industrial.	187
Figura 4.62 - Consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico artesanal.	187
Figura 4.63 - Valores do indicador específico de energia eléctrica para os estabelecimentos de lacticínios.	188
Figura 4.64 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos de fruta.	191
Figura 4.66 - Materiais usados na cobertura dos estabelecimentos de hortofrutícolas.	191
Figura 4.67 - Características da ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira de hortofrutícolas.	192
Figura 4.68 - Idade dos estabelecimentos da fileira de hortofrutícolas.	192
Figura 4.69 - Materiais utilizados nas paredes das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos	193
Figura 4.70 - Perfil de actividade de carácter anual do estabelecimento F1.	193
Figura 4.71 - Perfil de actividade sazonal (estabelecimento F15).	194
Figura 4.72 - Perfil da actividade sazonal da central de fruta do estabelecimento F20, com método de conservação por atmosfera controlada	195
Figura 4.73 - Diagrama do processo de fabrico nas centrais de fruta.	197
Figura 4.74 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos de revenda.	199
Figura 4.75 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos de centrais de fruta.	199
Figura 4.76- Tipos de operações de refrigeração usadas na fileira das hortofrutícolas.	200
Figura 4.77 - Valor percentual dos tipos de sistemas de refrigeração usados na fileira das hortofrutícolas.	201
Figura 4.78 - Tipo de compressores usados na fileira das hortofrutícolas	202
Figura 4.79 - Tempo de operação dos compressores usados na fileira das hortofrutícolas.	203
Figura 4.81- Tipo de condensadores usados na fileira das hortofrutícolas.	204
Figura 4.82 - Consumos de energia eléctrica dos estabelecimentos da fileira da hortofrutícolas.	206

Figura 4.83 - Perfil do tarifário dos estabelecimentos de hortofrutícolas.	207
Figura 4.84 - Consumo específico de energia eléctrica (IEEE) para os estabelecimentos de revenda de produtos e de centrais de frutas.	211
Figura 4.85- Imagem das instalações do estabelecimento CM3.	212
Figura 4.86 - Imagem das instalações do estabelecimento CS10.	213
Figura 4.87 - Estado de conservação e manutenção dos sistemas de produção de frio do estabelecimento CS5.	213
Figura 4.88 - Vista de uma unidade de secagem do estabelecimento CP8 e correspondente imagem termográfica.	214
Figura 4.89 - Vista do estabelecimento CP5 e de uma câmara de salga a carga parcial.	214
Figura 4.90- Consumos de energia eléctrica do estabelecimento de fabrico de presunto CP8, durante o período de tempo de análise do mês de Janeiro de 2011.	215
Figura 4.92 - Diagramas de carga do estabelecimento de fabrico de presunto CP8, referentes a três dias de Janeiro de 2011.	216
Figura 4.93 - Imagem de uma unidade de tratamento de ar do estabelecimento CP8 utilizada para realização da salga de presunto.	217
Figura 4.94 - Diagrama de carga da unidade de secagem, da temperatura interior da câmara de refrigeração e do desvão do dia 14-07-2011, do estabelecimento CF8.	218
Figura 4.95 - Temperaturas do desvão antes e depois de construídas as grelhas de ventilação.	219
Figura 4.96 - Vista interior do desvão sem janelas (lado esquerdo) e com janelas (lado direito).	219
Figura 4.97 - Vista das unidades de condensação instaladas no interior do desvão (lado esquerdo) e nas paredes laterais do desvão (lado direito).	220
Figura 4.98 - Valores do consumo específico de energia eléctrica (IEEE) dos estabelecimentos de fabrico industrial relativos ao ano de 2008 com indicação do ganho obtido no estabelecimento L6.	220
Figura 4.99 - Estabelecimento F1 com as portas abertas e os produtos fora da câmara.	221
Figura 4.100 - Câmara de refrigeração (lado esquerdo), cortina de ar no interior da câmara (lado direito).	222
Figura 4.101 - Câmaras de refrigeração instaladas no interior de uma antecâmara climatizada.	222
Figura 4.102 - Porta de uma câmara de refrigeração do estabelecimento F21 (lado esquerdo) e imagem termográfica da mesma mostrando a saída de ar frio.	223
Figura 4.103 - Conduta de aspiração do compressor sem isolamento (lado esquerdo) e imagem termográfica com a indicação de zonas frias da conduta sem o isolamento (lado direito).	224
Figura 5.1 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os matadouros.	228
Figura 5.2 - Potência eléctrica dos compressores versus Matéria-prima para os matadouros.	228
Figura 5.3 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os matadouros.	229
Figura 5.4 - Potência eléctrica dos compressores Versus Volume das câmaras de refrigeração para os matadouros.	230
Figura 5.5 - Consumo de energia eléctrica versus o Volume das câmaras de refrigeração para os matadouros.	230
Figura 5.6 - Consumo de energia eléctrica versus a Potência eléctrica dos compressores de refrigeração para os matadouros.	231
Figura 5.7 - Volume das câmaras de refrigeração versus a matéria-prima para salsicharias.	232

Figura 5.8 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para as salsicharias.....	232
Figura 5.9 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para as salsicharias.	233
Figura 5.10 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras de refrigeração para as salsicharias.....	234
Figura 5.11 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para as salsicharias.....	234
Figura 5.12 - Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores de refrigeração para as salsicharias.	235
Figura 5.13 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.....	236
Figura 5.14 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.	236
Figura 5.15 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.....	237
Figura 5.16 - Potência dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto	238
Figura 5.17 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto.	238
Figura 5.18 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto.	239
Figura 5.19 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.	240
Figura 5.20 - Potência eléctrica dos compressores (E, em MWh) versus a matéria-prima (MP, em Kl) para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.	241
Figura 5.21 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.....	241
Figura 5.22 - Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.....	242
Figura 5.23 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.....	243
Figura 5.24 - Consumo de energia versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.....	243
Figura 5.25 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.....	244
Figura 5.26 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.	245
Figura 5.27 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.....	245
Figura 5.28 - Potência dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.	246
Figura 5.29 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.....	247

Figura 5.30 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.	247
Figura 5.31 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	248
Figura 5.32 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	249
Figura 5.33 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	250
Figura 5.34 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	250
Figura 5.35 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	251
Figura 5.36 Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.	252
Figura 5.37 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima, para as centrais de fruta. ...	252
Figura 5.38 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima, para as centrais de fruta.	253
Figura 5.39 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima, para as centrais de fruta.	254
Figura 5.40 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras, para as centrais de fruta.	254
Figura 5.41 - Consumo de energia eléctrica versus o Volume das câmaras, para as centrais de fruta. .	255
Figura 5.42 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração, para as centrais de fruta.	256
Figura 5.43 - Representação dos resultados práticos de um estabelecimento de lacticínios de fabrico artesanal.	258
Figura 5.44 - Comparação dos resultados práticos de um estabelecimento de lacticínios de fabrico industrial com os valores do modelo.	261
Figura 5.45 - Banco de gelo sem isolamento.....	263
Figura 5.46 - Validação do modelo criado para a categoria das salsicharias da fileira da carne com base nos resultados de um estabelecimento desta categoria que não fez parte da amostra. .	265
Figura 5.47 - Resultados obtidos através do modelo da fileira da carne aplicado ao estabelecimento de fabrico de presunto (CP2) para o ano de 2008 e 2010.	268

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Tipos de actividades de Produção do Sector Alimentar (CAE10) a três dígitos.	5
Tabela 1.2 - Medidas principais de eficiência energética aplicadas aos sistemas de refrigeração.....	22
Tabela 1.3 - Medidas genéricas de eficiência energética	23
Tabela 1.4 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira da carne	27
Tabela 1.5 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira dos lacticínios (queijo)	28
Tabela 1.6 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira das Hortofrutícolas	28
Tabela 1.7 - Visão geral dos estudos de benchmarking de estabelecimentos frigoríficos	30
Tabela 3.1 - Resultados da potência eléctrica absorvida dos motores dos compressores do frio, obtida por via teórica e experimental.....	111
Tabela 4.1 - Resultados da actividade dos matadouros durante o ano de 2008	129
Tabela 4.2 - Resultados da actividade das salsicharias durante o ano de 2008	133
Tabela 4.3 - Resultados da actividade dos estabelecimentos de fabrico de presunto durante o ano de 2008.....	136
Tabela 4.4 - Tipos e consumos anuais de energia nos estabelecimentos de matadouros.....	148
Tabela 4.5 - Tipo e consumo anual de energia nas salsicharias	151
Tabela 4.6 - Tipo e consumo de energia dos estabelecimentos de fabrico de presunto.....	152
Tabela 4.7 - Resultados dos matadouros com base da informação dos inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq. 3.15.	157
Tabela 4.8 - Resultados das salsicharias com base da informação dos inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq.3.15.....	158
Tabela 4.9 - Resultados dos estabelecimentos de fabrico de presunto com base da informação os inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq.3.15.	160
Tabela 4.10 - Resultados da actividade dos estabelecimentos da fileira de lacticínios durante o ano de 2008.....	172
Tabela 4.11 - Tipos e consumos de energia nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.....	181
Tabela 4.12 - Indicadores dos estabelecimentos de lacticínios de fabrico industrial.	185
Tabela 4.13 - Indicadores dos estabelecimentos de lacticínios de fabrico artesanal.	185
Tabela 4.14 - Resultados da actividade dos estabelecimentos de hortofrutícolas durante o ano de 2008	196
Tabela 4.15 - Características do consumo de energia dos estabelecimentos da fileira de Hortofrutícolas	205
Tabela 4.16 - Indicadores dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas	208
Tabela 4.17 - Indicadores dos estabelecimentos de centrais de fruta.	209

Nomenclatura

a_w	Actividade da água
CEEP	Consumo específico de energia primária (tep/ton; tep/l)
CEEPC	Consumo de energia eléctrica por unidade de potência eléctrica dos compressores (kWh/W)
CEEV	Consumo de energia eléctrica por unidade de volume de câmara de refrigeração (Kwh/m ³)
COP	Coeficiente de Performance do compressor
PDC	Quantidade total de dióxido de carbono libertado para a atmosfera (ton)
PCO ₂ eléctrico	Quantidade de dióxido de carbono libertado para a atmosfera do consumo de electricidade (ton)
PCO ₂ combustíveis	Quantidade de dióxido de carbono libertado para a atmosfera do consumo de combustíveis (ton)
\dot{E}_{ent}	Energia que entra no sistema por unidade de tempo (W)
$E_{Flétrica}$	Energia eléctrica (kWh)
$E_{combustíveis}$	Energia dos combustíveis (tep)
\dot{E}_{sai}	Energia que sai do sistema por unidade de tempo (W)
E_{Total}	Energia total (tep)
E_{VC}	Energia armazenada no volume de controlo (J)
e	Espaço morto
e.f.e	Efeito frigorífico específico (kJ/kg)
h	Entalpia (KJ/kg)
h ₁	Entalpia do fluido frigorífero à entrada do compressor (kJ/kg)
h _{2s}	Entalpia do fluido frigorífero à saída do compressor numa transformação isentrópica (kJ/kg)
h _{2real}	Entalpia do fluido frigorífero à saída do compressor numa transformação real (kJ/kg)
h ₃	Entalpia do fluido frigorífero à saída do condensador (kJ/kg)
h ₄	Entalpia do fluido frigorífero à entrada do evaporador (kJ/kg)
T	Temperatura (K)
E _{eléctrica}	Energia eléctrica que entra no sistema (kWh)
IEEE	Indicador específico de consumo de energia eléctrica (kWh/ton _{MP} ; kWh/l)
IEE _{Total}	Energia específica que entra no sistema (tep)
l	Litro
\dot{m}	Caudal mássico do fluido frigorífero (kg/s)
ms	Fluxo de massa do sistema (kg/s)
MP	Matéria-Prima (ton; l)
MPVC	Relação entre a matéria-prima e a unidade de volume de câmara de refrigeração (ton _{MP} /m ³)
P	Pressão (Pa)
P _C	Pressão de condensação (Pa)
P _E	Pressão de evaporação (Pa)
PE	Potência eléctrica absorvida pelos compressores de refrigeração (kW)
PECV	Relação entre a Potência eléctrica dos compressores e o volume das câmaras (W/m ³)
PECMP	Relação entre a potência eléctrica dos compressores e a matéria-prima (W/ton _{MP} ; W/l)
pH	Potencial Hidrogeniónico ou grau de acidez
Prod	Produtos (ton)

\dot{Q}	Fluxo de calor que entra ou sai do sistema (W)
\dot{Q}_{cond}	Potência do condensador (W)
\dot{Q}_{evap}	Potência do evaporador (W)
r	Razão de compressão
s_1	Entropia do fluido frigorigéneo à entrada do compressor
s_2	Entropia do fluido frigorigéneo à saída do compressor
T_1	Temperatura da fonte fria (K)
T_2	Temperatura da fonte quente (K)
ton	Tonelada
ton _{MP}	Tonelada de matéria-prima
VC	Volume total das câmaras de refrigeração (m ³)
V_{as}	Volume aspirado pelo compressor
V_{var}	Volume varrido pelo compressor
\dot{W}	Fluxo de trabalho que entra ou sai do sistema (W)
\dot{W}_{comp}	Potência do compressor
η_{volR}	Rendimento volumétrico real do compressor
χ	Título do fluido frigorigéneo
η_{isent}	Rendimento isentrópico do compressor
\mathcal{E}	Eficiência frigorífica
\mathcal{E}_{Carnot}	Eficiência frigorífica de Carnot
U	Tensão eléctrica (Volts)
Δt	Intervalo de tempo (s)
I	Intensidade da corrente eléctrica (Amperes)
η	Rendimento do motor eléctrico (%)

Lista de Acrónimos

CAE	Classificação Portuguesa de Actividades Económicas
CE	Comissão Europeia
CO ₂	Dióxido de carbono
DRAPC	Direcção Regional da Agricultura e Pescas do Centro
ESACB	Escola Superior Agrária de Castelo Branco
IA	Indústrias Alimentares
IAA	Indústrias Agroalimentares
IARW	Associação internacional de Armazéns Frigoríficos
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético
MRE	Medidas de racionalização de energia
N ₂	Azoto
NIST	National Institute of Standards
PME	Pequenas e Médias Empresas
PIB	Produto Interno Bruto
PSE	Carnes Moles, Pálidas e Exsudativas
REAI	Regime de Exercício de Actividade Industrial
VAB	Valor Acrescentado Bruto
VN	Volume de Negócios
UBI	Universidade da Beira Interior
UHT	Leite Ultra Pasteurizado

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O primeiro capítulo da presente tese inicia-se com uma perspectiva geral sobre o tema em estudo, onde se dá a conhecer a importância do sector agroalimentar em vários domínios, com particular destaque para o caso da conservação e transformação dos alimentos, assim como a sua influência ao nível da sociedade, ambiente e energia. Neste sector, o consumo de energia é de uma enorme importância, tendo a refrigeração um papel capital, sendo, por isso, um dos aspectos mais em foco neste capítulo.

A utilização da refrigeração a nível mundial e o seu impacto sobre os consumos de energia são os pontos-chave desenvolvidos, pretendendo-se tornar mais evidentes a consciencialização e a necessidade de aprofundamento da aplicação de medidas de eficiência energética nas indústrias alimentares, enfatizando as que dizem respeito aos sistemas de refrigeração. Neste particular, dá-se uma panorâmica do sector agroalimentar em Portugal, com destaque para as três fileiras, que são o objecto de estudo da presente tese.

Em revisão bibliográfica, compilamos a informação disponibilizada na literatura especializada, sobre consumos de energia nas indústrias alimentares, medidas de eficiência energética aplicadas nos sistemas de refrigeração das indústrias agroalimentares e indicadores de eficiência energética.

Finalmente expõe-se os objectivos e a contribuição inovadora deste trabalho e a organização da presente tese.

1.1. PERSPECTIVA GERAL

A indústria agroalimentar tem como principal objectivo fornecer aos consumidores e à sociedade em geral, uma vasta gama de géneros alimentícios seguros, saudáveis, nutricionalmente ricos, economicamente acessíveis e produzidos de forma sustentável, mantendo, ao mesmo tempo, a sua capacidade competitiva.

Tipicamente, as indústrias agroalimentares são unidades transformadoras, que apresentam características específicas, nomeadamente a utilização de recursos limitados, com elevado nível de perecibilidade, pelo que, cada vez mais, se exige que a sua utilização seja o mais eficiente possível. De uma forma geral, transformam produtos agrícolas, não só para produção de bens alimentares para seres humanos, mas também para animais, dada a sua importância indirecta na alimentação humana.

Devido ao seu posicionamento entre a agricultura e os mercados de produtos de grande consumo, as indústrias agroalimentares apresentam características próprias, o que faz com que o seu desenvolvimento seja sensível, quer ao comportamento das matérias-primas, quer à organização dos mercados. Na realidade, na grande maioria dos casos, trabalham com matérias-primas, que

começam a deteriorar-se logo após a sua colecta. Além disso, há que ter em conta as especificidades de alguns produtos, como, por exemplo, o caso dos legumes, frutos e lacticínios, a sua sazonalidade. Por outras palavras, a variação da qualidade e disponibilidade das matérias-primas depende de factores não controláveis pelo homem.

A evolução dos hábitos de consumo e dos circuitos de distribuição, com uma segmentação cada vez mais acentuada dos mercados e procura de novos posicionamentos por parte dos grandes grupos de distribuição, com a criação de marcas próprias e a multiplicidade de produtos comercializados, bem como o constrangimento económico imposto pela concorrência e produtos de substituição, levou a que as indústrias agroalimentares desenvolvessem as suas próprias estratégias e ferramentas de produção. Assim, actualmente, verifica-se um grande desenvolvimento de métodos especializados no fabrico de produtos alimentares, com recurso à conservação e transformação das matérias-primas, com aplicação generalizada de refrigeração, congelação e desidratação (Wang, 2008).

O sector das indústrias agroalimentares está integrado no grupo das indústrias transformadoras, sendo, a nível europeu, um dos maiores sectores, com um peso muito importante na economia, apresentando um balanço positivo de mais de dois biliões de euros. Diariamente, este sector oferece uma grande diversidade de produtos alimentares, de qualidade, seguros, nutritivos e a preços competitivos, para mais de um mercado com 500 milhões de pessoas (Gregório, 2010).

Em 2009, segundo a CIAA (2010), o sector das indústrias agroalimentares era líder na área do emprego na União Europeia, com 310 mil empresas e mais de 4,2 milhões de postos de trabalho, desempenhando, também, um importante papel na economia no sector primário, sendo responsável pela compra e transformação de 70 % da produção agrícola. O papel das Pequenas e Médias Empresas (PME) agroalimentares é muito significativo, com 48,2% do total da facturação e 63% do total de postos de trabalho. As exportações de produtos alimentares para países fora da União Europeia totalizaram mais de 53,7 biliões de euros em 2009, equivalente a 18,6% do total de exportações (CIAA, 2010).

Com estes indicadores podemos constatar que o sector das indústrias agroalimentares é um dos mais importantes do tecido industrial europeu, apresentando uma tendência de crescimento nos últimos anos, sendo de realçar a adopção de medidas dinamizadoras, como a simplificação das barreiras administrativas e o apoio financeiro disponibilizado. Também, em busca de novas oportunidades, a internacionalização das indústrias alimentares europeias torna-se inevitável e tem contribuído para a expansão do sector.

A situação das indústrias agroalimentares em Portugal (IAA) segue a tendência europeia, sendo mesmo o maior sector das indústrias transformadoras do país (INE, 2011b). Este sector apresenta uma grande dispersão das suas empresas, estando a maioria da sua produção concentrada num reduzido número de unidades industriais. Os estabelecimentos com menos de dez trabalhadores correspondem, sensivelmente, a 80% das unidades, equivalendo, apenas, a 9% do volume de negócios do sector agroalimentar, enquanto, praticamente, um quarto da produção é obtido pelos dez maiores estabelecimentos.

Em 2010, estas indústrias contribuíram com um volume de negócios (VN) de cerca de 14 mil milhões de euros e um valor acrescentado bruto (VAB) de cerca de 3 mil milhões de euros (INE, 2011b), tal como se ilustra na figura 1.1, com um gráfico dos resultados do volume de negócios (VN) e volume acrescentado bruto (VAB), das indústrias transformadoras.

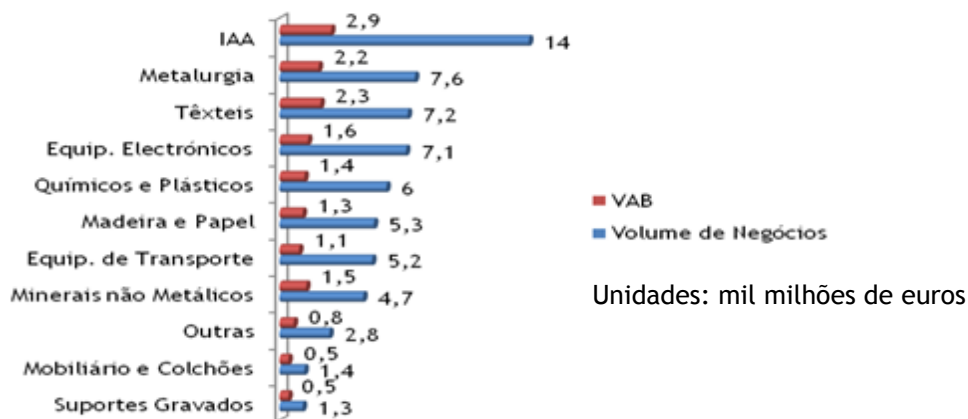


Figura 1.1 - Resultados do volume de negócios (VN) e volume acrescentado bruto (VAB) das indústrias transformadoras do ano de 2010. Fonte: (INE, 2011b).

Segundo o INE (2011b), as IAA contribuem de forma directa com 4,2% no VN e 3,5% do VAB do nosso País. Por outro lado também se estima que contribuem directa ou indirectamente para cerca de 4,5% do PIB nacional.

Mesmo num contexto económico adverso como o que se tem registado nos últimos anos, durante o período compreendido entre 2006 e 2011, a produção da indústria transformadora contraiu cerca de 15 %, enquanto as IAA conseguiram assegurar a sustentabilidade da sua produção registando inclusive um aumento de cerca de 1%, conforme se pode observar no gráfico da figura 1.2 (Magalhães, 2012).

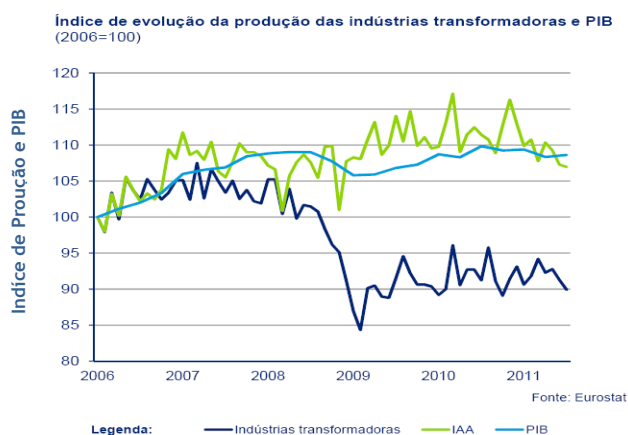


Figura 1.2 - Variação da produção das indústrias transformadoras e do PIB. Fonte: (Magalhães, 2012).

Outro contributo importante das IAA, é a sua contribuição para o índice de empregabilidade do nosso país. Estas indústrias são as que mais contribuem para o emprego em Portugal, a seguir às indústrias têxteis e de vestuário.

Segundo os dados do INE (2011b), em 2009, as IAA foram responsáveis pelo emprego directo de cerca de 110.000 postos de trabalho, correspondendo a cerca de 2,9% do emprego nacional, conforme se pode observar na figura 1.3.

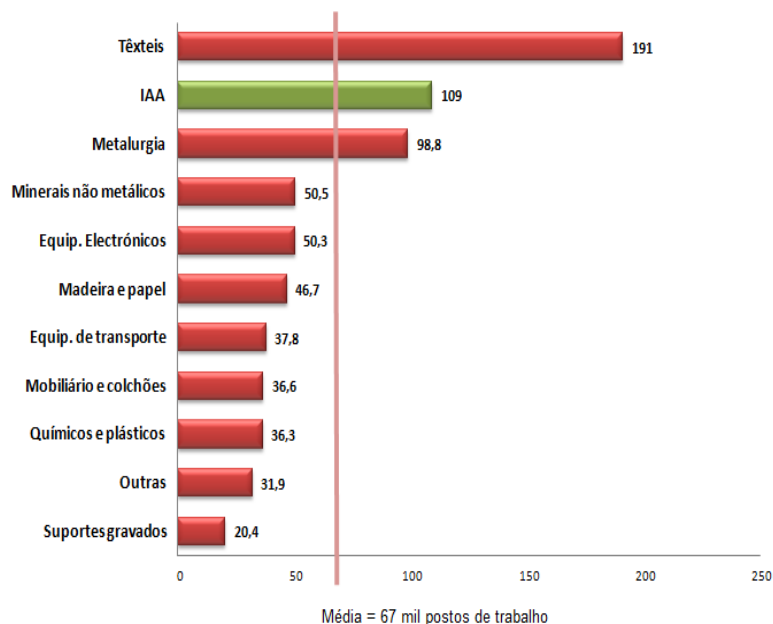


Figura 1.3 - Pessoal ao serviço das indústrias transformadoras (milhares de postos de trabalho activos, em 2009) Fonte: (Magalhães, 2012).

Estima-se que as IAA gerem indirectamente cerca de 500.000 postos de trabalho, fundamentalmente no sector primário, na distribuição alimentar e em outros serviços (INE, 2011b).

Em 2009, encontravam-se ao serviço, em Portugal, 9426 empresas IAA, sendo a terceira indústria transformadora com o maior tecido empresarial (INE, 2011b). Acresce ainda como factor relevante das IAA, a sua distribuição geográfica no interior do País, e por isso, assumem um papel crucial no desenvolvimento do tecido empresarial e geração de emprego em zonas menos favorecidas. Estas indústrias permitem a empregabilidade de um número muito razoável de pessoas ao serviço em regiões desfavorecidas como sejam na região do Interior do Centro e do Alentejo. Cerca de 15,2% dos empregos do nosso País, proporcionados pelas indústrias transformadoras são da responsabilidade das indústrias IAA (INE, 2011b).

As actividades das IAA são classificadas através de códigos que se encontram definidos no Decreto-Lei n.º 381/2007 de 14 de Novembro. A cada actividade corresponde um código (Classificação Portuguesa das Actividades Económicas (CAE.Rev.3)), sendo as IAA constituídas pelas indústrias Alimentares (CAE 10) e indústrias de bebidas (CAE 11).

De acordo com a Classificação Portuguesa das Actividades Económicas (CAE.Rev.3) as indústrias alimentares (IA) com o código CAE 10, engloba ainda diversos ramos de produção que são por sua vez classificados também com um código (CAE a três dígitos). Na tabela 1.1 apresenta-se os tipos de actividades ou ramos de produção que se encontram incluídos na classificação do CAE 10, com três dígitos.

Tabela 1.1 - Tipos de actividades de Produção do Sector Alimentar (CAE10) a três dígitos.

101-	Abate de animais, preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne
102-	Preparação e conservação de peixes, crustáceos e moluscos
103-	Preparação e conservação de frutos e produtos hortícolas
104-	Produtos de óleos e gorduras animais e vegetais
105-	Indústrias de lacticínios
106-	Transformação de cereais e leguminosas
107-	Fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha
108-	Fabricação de outros produtos alimentares
109-	Fabricação de alimentos para animais

Fonte: (INE, 2011a)

Dentro destes subgrupos de actividades que se apresentam na tabela 1.1, existem actividades diferenciadas que por sua vez, ainda são codificadas com um código a quatro dígitos. Encontramos por exemplo, no CAE101, três actividades distintas que são classificadas neste caso, com códigos a quatro dígitos. Para este caso concreto, estas actividades são o abate de animais (bovinos, equídeos, suínos e pequenos ruminantes), o abate de aves, e a preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne, que são classificadas com os códigos CAE1011, CAE1012 e CAE1013, respectivamente.

Na figura 1.4 apresentamos o valor de vendas das diferentes fileiras que integram o grupo das IA, destacando-se o forte desempenho da fileira da carne, dos lacticínios e fabricação de produtos para animais e de outros produtos.

A fileira das IA que apresenta o maior VN é a da carne. Ela engloba os estabelecimentos de produção e transformação de carne. Estes resultados devem-se à forte dinâmica das actividades de abate de animais (CAE 1011 e 1012) e preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne (CAE 1013). Em 2010, esta fileira liderou o grupo das IA com um volume de vendas de 1870 milhões de euros, representando 22% do volume total de vendas das IA, e que superou em cerca de 1% o valor obtido em 2009.



Figura 1.4 - Valor de vendas das indústrias Alimentares. Fonte: (INE, 2011a).

O valor de produção de carne, obtida, para os anos 2009 e 2010, foi de 1080 e 1156 toneladas, respectivamente.

Em 2011 a fileira da carne continuou a dominar o volume de vendas no seio das indústrias alimentares. De acordo com os dados apresentados pelo INE (2012a), no ano de 2011 obtivemos uma produção da carne de bovino de 96 mil toneladas e aproximadamente 407 mil toneladas de suíno. Em relação à produção de carne de ovino e caprino, obtivemos uma pequena estagnação, ou mesmo um reduzido decréscimo (-0,5% para os ovinos e -3,8% para os caprinos), comparativamente ao ano anterior, com produções de 18,1 mil toneladas e 1,4 mil toneladas, respectivamente.

A segunda fileira das indústrias alimentares (IA) que apresenta maior volume de vendas e de produção são os estabelecimentos do leite e derivados, com o CAE a quatro dígitos 10510, conforme se pode observar na figura 1.4. De acordo com INE (2012b), em 2012 verificou-se praticamente a manutenção da produção total de leite, em relação a 2011. Como é habitual o leite de vaca é o que apresenta maiores volumes de produção tendo atingido em 2011 cerca de 1906 milhões de litros. Por sua vez, a produção do leite de ovelha foi de cerca de 74 milhões de litros e o leite de cabra, aproximadamente 27 milhões.

Em 2011, a indústria de lacticínios nacional direccionou-se prioritariamente para a transformação da matéria-prima, nomeadamente para o fabrico de queijo e por conseguinte obteve-se 77 mil toneladas, tendo assim crescido 1% em relação a 2010. Segundo dados do INE (2012a), esta evolução resultou sobretudo da orientação para a produção de queijo de vaca (58 mil toneladas), de cabra (1,7 mil toneladas) e de mistura (5,1 mil toneladas). O queijo de ovelha apresentou uma pequena quebra tendo atingido as 12,2 mil toneladas.

A fileira das hortofrutícolas com o CAE a quatro dígitos 46311, tem um papel muito relevante no seio das IA e na economia nacional. Apesar de não se tratar da terceira maior fileira, o seu peso dentro das IA é elevado e os produtos que ele engloba são muito sensíveis. Dentro desta fileira existe uma grande variedade de produtos dos quais a título de exemplo, podemos referir as hortaliças, legumes, frutas, leguminosas para grão, batata, culturas para indústria (tomate e girassol). A produção nacional de produtos hortícolas, em 2011, foi de 761167 toneladas. O tomate para consumo em fresco foi a hortícola que registou o maior valor de produção com 94537 toneladas, tendo a cenoura e a alface atingido 85059 e 70479 toneladas, respectivamente. Numa produção de modo intensivo (54% da área total) a produção do tomate para consumo em fresco atingiu 70722 toneladas, e a alface 32108 toneladas (INE, 2012a).

Para poderem laborar, as indústrias agroalimentares são obrigadas a cumprir a legislação nacional sobre a protecção ambiental. Para o efeito, elas devem efectuar o seu licenciamento industrial, junto da entidade competente para dar cumprimento à legislação constante no Decreto - Lei n.º 209/2008 de 29 de Agosto, que revogou o Decreto-Lei n.º 69/2003, de 10 de Abril, que estabelece o regime de exercício para a actividade industrial (REAI). De acordo com as características físicas, energéticas e ambiental os estabelecimentos agroalimentares são classificados em três categorias: estabelecimento do tipo 1, tipo 2 e tipo 3.

Os estabelecimentos do **tipo 1**, são os de maior dimensão e grau de exigência e por conseguinte encontram-se sujeitos a pelo menos, um dos seguintes regimes jurídicos: avaliação de impacte ambiental; prevenção e controlo integrados da poluição; prevenção de acidentes graves que

envolvem substâncias perigosas; ou operação de gestão de resíduos perigosos. Os estabelecimentos do **tipo 2**, já contam com um menor grau de risco ambiental e são em geral de média dimensão, encontrando-se neste caso abrangidos pelo menos uma das seguintes circunstâncias: potência eléctrica contratada superior a 40 kVA; potência térmica superior a 2222 kW e número de trabalhadores superiores a 15. Os estabelecimentos do **tipo 3**, são constituídos pelas empresas com 15 ou menos trabalhadores e a potência térmica igual ou inferior a 2222 kW e a potência eléctrica contratada igual ou inferior a 40 KVA. Esta classe é a que apresenta o menor risco ambiental e por conseguinte é a mais fácil de licenciar. Tipicamente os estabelecimentos agroalimentares são na sua maioria da categoria do tipo 2 e 3. Para além do cumprimento da legislação nacional o sector agroalimentar teve que se adaptar à nova realidade, alterando os processos de transformação, nomeadamente para atender aos requisitos cada vez mais exigentes ao nível da protecção ambiental, e introduzindo de forma generalizada sistemas de garantia de qualidade e de segurança alimentar, certificando as suas empresas e adoptando sistemas de gestão de segurança alimentar (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle, em inglês, *Hazard Analysis and Critical Control Point*, HACCP). Nos últimos anos temos assistido a um exigente controlo da qualidade dos produtos, tendo em vista a salvaguarda da saúde dos consumidores, com base numa vasta regulamentação das actividades de fabrico de produtos alimentares, de que é exemplo a Legislação Comunitária do Parlamento e do Conselho Europeu, com os Regulamentos (CE) n.º 852/2004, (CE) n.º 853/2004 e (CE) n.º 854 de 29 de Abril, que fixam, respectivamente, as condições de higiene de géneros alimentícios, as regras específicas de higiene aplicáveis aos géneros alimentícios de origem animal e as regras específicas de organização dos controlos oficiais de produtos de origem animal, destinados a consumo humano. Esta legislação abrange todos os subsectores alimentares, estabelecendo normas de higiene e de segurança para todas as fases de produção, desde a preparação, transformação e transporte, até à chegada ao mercado.

O sector agroalimentar tem, também, vindo a melhorar a rotulagem dos seus produtos, contribuindo, assim, para uma melhor e mais fundamentada informação dos consumidores.

Nos últimos anos, a indústria agroalimentar viu-se confrontada com muitos desafios e exigências, aos quais teve e continuará a ter necessidade de dar respostas contundentes, para o desenvolvimento da sua actividade e para o seu posicionamento no mercado, onde a concorrência se verifica a nível global (Gregório, 2010).

Uma característica típica do sector dos estabelecimentos agroalimentares é a sua reduzida dimensão quanto ao número de trabalhadores e económica nos termos definidos no Manual de Frascati (CCE, 2003; OCDE, 2002). Com base nos dados estatísticos disponíveis de 2010, constatamos que das 1168964 indústrias existentes em Portugal, cerca de **99,9 % são micro, pequenas ou médias empresas**, e só **0,1 % corresponde a grandes empresas**. Ainda de acordo com esses dados, as grandes empresas empregavam cerca de 22,5 % das pessoas ao serviço e são responsáveis por mais de 45 % do volume de negócios realizado pelo sector empresarial do nosso País (INE, 2011b).

Para realizarem as suas actividades industriais, as IAA recorrem à energia eléctrica para acionamento de sistemas de refrigeração, bombas, ventiladores, sistemas de ar comprimido, iluminação (comum a todas as unidades industriais) e normalmente a um dos diversos tipos de combustíveis líquido ou gasosos comercialmente disponíveis (gás natural, gás propano, nafta, fuelóleo e o gasóleo de aquecimento), para queima em instalações de combustão (caldeiras), para aquecimento de água ou produção de vapor industrial que é utilizada nas operações de limpeza, ou no processo de fabrico.

Os consumos de cada um dos tipos de energia, apresenta uma grande variabilidade, decorrente não apenas da heterogeneidade de estabelecimentos, mas também das diferentes dimensões dos estabelecimentos e das características dos respectivos processos produtivos e dos tipos de sistemas que utilizam, com especial destaque para os sistemas de refrigeração.

Em 2010 as indústrias agroalimentares portuguesas consumiram 0,55 Mtep (10,2%) do total da energia consumida no sector das indústrias transformadoras que foi de 5,39 Mtep. Este valor percentual é semelhante ao valor médio das IAA da EU-27 (Eurostat, 2012).

Comparativamente ao consumo global de energia do país, a componente energética do subsector de alimentação e bebidas corresponde a cerca de 3% (Eurostat, 2012).

A estrutura dos consumos de energia no subsector de alimentação, referente ao ano de 2008, mostra que, devido à grande dispersão geográfica dos estabelecimentos do subsector de Alimentação e Bebidas existe uma menor penetração do gás natural, maior dependência do fuelóleo, maior consumo de biomassa e por causa da sua pequena dimensão assistimos ainda a uma menor aplicação da cogeração e maior utilização da electricidade (Braga, 2008).

Segundo o Eurostat (2012), constatamos que o consumo de energia do subsector de Alimentação e Bebidas na EU-27, sofreu uma diminuição de 6,9% entre o período de 2000 e 2010, enquanto, que em Portugal, em igual período, registou um aumento do consumo de energia de 7,8%.

Numa perspectiva mais alargada, o sector das IAA é considerado como um dos maiores sectores em todo o mundo e por conseguinte, o consumo de energia assume um peso significativo dentro do sector industrial e tem-se vindo a registar o seu crescimento. Este crescimento é consequência do aumento da população, do maior gasto com a alimentação e da utilização de tecnologias mais intensivas de energia, onde se inclui a refrigeração (Canning, 2010; Wang, 2008). A transformação que se verifica neste subsector resulta em grande medida, da globalização e da concentração das pessoas nos grandes centros populacionais e na necessidade de disponibilizar produtos alimentares de boa qualidade, em boas condições de higiene e segurança; tornando cada vez mais exigente a cadeia de produção, distribuição e comercialização, e contribuindo desta feita, para um maior uso da energia, principalmente com a refrigeração (Artés, 2004; Coulomb, 2008; James e James, 2010) .

Os sistemas de refrigeração são considerados como os principais consumidores de energia, principalmente a eléctrica, e é considerada como um consumidor intensivo em muitos processos produtivos (Okos, 1998). Segundo Okos (1998) em certas indústrias agroalimentares, cerca de 25% da energia total da indústria é utilizada para processos de arrefecimento e refrigeração e 48% para a movimentação de máquinas. No entanto, por exemplo, no sector da carne, durante o

tempo de produção, os sistemas de refrigeração consomem entre 45 a 90% do total do uso de electricidade e 100% durante o período de não produção (Ramírez et al., 2006b). Outros indicadores do consumo de energia eléctrica em relação ao consumo total de electricidade dos estabelecimentos, gasto pelos sistemas de refrigeração no Reino unido para vários subsectores de alimentação indicam 30% para produtos lácteos, 70 % para gelados, 50 % para produtos cárneos, 50 % para pescado, e 70 % para frutas e vegetais (USAID, 2011).

O papel da refrigeração vai-se acentuar no futuro, atendendo à problemática da alimentação das pessoas a nível mundial. A produção de alimentos nas próximas décadas torna-se cada vez mais difícil e dispendiosa por causa do declínio do rendimento da produção de alimentos e do aumento dos preços dos combustíveis fósseis (FAO, 2009b) . Tendências históricas indicam uma ligação evidente entre os preços dos alimentos e os preços de energia (Pala, 2013). Neste contexto é evidente que se torna necessário uma intensificação da produção vegetal e animal para alimentar uma população que se espera atingir os 9 biliões de pessoas em 2050 (FAO, 2012). De acordo com o relatório “Como alimentar o mundo em 2050” (FAO, 2009a) é necessário um aumento de 70% da produção de alimentos em comparação aos níveis de produção de 2005-2007 para satisfazer a procura de alimentos. Isto equivale aproximadamente a uma produção adicional de 1000 milhões de toneladas de cereais e 200 milhões de toneladas de carne e peixe por ano até 2050.

Para fazer face a este panorama vamos certamente assistir a um aumento da utilização dos sistemas de refrigeração no sector industrial e nas indústrias agroalimentares, em particular. Como estes sistemas são detentores de elevadas potências eléctricas, nomeadamente os compressores que os integram, será de esperar um aumento dos consumos de energia e respectivos custos (Filho, 2008; McFarland, 2007).

Os sistemas de refrigeração a nível mundial consomem principalmente energia eléctrica (99%) e por conseguinte, o consumo deste tipo de energia é muito elevado devido à grande quantidade destes sistemas dentro dos estabelecimentos alimentares e à elevada quantidade do número estabelecimentos que existem no mundo (Ramírez et al., 2006b; Tassou et al., 2010).

Outro dado que traduz a importância da refrigeração na indústria alimentar e o consumo de energia inerente à sua aplicação, diz respeito à quantidade de produtos alimentares que são transformados e conservados sob a acção do frio a nível mundial. O consumo global anual de alimentos congelados é de cerca de 30 milhões de toneladas por ano. Ao longo da ultima década, o consumo tem aumentado em 50% e ainda se mantém a crescer. A quantidade de alimentos refrigerados é de cerca de 10 a 12 vezes maior que a disponibilidade de produtos congelados, dando, um volume total de alimentos refrigerados de 350 Mton por ano, em 1995 e com um crescimento anual de 5% (UNEP, 2003). Por outro lado, o processamento de alimentos nos países desenvolvidos tem crescido também a uma taxa de 4% ao ano desde 1996 até 2002 e 7% nos países em desenvolvimento (UNEP, 2003).

Para suportar o aumento da conservação de alimentos através da refrigeração temos assistido anualmente a um aumento da capacidade de armazenamento de alimentos refrigerados e congelados. De acordo com os dados da Associação Internacional de armazéns frigoríficos (IARW),

em 2010 a capacidade total de armazéns refrigerados é aproximadamente de 458 milhões de metros cúbicos em todo o mundo. Durante os últimos dois anos, a capacidade de armazenagem refrigerada aumentou aproximadamente 192 milhões de metros cúbicos (IARW, 2010) .

O aumento generalizado da utilização da refrigeração tem implicado um crescimento do consumo da energia eléctrica e consequentemente os custos inerentes ao seu uso. Por exemplo em 1973 registou-se um consumo mundial de electricidade na ordem dos 439 Mtep e em 2010 este valor subiu para 1536 Mtep (EIA, 2012). Segundo diversos autores (James and James, 2010; Mattarolo, 1990; UNEP, 2006) a energia consumida pelos sistemas responsáveis pelos processos de refrigeração representa 15% do consumo de energia a nível mundial.

O aumento do consumo de energia eléctrica em conjunto com o aumento dos preços nos últimos anos faz com que o custo com a energia ocupa o terceiro lugar nas indústrias transformadoras a seguir aos custos da matéria-prima e de pessoal, com um valor aproximado dos 3% (Mirade, 2012; Muller et al., 2007; Ramírez et al., 2006a; Sandberg, 2003) e no sector da conservação de alimentos ocupam o segundo lugar depois dos custos com o pessoal (Bowater, 2000).

Por exemplo, Moreno (2006), destaca que na fileira da carne os custos com a matéria-prima, mão-de-obra e da energia atingem valores de cerca de 65%, 10% e entre 3 a 9%, respectivamente.

Neste contexto, com vista a tornar as indústrias alimentares competitivas e a contribuir para reduzir os gases com efeitos de estufa directos e indirectos (consumo de energia) os consumos da energia tem manifestado grande preocupação na sociedade, tendo por isso merecido uma maior atenção. Actualmente, estudos científicos e trabalhos de auditorias energéticas apontam que se podem alcançar poupanças de energia compreendidas entre 15 a 25% mediante a aplicação de medidas simples de eficiência energética aos sistemas de refrigeração (Ademe, 2000; Guilpart, 2009).

Para implementação destas medidas é importante conhecer as características dos sistemas de refrigeração que são utilizados nas indústrias agroalimentares e verificar as condições em que os mesmos estão a funcionar.

1.2. O PROBLEMA EM ESTUDO E A SUA RELEVÂNCIA

O propósito do presente trabalho é estudar a forma como os sistemas de refrigeração são utilizados no processamento e conservação de alimentos nos estabelecimentos da indústria alimentar situados na Beira Interior.

Geralmente, os sistemas de refrigeração são utilizados para preservar as características físicas e químicas dos produtos, prolongando o seu período de vida. O objectivo essencial é a obtenção de condições ambientais, em termos de temperatura e, eventualmente, de humidade relativa, que evitem o desenvolvimento de microrganismos, que possam deteriorar os produtos. Os períodos de conservação estão relacionados com as temperaturas dos processos de refrigeração: nos períodos

curtos as temperaturas são ligeiramente superiores a 0 °C e nos longos são negativas, na ordem dos -18 °C (James and James, 2002).

Os sistemas de refrigeração são, também, utilizados nos processos de congelação rápida, arrefecimento rápido e desidratação de produtos.

A utilização de azoto líquido ou gelo seco (CO₂) permite a obtenção de temperaturas suficientemente baixas para os processos de congelação rápida (criogenia). Com custos elevados, a sua utilização é limitada (Pineda, 2001).

Alguns produtos, como as hortofrutícolas, a carne ou o leite, para uma preservação eficaz, necessitam uma diminuição rápida da sua temperatura, tendo que utilizar-se sistemas de refrigeração que promovam um arrefecimento rápido (Marvillet, 2001).

Nos processos produtivos de desidratação/hidratação pretende-se controlar a actividade da água (aw) nos produtos alimentares, tornando-os mais estáveis à temperatura ambiente (Arnau et al., 2007). Para isso são necessários sistemas que controlem a temperatura e a humidade relativa do ar, utilizando-se, geralmente, unidades de tratamento do ar, tipo bombas de calor ar-ar. Tipicamente, estes sistemas são utilizados nos processos de fabrico de enchidos, presuntos e queijos (Gou, 1998).

A grande diversidade de funções dos sistemas de refrigeração usados nas indústrias agroalimentares faz com que os respectivos consumos energéticos associados estejam fortemente dependentes das suas características e condições de operação. Em princípio, se apenas se pretender manter a temperatura ambiente das câmaras de refrigeração, o consumo será menor do que em casos mais específicos, onde se necessita proceder a uma diminuição rápida da temperatura ambiente ou variá-la ao longo do tempo, de acordo com as necessidades do processo produtivo (Filho, 2008; Langley, 2009).

Nos sistemas para manutenção da temperatura ambiente nas câmaras de refrigeração é necessário retirar a quantidade de calor relativa às cargas térmicas geradas no seu interior, nomeadamente as relacionadas com a transmissão de calor nas paredes das câmaras, as infiltrações de ar, a iluminação, a movimentação de máquinas e pessoas e os produtos, propriamente ditos. Nos sistemas para arrefecimento rápido têm, ainda, que se considerar as cargas de arrefecimento dos produtos, de respiração (produtos hortofrutícolas), e latentes (na ocorrência de congelação) (Langley, 2009; Martín, 2005). Os sistemas que permitem variar a temperatura ambiente ao longo do tempo, de acordo com as necessidades do processo produtivo, têm que utilizar equipamentos específicos para controlar adequadamente os parâmetros psicrométricos do ar no interior das câmaras de refrigeração, como, por exemplo, ventiladores centrífugos e resistências eléctricas, cujo consumo terá, também, que ser contabilizado no balanço energético.

De um ponto de vista mais lato, as condições ambientais exteriores e a manutenção dos sistemas de refrigeração são componentes essenciais no consumo de energia, sendo-lhes, por isso, dedicada uma atenção particular no estudo realizado.

Na presente tese são objecto de estudo as fileiras da carne, do leite e seus derivados e das hortofrutícolas, que são as principais fileiras das indústrias alimentares com utilização de frio nos

seus processos produtivos e que apresentam maior expressão económica no espaço geográfico onde se procedeu ao levantamento da informação pertinente ao estudo realizado.

Do anteriormente exposto, torna-se evidente que é imprescindível uma intensa e ampla utilização de sistemas de refrigeração nos estabelecimentos agroalimentares, o que tem como consequência um elevado consumo de energia eléctrica. Assim, sendo do maior interesse a sua minimização, realça-se a relevância do estudo objecto desta tese, que vem colmatar a falta ou mesmo inexistência de informação nesta área.

Uma das grandes premissas do presente trabalho foi a realização de um extenso e aprofundado estudo, que permitisse a caracterização detalhada do tipo de sistemas de refrigeração usados nas três fileiras, acima mencionadas, relacionando-a com os correspondentes consumos de energia eléctrica nos respectivos estabelecimentos.

A caracterização dos sistemas de refrigeração de estabelecimentos agroalimentares da Beira Interior permitiu detectar os principais factores que influenciam a diminuição da eficiência energética. Assim, foi possível elencar e propor soluções para a melhoria da eficiência energética dos estabelecimentos das três fileiras alimentares, um importante contributo para a sua sustentabilidade e desenvolvimento. Além de se apontarem potenciais soluções particulares, propõe-se um modelo para uma análise mais generalizada do problema de fundo.

1.3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia consumida pelos sistemas de refrigeração é uma das grandes preocupações da comunidade mundial. Actualmente já existe a consciência de que o ritmo de crescimento do consumo de energia eléctrica pelos sistemas de refrigeração é um problema preocupante, mas os prognósticos para o futuro deixam adivinhar um aumento dessa preocupação.

Neste contexto temos vindo a assistir ao aparecimento de trabalhos científicos relacionados com os consumos de energia na indústria alimentar, em particular com o armazenamento de alimentos no estado de refrigerado e de congelado e também em estabelecimentos de transformação de alimentos, como é o caso do nosso trabalho.

O conhecimento dos consumos de energia dos sistemas de refrigeração nos estabelecimentos alimentares e as medidas de eficiência energéticas que são aplicadas nos outros países nos sistemas de refrigeração é muito importante para conhecer a dimensão e as características energéticas dos sectores ou das fileiras. Esta informação permite fazer uma análise mais pormenorizada, sobre a nossa realidade, podendo assim aferir o estado em que situação nos encontramos e qual o caminho que ainda temos a percorrer para nos aproximar ao melhor que se faz nos outros países e poder indicar as melhores práticas disponíveis para os nossos estabelecimentos.

Finalmente, apresenta-se os principais indicadores encontrados na literatura da especialidade e em relatórios técnicos com os resultados de auditorias energéticas. Acresce realçar que este tipo de informação não é muito abundante uma vez que os trabalhos realizados no sector das

indústrias alimentares são muitas vezes feitos por organismos privados cujos resultados mais detalhados das auditorias não são publicados.

O conhecimento destes indicadores é muito importante para comparar com aqueles que obtivemos para os nossos estabelecimentos e assim concluir na posição em que nos encontramos. A comparação de indicadores também nos transmite o potencial de poupança que podemos alcançar caso estejamos a consumir mais que os outros. Trata-se pois de fazer uma avaliação de *benchmarking*, técnica esta, hoje muito aplicada neste tipo de estudos.

A recolha bibliográfica efectuada no presente estudo é apresentada na seguinte forma: trabalhos relacionados sobre os consumos de energia; medidas de eficiência energética; indicadores de consumo de energia; estabelecimentos de armazenamento de produtos. No final de cada subsecção, apresentam-se quadros síntese com alguns dos trabalhos mais relevantes referenciados.

1.3.1. Trabalhos relacionados com os consumos de energia na indústria alimentar

Segundo Ramírez et al. (2006b) os consumos de energia dos sistemas de refrigeração, nas indústrias alimentares têm aumentado devido ao aumento do fabrico de alimentos e das exigências impostas pelas normas de qualidade, higiene e segurança alimentar. Por terem um elevado grau de utilização, em muitos processos industriais, os sistemas de refrigeração são considerados como de consumo intensivo de energia (Nouri, 2013; Xu e Flapper, 2010; Xu et al., 2009). Devido às características do tecido empresarial, que é composto por um número elevado de indústrias transformadoras de alimentos de pequena dimensão, o seu conjunto contribui também para que os consumos de energia eléctrica sejam muito elevados dentro dos vários países (Ramírez et al., 2006b). A título de exemplo em 2008, na EU-27, a maioria (99,8%) das indústrias presentes na economia eram pequenas e médias empresas (PME) - aproximadamente 20,9 milhões- e mais de nove empresas em cada dez (92%) eram classificadas como microempresas empregando menos de 10 trabalhadores. Este cenário é mais relevante nos estados membros do Sul da Europa, tais como a Itália, Espanha e Portugal (Eurostat, 2011).

Em algumas fileiras os consumos de energia evoluíram consideravelmente por acção do aumento das actividades e simultaneamente pelo aumento da utilização dos sistemas de refrigeração (Ramírez et al., 2006b).

Segundo o Departamento da Energia dos Estados Unidos o maior uso da electricidade é a iluminação (27%) e a seguir vem o arrefecimento (Refrigeração e ar condicionado) com 15% do consumo global (Landymore, 2012). Segundo este autor, em países desenvolvidos onde as temperaturas são mais elevadas o uso da refrigeração e ar condicionado é significativamente mais elevado, podendo os valores aproximar-se dos valores da iluminação dos Estados Unidos. Victoria (2009) também salienta que os sistemas de refrigeração consomem grandes quantidades de energia eléctrica, contribuindo significativamente para as despesas de funcionamento das

indústrias com necessidades de arrefecimento consideráveis, em indústrias, onde a refrigeração pode ser responsável por cerca de 85% do consumo total.

No Reino Unido, 11% da energia final é consumida pela indústria dos alimentos e alguns sectores utilizam mais de 90% da energia eléctrica com os sistemas de refrigeração (Swain, 2009). Muitos sectores económicos têm necessidade de retirar a carga térmica inicial dos produtos, muitas vezes mediante o arrefecimento rápido dos produtos. Swain (2009) assinala que no Reino Unido existem seis categorias onde é necessário retirar essa energia, que são o leite (532 GWh/ano), carne (114 GWh/ano), batatas (154 GWh/ano), outros vegetais (36 GWh/ano), peixe (6,5 GWh/ano) e frutas (5,9 GWh/ano). Refere ainda que usando as melhores tecnologias disponíveis no Reino Unido para o arrefecimento, podem ser alcançadas poupanças anuais de energia de 59 GWh no arrefecimento das batatas, 128 GWh no arrefecimento do leite e entre 51 a 80 GWh no arrefecimento das carcaças.

Ainda no Reino Unido, Burfoot et al. (2004) verificaram que o sector dos alimentos refrigerados tinha um consumo de energia anual de $9,27 \times 10^9$ GWh, e que cerca de 18% deste total era consumido nas indústrias para manter as baixas temperaturas para evitar o crescimento de microorganismos nos alimentos.

Em França o frio industrial representa 4% do consumo de electricidade no seio da indústria francesa e quase 7% do consumo de electricidade daquele país. Neste país, estima-se que o consumo de energia eléctrica no sector dos produtos lácteos seja aproximadamente da ordem dos 2,9 Terawatt-hora (TWh) eléctricos, e desta quantidade 25,5%, aproximadamente 740 Gigawatt-hora (GWh), são exclusivamente consumidos pelos sistemas de produção de frio (Gautherin et al., 2007). Sobre o ponto de vista do consumo de energia eléctrica consumida com o frio industrial, o sector lácteo ocupa a quarta posição, a seguir à grande distribuição alimentar (3,6 TWh), ao armazenamento frigorífico (2,45 TWh) e ao comércio de proximidade (1,4 TWh). Este consumo situa-se acima do consumo de energia eléctrica nas outras actividades alimentares, como os matadouros de bovinos (370 GWh), as charcutarias (369 GWh) e as cervejarias (203 GWh) (Gautherin et al., 2007).

Ainda segundo Gautherin et al. (2007) a distribuição dos consumos de energia eléctrica para a fabricação de leite líquido, fabrico de manteiga, fabrico de queijo e fabrico de outros produtos lácteos correspondem a 1010 GWh, 183,8 GWh, 1204,9 GWh e 554,9 GWh, respectivamente. Em relação ao consumo de energia estimado para a utilização do frio, em cada uma desta área é de 252,5 GWh (34,2%), 45,9 GWh (6,3%), 301,2 GWh (40,8%) e 138,7 GWh (18,7%), respectivamente. Os estabelecimentos de lacticínios, nomeadamente no fabrico de queijo e os de processamento de carne são particularmente exigentes em energia, porque necessitam dela tanto para a refrigeração e para o aquecimento. Por exemplo, Ramírez et al. (2006a) destacam que na Holanda a fabricação de produtos lácteos, e a produção, transformação e conservação da carne é responsável por cerca de 15% e 9% do total da energia consumida no sector alimentar, respectivamente. Ainda segundo Ramírez et al. (2006b), em 2000, o sector lácteo consumiu aproximadamente, $1,444 \times 10^{11}$ GWh, $0,944 \times 10^{11}$ GWh, $0,444 \times 10^{11}$ GWh e $0,388 \times 10^{11}$ GWh da energia primária em França, Alemanha, Países Baixos e Reino Unido, respectivamente.

Em 1998, nos Estados Unidos da América (EUA), as indústrias de alimentos contribuíram com 4,4% do consumo de energia eléctrica no sector industrial (Muller et al., 2007). Em relação a este país, no interior do sector das indústrias transformadoras, os produtos lácteos apresentam enorme destaque, com consumos de energia eléctrica em 2002 e 2006 de $0,236 \times 10^{11}$ GWh e $0,266 \times 10^{11}$ GWh, respectivamente. Durante este período de tempo assistiu-se a um aumento do consumo de energia eléctrica de 3,1%.

Embora a produção de produtos lácteos tenha crescido, uma evolução oposta, registou-se nos Países Baixos, com uma redução de energia eléctrica de 9,3%, no período de 1998 e 2002. Uma justificação para esta redução dos consumos de energia eléctrica é atribuída a medidas eficientes de poupanças de energia (Xu et al., 2009).

Também na África do Sul, o maior consumo de energia eléctrica verifica-se no sector das indústrias transformadoras, consumindo 68% dos 40000 MWh gastos. O consumo de energia neste país está a aumentar anualmente em cerca de 5% e tem uma componente relevante no sector da alimentação. Entre 1992 e 2000 o consumo de energia aumentou 22%, com o maior crescimento a verificar-se no sector da agricultura (25%) (DESA, 2004)

Segundo Defra (2012) os sistemas de refrigeração utilizados nas indústrias de lacticínios da Grã-Bretanha usam em média 250 GWh/ano. A energia utilizada no sector da refrigeração desempenha um papel muito importante nas necessidades totais de energia de um estabelecimento de lacticínios, muitas vezes representando mais de 40 % da energia eléctrica consumida nos estabelecimentos.

Ainda segundo Defra (2012), o consumo de energia eléctrica para o arrefecimento do leite corresponde a 19% do consumo de energia eléctrica do estabelecimento, enquanto no processo de fabrico do queijo corresponde a 66% do consumo de energia eléctrica. Refere ainda que no Canadá e na Holanda o consumo de energia no arrefecimento do leite é de 2% e 19 % da energia final consumida pelo estabelecimento, respectivamente.

A quantidade e o tipo de energia usada, variam muito consoante o tipo de produtos fabricados. No tocante às indústrias de lacticínios Australianas, em particular para o fabrico do queijo, o uso da energia eléctrica e térmica são da ordem dos 27% e 73%, da energia total respectivamente, enquanto no fabrico de leite para consumo humano esses valores rondam os 66% e 34%, respectivamente (Prasad, 2004). As indústrias que produzem principalmente leite para consumo e queijo, utilizam a energia para a realização das operações de aquecimento, termização, pasteurização do leite, arrefecimento e refrigeração, iluminação, ar comprimido, climatização, bombagem e equipamentos de processamento e realização de operações auxiliares. As indústrias que fabricam produtos de leite concentrado e certos tipos de queijo em pó, necessitam de energia térmica adicional para realizar as operações de agitação, separação, concentração, evaporação e secagem.

Em relação à fileira da carne, Gigiel e Collett (1989) destacam que os sistemas de refrigeração nos matadouros no Reino Unido, em 1982 consumiram 75×10^6 KWh de energia eléctrica no processo de arrefecimento e armazenamento de carcaças de carne de porco, refrigeradas.

Também os consumos de energia na fileira da carne em Espanha aumentaram 22,7% desde 1996 até 2001, sendo em 2001 de 333,20 Ktep. Em relação aos produtos transformados de carne (enchidos) o consumo eléctrico e de combustíveis como o gás propano, o gasóleo de aquecimento e lenhas é de cerca de 61% e 39%, respectivamente. Já nos matadouros o consumo eléctrico e de outros combustíveis, como o gás propano e o natural é de cerca de 64,3% e 35,7%, respectivamente (Moreno, 2006).

ICAEN (2009) apresenta os resultados dos diagnósticos energéticos a 51 estabelecimentos de produção e transformação de carne, em Espanha. No conjunto foram diagnosticadas 441 câmaras de refrigeração, transformaram e produziram 478697 ton, com um consumo global de energia de 109603 MWh/ano e um custo de energia de 7713299€/ano. Em termos energéticos, o consumo de energia eléctrica correspondeu a 66187 MWh/ano (60%) e a energia térmica a 42637 MWh/ano (40%). Em relação ao consumo de energia eléctrica, o balanço de energia destaca um consumo de energia eléctrica à componente do frio industrial igual a 59986 MWh/ano (81,2%), ao ar comprimido 1876 MWh (2,9%), maquinaria de processo 7079 MWh/ano (10,8%), iluminação 2651 MWh/ano (4,1%) e outros consumos iguais a 661 MWh/ano (1%). Os principais combustíveis usados foram o gás natural (45%), biomassa (19%), gasóleo (16%) fuelóleo (15%) e GPL (5%).

Um estudo sobre a evolução do consumo de energia das indústrias da carne na Irlanda EI (2009) permite concluir que globalmente entre o período compreendido entre 2003 e 2008 registou-se um aumento de 4,5% do consumo da energia eléctrica e uma diminuição de 4,4% no consumo da energia térmica. Este estudo refere que a refrigeração é utilizada de forma intensiva e como tal é vista como um dos sectores de consumo intensivo de energia. O consumo total de energia no sector do processamento de carne bovina aumentou quase 1% entre 2003 e 2008, atingindo no final do período um valor de 3953245,3 GWh. Nesta referência, conclui-se que o consumo de energia média no processo de abate de uma cabeça de bovino oscila entre 800 e 935 MJ.

Em Espanha para um estabelecimento da categoria de matadouro, o balanço dos consumos de energia eléctrica, apresenta os seguintes resultados: refrigeração 22222 kWh/dia (54,4%), motores eléctricos, 15000 kWh/dia (36,7%), iluminação, 833 kWh/dia (2,1%) e ar comprimido 2778 kWh/dia (6,8%) (Moreno, 2006). Neste país, uma grande parte dos estabelecimentos de carne são indústrias transformadoras de pequena dimensão, em que ainda realizam o ciclo completo (matadouro, desmancha, armazenamento a frio e fabrico de salsicharias e de presunto) embora se esteja a verificar uma separação dos matadouros e salsicharias (EREN, 2008).

Em relação a Portugal, dos dados recolhidos junto da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (DRAPC) existe uma grande separação entre os matadouros e as salsicharias, realizando cada sector a sua actividade per si, salvo nas raras excepções, que se registam nos grandes estabelecimentos.

No tocante à fileira da fruta, ICAEN (2010) apresenta os resultados dos diagnósticos realizados a 50 estabelecimentos de produção de fruta na região da Catalunha, em Espanha. Este estudo envolveu 818 câmaras de refrigeração, 486065 toneladas de fruta, um consumo de energia eléctrica de 37,62 GWh/ano e um custo total de energia de 3418738 €/ano. As distribuições dos

consumos de energia eléctrica do conjunto de estabelecimentos (centrais de fruta) pelos diferentes consumidores de energia apresentam-se no gráfico da figura 1.5.

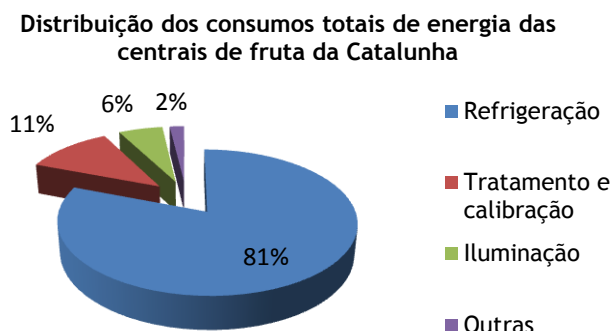


Figura 1.5 - Distribuição dos consumos totais de energia eléctrica das centrais de fruta da região da Catalunha.

Segundo os resultados deste relatório uma das principais conclusões a retirar é a diminuição dos custos da energia (€/kWh) à medida que aumenta o consumo de energia da central de frutas. A tendência deste indicador (€/kWh) mostra um comportamento assintótico por volta dos 80€/MWh. Este estudo refere ainda que o método de descongelamento do evaporador mais utilizado foi o de água (71%), seguido de gás quente (22%), resistências eléctricas (5%) e por ar forçado (2%). Em relação ao fluido utilizado, o Amoníaco é o preferido (55%), seguido do Fréon R22 (36%) e finalmente o R404a (9%).

1.3.2. Trabalhos relacionados com medidas de eficiência energética

Face aos elevados consumos de energia, os estabelecimentos de transformação de alimentos vêm-se actualmente na contingência de analisar e cuidar dos mesmos através da aplicação de medidas e acções que promovam uma boa utilização da energia.

A eficiência energética pode oferecer uma gama de poupança em vários domínios tais como a redução dos custos energéticos, redução dos custos de manutenção e confiança no sistema, melhoria da segurança, aumento da produtividade, melhor adequação da carga de refrigeração e capacidade dos equipamentos, melhor ambiente de trabalho e redução do consumo de recursos e de emissão de gases com efeito de estufa (Victoria, 2009).

O valor de poupança de energia nos sistemas de refrigeração está relacionado com o número e o tipo de medidas aplicadas e da qualidade da tecnologia usada. Uma simples melhoria das práticas operacionais ou uma boa construção da instalação, com um mínimo de despesas pode proporcionar muitas vezes uma redução dos consumos da energia até 15% ou mais, enquanto, que a utilização das melhores técnicas dos elementos do sistema de refrigeração pode actualmente atingir um potencial de redução de consumo de energia entre 15 a 40% (Guilpart, 2009; Manske, 1999; Victoria, 2009).

Segundo Victoria (2009) a melhoria da eficiência energética em sistemas já existentes pode ser alcançada mediante um plano de acção que envolva os seguintes passos: i) análise da potência frigorífica necessária, ii) análise da qualidade do isolamento utilizado, iii) avaliação da distribuição do fluido frigorígeno no sistema, iv) avaliação dos sistemas de controlo do sistema e os processos de rejeição do calor; v) otimizar a manutenção e finalmente, vi) avaliar a melhoria do sistema após a intervenção. Uma descrição detalhada da influência de cada um destes passos na eficiência energética do sistema de refrigeração pode ser encontrada em IIR (1982), Reindl, (2005) e Victoria (2009). No caso de instalações novas, os principais passos são i) desenho do sistema integrado - como um todo; ii) estimativa da eficiência do sistema para todo o ano; iii) selecção adequada do compressor; iv) selecção dos evaporadores e condensadores; v) selecção do fluido de transferência; vi) aproveitamento do calor; e, finalmente, vii) selecção do fluido frigorígeno. Uma descrição detalhada sobre o procedimento e a influência de cada um dos passos encontra-se em Reindl (2005) e Victoria (2009). Landymore (2012) refere também que no sector da refrigeração já ocorreram melhorias significativas nas tecnologias dos sistemas de refrigeração, só que algumas das soluções são difíceis de implementar por pequenos e médios estabelecimentos por serem muito dispendiosas.

Ainda, segundo o mesmo autor, nos sistemas de refrigeração e ar condicionado, o compressor é o maior consumidor de energia eléctrica, sendo que na maioria dos casos, consome cerca de 70% do total de electricidade. Uma das formas de combater os consumos de energia eléctrica é diminuir o seu tempo de funcionamento. Este autor apresenta um equipamento electrónico para acoplar aos sistemas de refrigeração (é instalado entre o termostato ou controlador primário e o compressor) de modo a que o compressor reduza o consumo de energia eléctrica. O Energy Saving Modules TM tal como é designado o módulo de controlo, é uma tecnologia para complementar o sistema de controlo de funcionamento do compressor, gerindo de forma automática o seu tempo de trabalho. Este módulo usa a informação recebida para ajustar dinamicamente a duração de cada ciclo de arrefecimento, a fim de ajudar o compressor a trabalhar mais vezes nas suas condições mais eficientes em termos energéticos. O processo, conhecido como “optimização do compressor” pode reduzir o seu tempo de funcionamento até cerca de 30%.

Em França, no sector dos lacticínios, onde os consumos de energia eléctrica no frio é de aproximadamente 740 GWh, estão a ser implementadas um conjunto de medidas de eficiência energética quer ao nível das instalações frigoríficas propriamente ditas, quer ao nível dos processos de tratamento e do fabrico. Dentro destas medidas, destacam-se o abaixamento da temperatura de condensação, o aumento da temperatura de evaporação, a utilização de variadores de velocidade, a utilização de um controlo avançado das instalações frigoríficas, o redimensionamento dos pasteurizadores, a avaliação das economias de energia, a estima do número de equipamentos utilizados nos processos e os consumos de energia associados. Os ganhos energéticos estimados em relação aos valores de consumo iniciais situam-se entre os 10 a 20% (Gautherin et al., 2007).

De acordo com Mirade (2012) a análise precisa do consumo de energia no sector de fabrico de queijos, permite destacar quatro áreas principais de consumo de energia, que são duas correspondentes ao consumo de energia eléctrica e outras duas à energia térmica. Em relação à energia eléctrica temos as bombas, ventiladores, motores dos sistemas rolantes de transporte e iluminação (35%) e os sistemas de refrigeração e equipamentos de armazenamento do leite (20%) e relativamente à energia térmica temos os sistemas de aquecimento, evaporadores e secadores (40%) e os equipamentos afectos ao processo de limpeza diária (5%).

Alguns autores são da opinião que pode ser alcançada uma grande economia de energia nos estabelecimentos de alimentos se forem implementadas sistemas de gestão e políticas de monitorização dos consumos de energia, eficientes (AlQdah, 2010; Fritzson and Berntsson, 2006; Muller et al., 2007; Xu et al., 2009), ou se as tecnologias existentes e sistemas convencionais forem bem conservados (Gigiel and Collett, 1989; IIR, 1982; James and James, 2010). A economia de energia também pode ser alcançada se forem melhorados os sistemas actuais, como, por exemplo, usando motores eléctricos de alta eficiência (CE, 2006; Worrell, 2009), ou implementando sistemas de velocidade variável nos motores (Abdelaziz et al., 2011; González-Ramírez et al., 2013; Qureshi and Tassou, 1996; Saidur, 2009; Tassou, 1998; Teitel et al., 2008).

O desenvolvimento de novas tecnologias de conservação de alimentos com potencial muito reduzido de impacto ambiental (James, 2011; Lung et al., 2006; Pereira, 2010; Tassou, 2010), juntamente com a redução de desperdícios de alimentos e (ou) a sua utilização, por sua vez, também pode ser usado como uma fonte de energia (Nguyen, 2010; Plemper, 2003; Virmond, 2011). Podemos em alguns casos também aproveitar o calor disponível nas indústrias como por exemplo o calor dos condensadores e dos condensados (Fritzson and Berntsson, 2005; Kapustenko et al., 2008).

Picque (2009) aplicou em laboratório a técnica de variação sequencial do fluxo de ar na maturação do queijo no interior de câmaras de cura. Através do controlo do fluxo de ar de forma sequencial no interior da câmara de maturação de queijo (1/3 do tempo de maturação) com mais de 2/3 do corte do ar conclui que as propriedades do queijo não se alteraram e que se atingia economias de energia desde 41 kWh a 170 kWh dependendo da estratégia aplicada. No seguimento desta investigação a mesma foi alargada à escala industrial e neste caso consegue-se alcançar uma redução do consumo de energia da ordem dos 18% (Mirade, 2012).

Ainda, no seio desta investigação nasceu o projecto Europeu TRUEFOOD financiado pela Comissão Europeia, que teve como objectivo estudar estratégias de gestão do fluxo variável de ar (SAV) no interior de câmaras à escala industrial, com a intenção de manter as características de cor, sabor e aroma idênticas à dos queijos curados mediante fluxo contínuo, e concluíram que as propriedades dos queijos não sofreram alterações e que se obtém as características típicas destes produtos.

Moreno (2006) refere que o processo de secagem de produtos, como os enchidos, presunto e queijo, é o mais dispendioso em termos energéticos e, por conseguinte, é de opinião que uma das possibilidades de reduzir os consumos energéticos consiste em aproveitar as condições do ar exterior ao secador quando estas são adequadas para o processo de secagem que se realiza no

interior do secador. Com este procedimento podem atingir-se poupanças de energia de cerca de 24,7%. De acordo com o mesmo autor, outra técnica possível para reduzir os consumos de energia na secagem de enchidos e presuntos, consiste na utilização de materiais dessecantes ou absorventes que são introduzidos no circuito de circulação de ar que entra no secador dos produtos. Com esta técnica podem obter-se economias de energia de cerca de 50 %. No entanto apresenta a desvantagem de ser muito cara.

Ainda relativo à secagem de presunto, Ortega (2011) apresenta uma técnica relacionada com o tempo de funcionamento das unidades de tratamento do ar, que em condições bem controladas podem estes equipamentos ser desligados durante períodos de tempo controlados, em que a energia é mais cara. Durante a paragem dos equipamentos são garantidas as condições de temperatura e humidade relativa dentro dos parâmetros pretendidos para que não ocorram alterações nos produtos. Neste caso, as condições ambientais internas da câmara de secagem mantem-se devido à acumulação térmica (frio) e ao intervalo dentro dos quais os parâmetros temperatura e humidade relativa podem variar. Com esta técnica consegue-se uma poupança dos custos com a energia eléctrica da ordem dos 5% e uma redução de cerca de 50% no pico da potência eléctrica absorvida.

Igualmente, também em 1991 foram auditados 31 estabelecimentos de carne da mesma região (Sarvisé, 1993). Estes estabelecimentos apresentavam um consumo de 22669 tep dos quais 10337 tep correspondiam a energia eléctrica (45,6%) e o restante 12332 tep, correspondia a energia térmica (54,4%). Após serem aplicadas algumas medidas de poupança de energia - automatização das centrais frigoríficas, melhoramento do isolamento das câmaras de refrigeração e controlo dos processos de descongelamento dos evaporadores - resultou uma economia de energia das instalações frigoríficas de 2058,5 tep/ano, ou seja 19,9% da energia eléctrica consumida. O mesmo autor, realizou igualmente em 1991, na região da Catalunha um estudo a 12 estabelecimentos da fileira dos lacticínios, que totalizava um consumo energético de 11945 tep dos quais 2461 correspondia a energia eléctrica (20,6%). Estas indústrias já possuíam um grau tecnológico evoluído e a economia de energia na área do frio alcançada foi de 2,7% da energia eléctrica. As medidas sugeridas foram a substituição dos sistemas de acumulação de frio que se encontravam instalados (centrais de circuito indirecto), por outros de maior rendimento e a instalação de condensadores evaporativos.

Com base num estudo de 50 auditorias energéticas realizadas a centrais de fruta, da região da Catalunha, que envolveu 818 câmaras de refrigeração, ICAEN (2010) estimou um potencial de poupança de energia total de 5916558 kWh/ano e propõe um conjunto de medidas de eficiência energética, tais como, implementação de condensadores evaporativos (7,2 %), melhoria do funcionamento dos evaporadores (23,9 %), substituição do refrigerante (8,4 %), redução das perdas de frio/calor (10,5%), substituição do processo de descongelamento no evaporador (16,5%) e regulação da velocidade dos motores aplicando variadores de velocidade (33,6%). O tempo médio para retorno do investimento aplicado é de 4,35 anos.

Um estudo similar ICAEN (2009) apresenta também uma série de medidas de eficiência energética e respectivas poupanças de energia eléctrica na fileira da carne, para o frio

industrial. Este estudo é o resultado de auditorias energéticas realizadas em 51 estabelecimentos e 441 câmaras de refrigeração. Os resultados obtidos apontam para um consumo total de energia de 108824 MWh/ano distribuído em 66187 MWh/ano de energia eléctrica (60%) e 42637 MWh/ano de energia térmica (40%). A poupança de energia eléctrica no frio industrial é de 20000,8 MWh/ano, através da implementação de medidas de eficiência energética de diminuição das perdas de frio através de cortinas de ar (22,6%), implementação de condensadores evaporativos (46,7%), alteração dos sistemas de descongelamento dos evaporadores (4,2%), melhoramento do rendimento dos evaporadores - implementação de válvulas electrónicas (23,6%) e alteração do fluido frigorigéneo (2,9%).

Acções de melhoramento da utilização num matadouro são também apresentadas num relatório da Comissão Europeia (EC, 2005). As acções de eficiência energética implementadas contemplam a componente térmica e eléctrica. As principais acções implementadas foram no controlo computadorizado dos consumos de energia eléctrica e de combustíveis, melhoria dos isolamentos, vedação de fugas em ar comprimido, monitorização do tempo de trabalho dos sistemas de refrigeração. O isolamento das válvulas e condutas são monitorizados através de computador para detectar fugas de água quente e de vapor. Foi igualmente instalado um sistema informático com accionamento de alarme, quando as portas das câmaras e dos cais são deixadas abertas. Também foi colocado isolamento nas paredes e nos telhados para proteger o aquecimento ou arrefecimento do exterior. Cerca de 25 a 40 % das perdas de calor são provenientes do lado de fora das paredes do edifício mal isolado. Um bom isolamento permite a redução de tais perdas em cerca de 75%.

Um estudo realizado em 1991, em 31 estabelecimentos de fruta na região da Catalunha, (Sarvisé, 1993), apresenta um consumo total de energia de 4304 tep aos quais corresponde 48848 MWh de consumo de energia eléctrica. Do diagnóstico final foi estimado uma poupança energética de 885,5 tep, correspondendo a aproximadamente 20,5% do consumo da energia eléctrica. As principais medidas de poupança de energia a implementar neste caso: são automatização da central frigorífica; controlo do sistema de descongelamento; instalação de condensadores evaporativos; ampliação da superfície dos evaporadores; instalação de humidificadores electrónicos de alto rendimento; e reparação de paredes das câmaras.

Através dos casos apresentados anteriormente vislumbram-se várias medidas possíveis para aplicar nos sistemas de refrigeração com vista à melhoria da sua eficiência energética. Na tabela 1.2 e 1.3 apresentamos uma síntese das medidas elencadas nesta secção e ainda outras propostas por outros autores.

Tabela 1.2 - Medidas principais de eficiência energética aplicadas aos sistemas de refrigeração

Medidas	Poupança de energia (%)	Referências
Usar sistemas de frio com um único nível de aspiração	↑ Consegue-se até 20% de poupança de energia se tivermos sistemas de refrigeração por nível de aspiração	(Langley, 2009)
Regulação do fluxo volumétrico dos compressores	↑ Economia de energia até 20% nos compressores de parafuso comparativamente aos compressores tradicionais	(CySTE, 2011; Gameiro, 2002); (Defra, 2012); (ICAEN, 2010); (Qureshi, 1996; Tassou, 1998); (Landymore, 2012))
Adequação da potência de projecto	↑ Economia variável	(CySTE, 2011); (Langley, 2009), (Defra, 2012)
Monotorização e controlo da central de frio.	↑ Economia de energia até 9%.	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002) (Defra, 2012), (López, 2005)
Utilização do sub-arrefecimento do fluido frigorígeno	↑ Economia de energia de 1% (média temperatura); 9% (baixa temperatura)	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012)
Redução da temperatura condensação	↑ Economia de energia de 2 a 3% por cada 1°C de redução. Um pequeno aumento da capacidade frigorífica.	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002), (Defra, 2012), (ETSU, 2000), (Little, 1996)
Utilização da pressão de condensação flutuante	↑ Economia de energia até 30%	(Christophe, 2010; Manske et al., 2001; Reindl, 2005)
Utilização de condensadores bem dimensionados	↑ Um aumento de 10 °C da temperatura de condensação proporciona um aumento do consumo de energia de 30%.	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012), (ETSU, 2000), (Little, 1996)
Redução do superaquecimento	↑ Economia de energia de 1 a 1,5%	(Garcia and Rubio, 2002); (Langley, 2009)
Utilização de válvulas electrónicas	↑ Economia de energia até 20%	(CySTE, 2011); (Defra, 2012) (EECA; 2010);
Aumento da temperatura de evaporação de aspiração	↑ Economia de energia de 1 a 4 % para cada 1°C de aumento. Aumento da capacidade frigorífica do compressor de 4 a 6%.	((CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012), (ETSU, 2000)
Comprimir o vapor do fluido frigorígeno em várias etapas, em temperaturas negativas	↑ Economia de energia até 25%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012)
Reduzir as perdas de transporte do fluido frigorígeno na linha de sucção (diâmetro da tubagem maior)	↑ Economia de energia de 1,5 a 2,5%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012)
Regulação da velocidade dos motores, com frequência variável (VFD) - Variable Frequency Drives.	↑ Economia de energia de cerca de 30 a 70%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012) (López, 2005) (Victoria, 2009; Widell, 2010)
Utilização de condensadores evaporativos	↑ Economia de energia de 6 a 12% do total da energia consumida	((CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012) (EREN, 2008) (Hajidavalloo e Eghtedari, 2010; ICAEN, 2009; López, 2005)
Utilização do nível óptimo da carga de refrigerante	↑ Economia de energia 1 a 4%	((CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012)
Diminuição das más práticas de operação das câmaras de refrigeração	↑ Economia de energia 4 a 8%	(CySTE, 2011); (Langley, 2009); (Defra, 2012)
Mudança de refrigerante tradicional por ecológico	↑ Economia de energia 10 a 15 %	(CySTE, 2011); (Langley, 2009), (Gameiro, 2002; ICAEN, 2010; Pagan et al., 2004)
Substituição do sistema de refrigeração, com mais de 10 anos	↑ Até 30-40%	EECA, 2010)

Tabela 1.3 - Medidas genéricas de eficiência energética

Medidas	Poupança de energia (%)	Referências
Utilização de bom isolamento nas câmaras de refrigeração e espessuras adequadas	↑ Economia de energia de 1 a 5%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Garcia e Rubio, 2002), (Langley, 2009)
Substituição de compressores de pistão por rotativos (scroll)	↑ Economia de energia de 6 a 16%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012), (Langley, 2009)
Redução das cargas térmicas dos produtos	↑ Economia variável	(James, 1996)
Descongelamento do evaporador regular e se possível com gás quente	↑ Economia de energia de 5 a 10% em relação à energia gasta na refrigeração	(Manske et al., 2001) (ICAEN, 2009, 2010)
Substituição de motores eléctricos por outros de alta eficiência	↑ Economia de energia 3 a 15%	(CySTE, 2011); (Gameiro, 2002); (Defra, 2012; EC, 2003, 2006)
Manutenção das portas fechadas e com boas vedações. Utilizar cortinas de ar ou plásticas ou portas giratórias.	↑ Economia de energia até 10%	((CySTE, 2011); (Gameiro, 2002), (Defra, 2012), (ICAEN, 2010), (López, 2005)
Instalação de sensores de presença para iniciar a iluminação	↑ Economia de energia de 0,16% da energia total consumida	(ICAEN, 2009)
Implementação de um plano de gestão energética	↑ Economia de energia de 13% da energia total consumida	(López et al., 2005)
Utilização de um bom isolamento das envolventes e coberturas	↑ Economia de energia de 1 a 3%	(Garcia e Rubio, 2002)
Arrefecimento do óleo de lubrificação dos compressores de parafuso	↑ Economia de energia de 3% a 10%	(Reindl, 2005), (Victoria, 2009)
Realização de uma manutenção programada aos sistemas de refrigeração	↑ Economia de energia entre 4 a 8%	((Reindl, 2005), (Victoria, 2009)) (CE, 2006)
Recuperação do calor de condensação	↑ Economia de energia de 12%	(López et al., 2005)
Usar bomba de calor quando adequada aos processos produtivos	↑ Economia de energia de 8,6%	(López et al., 2005)
Substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compacta	↑ Economia de energia de 70 a 80%	(ICAEN, 2009)
Controlo e regulação do ar comprimido	↑ Economia do consumo eléctrico de 30% do sistema numa gama de regulação de 80 a 85%.	(ICAEN, 2009)
Isolamento da conduta de sucção	↑ Economia de energia 1 a 4%	(Garcia e Rubio, 2002)

1.3.3. Trabalhos relacionados com indicadores de consumo de energia

A avaliação do desempenho energético ou a eficiência energética dos estabelecimentos de fabrico de produtos alimentares pode ser efectuada 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 (Reindl, 2005).

Para a realização de uma avaliação de *benchmarking* é usual utilizar-se indicadores de consumo específico de energia que geralmente são definidos pelo quociente entre o consumo de energia durante a realização de um determinado processo (eléctrico ou térmico) e uma grandeza física (matéria-prima, produção, temperatura, entre outros) (Ramirez, 2006; Ramírez et al., 2006b; Xu and Flapper, 2009) ou monetária (custos da energia) (Reindl, 2005).

Segundo Reindl (2005), esta análise, também designada como “análise de desempenho normalizado”, é um processo formal destinado a eliminar ou minimizar a influência de uma ou mais variáveis não controladas que exercem influência sobre a medida de desempenho. A normalização permite que os dados do desempenho, obtidos em condições diferentes, possam ser comparados de forma consistente e significativa. O processo de normalização também permite que os investigadores possam identificar os factores que podem estar a contribuir para o uso excessivo consumo de energia. A mudança do indicador normalizado indica uma alteração no desempenho do sistema. Esta alteração pode ser útil na avaliação dos resultados e esforços para melhorar a eficiência energética. Uma mudança inesperada é uma indicação de uma alteração no desempenho do sistema, ou uma resposta do sistema relativamente a factores que afectam a utilização de energia.

Na bibliografia encontram-se alguns estudos que apontam no sentido de que esta técnica é adequada para avaliação do potencial de poupança de energia e para ajudar a implementação das melhores práticas de eficiência energética. Entre estes, salientam-se os trabalhos apresentados por Helgerud e Sandbakk (2009) e Sandberg (2003), que identificaram um potencial de poupança de energia de cerca de 20% no sector da alimentação e bebidas, o primeiro na Noruega e o segundo na Suécia.

Por sua vez Xu e Flapper (2010) identificaram grandes variações dos consumos específicos de energia entre estabelecimentos de lacticínios (leite em pó, leite concentrado, manteiga e outros produtos lácteos) de vários países e referem que os indicadores mais altos podem ser reduzidos entre 50 a 80 %, mediante a alteração de tecnologias, gestão da energia, boa manutenção, desligar luzes.

Quanto às fileiras que são objecto de análise nesta tese, Moreno (2006) refere que o consumo específico de energia total (eléctrica mais térmica) para a produção de carne fresca passou de 315 kWh/ton.carcaça em 1996 para 300 kWh/ton.carcaça em 2001, o que representa uma diminuição do consumo de energia, embora se tenha que ter em conta o tipo de espécie animal abatida. No que respeita aos produtos transformados (salsicharias) o consumo específico de energia total manteve-se na ordem dos 767 kWh/ton.

EREN (2008) apresenta no relatório, “*Plano de Assistência Energética no sector cárnico*”, que em Espanha, no processo de fabrico de presunto, o consumo de energia térmica e eléctrica rondam os 500 kWh/ton. e 480 kWh/ton., respectivamente.

Os matadouros são os estabelecimentos de produção de carne que utilizam a energia eléctrica e energia térmica no processo de fabrico. Estes estabelecimentos utilizam energia, nomeadamente a eléctrica mesmo quando a produção não ocorre. Tal verifica-se na fase de conservação da carne no interior das câmaras de refrigeração, tal como foi investigado na Noruega (States,

2001). Num matadouro norueguês, a energia consumida durante o abate de uma ovelha foi medida como sendo igual a 356 kWh/ton.ovelha (carcaça) e a média anual foi calculada em 1256 kWh/ton.ovelha (carcaça). Isso demonstra a importância da implementação de técnicas de poupança de energia, mesmo fora do horário de abate (States, 2001).

Em 1991, um estudo realizado no Reino Unido, destacou que o consumo médio específico de energia eléctrica (IEEE) para grandes matadouros que realizam o abate de animais, a refrigeração e algum congelamento foi de 85 kWh/ton.carcaça, valor este compreendido no intervalo de 36-154 kWh/ton.carcaça (EC, 2005). A utilização de energia não é apenas na forma de electricidade. No estudo de 1991 no Reino Unido tiveram em atenção outras formas de energia, e para o efeito usaram outro indicador para o consumo específico de combustível de aquecimento ($IEE_{combustiveis}$), definido como toneladas de combustível compradas para processar uma tonelada de carne, para padronizar a sua medição. Neste caso, 85% dos estabelecimentos envolvidos no estudo apresentaram um valor para este indicador de 440 kWh/ton.carcaça, com uma média de 322 kWh/ton.carcaça. Na Itália, os matadouros de suínos têm uma energia total (IEE_{total}) de consumo compreendida entre 280 a 380 kWh/ton.carcaça, dos quais 1/3 utiliza energia eléctrica e os restantes 2/3 energia térmica (EC, 2005). A informação disponível sugere que a generalização não pode ser feita sobre as operações unitárias do uso de energia eléctrica e que usam outras fontes. O estudo de 1991 revelou que os estabelecimentos na Irlanda do Norte tiveram IEE_{totais} mais elevados do que aqueles na Grã-Bretanha o que foi atribuído ao facto de que todas as instalações da Irlanda do Norte estarem licenciadas ao abrigo das regras da Comunidade Europeia. Os níveis de consumo mais elevados foram atribuídos ao consumo de energia eléctrica associada com as exigências de refrigeração imposta pela legislação comunitária. A melhor prática relatada por matadouros foi de 36 kWh/ton.carcaça (embora deva ser notado que a temperatura usada nas instalações de arrefecimento dos produtos de carne não foi investigado). O melhor $IEE_{combustiveis}$ (5,86 kWh/ton.carcaça) encontrado foi de um matadouro que usava uma instalação de digestão anaeróbia para produção de biogás a partir de resíduos sólidos de matadouros: apenas uma pequena quantidade de combustível foi necessária para completar o combustível produzido no local (EC, 2005).

Em termos de distribuição do consumo de energia eléctrica num matadouro de bovinos da Dinamarca (EC, 2005), a média dos consumos apresenta a seguinte relação: sistema de refrigeração 45%; sistema de ar comprimido 10%; iluminação 10%; maquinaria 10 %; ventilação 5% e finalmente outros 20%.

Nos matadouros, a refrigeração é o principal consumidor de electricidade sendo os seus consumos cerca de 55 a 75% (MLA, 2009). Nos matadouros há ainda um grande número de motores eléctricos que accionam o equipamento auxiliar, incluindo os ventiladores do evaporador e do condensador, bombas do condensador evaporativo, bombas de amoníaco, bombas de glicol, unidades de tratamento de ar e outros. Comparativamente, num sistema refrigeração, a maioria da energia é utilizada por compressores de refrigeração (MLA, 2009).

O relatório da UNEP (2000) refere que cerca de 80-85% da energia total consumida nos matadouros é fornecida por energia térmica a partir da combustão de combustíveis em caldeiras

no local. A energia térmica é usada para aquecer a água para a limpeza, esquentar os suínos, renderização, coagulação e secagem do sangue. Os restantes 15-20% da energia são fornecidos por electricidade, que é usada pelos equipamentos que trabalham durante o abate e nas áreas de desossa, para o processamento de subprodutos, e para refrigeração e ar comprimido. Os valores típicos do consumo de energia total (IEE_{total}), situa-se entre 333 kWh/ton. a 1334 kWh/ton., de carcaça quente padrão.

A MLA (2008) no relatório, "*Red Meat Processing Industry Energy Efficiency*", apresentou os resultados do estudo dos consumos de energia a 12 matadouros para avaliar os consumos de energia e o potencial de poupança de energia possível neste tipo de estabelecimentos. Concluíram que o consumo médio total de energia por estabelecimento foi de 935,6 kWh/ton.carcaça. Os resultados deste estudo também permitiram concluir que de 1998 a 2008 registou-se uma melhoria da eficiência energética de 1,3% e que o potencial de poupança de energia que ainda é possível alcançar, encontra-se compreendido entre 15 a 60%. Também concluíram que apesar do consumo de energia térmica ser da ordem 70% do consumo total (IEE_{total}), verificaram uma grande diferença dos consumos nos diferentes matadouros. Por outro lado, também constataram, que apesar do consumo térmico ser superior, os custos com a electricidade representam em média 65% dos custos de energia totais (30% do total do consumo de energia) (MLA, 2009).

Na bibliografia, encontramos poucos indicadores de consumo específico de energia e os que são públicos são apresentados em relatórios, geralmente como resultado de auditorias energéticas.

Para a fileira da carne encontramos valores do indicador consumo específico de energia (eléctrica e térmica) nos trabalhos de COWI (1999), OME (1999), Canales e Vidal (2005), EREN (2008), FEI (2002), IFC, 2007a, b) e UNEP (2000).

Para a fileira dos lacticínios, encontramos indicadores específicos de consumo de energia, para o fabrico do queijo, nos trabalhos apresentados por Flapper (2009), IFC (2007a), Joyce e Burgi (1993), PIEEP (2000) e Wardrop (1997).

Para o caso das frutas os valores encontrados na literatura são muito escassos conforme se pode constatar na tabela 1.6.

Nas tabelas 1.4, 1.5, e 1.6 apresentamos o resumo dos valores de consumos de específicos de energia eléctrica ($IEEE$) de combustíveis ($IEE_{combustiveis}$) e total (IEE_{total}) para a fileira da carne, lacticínios e das hortofrutícolas, respectivamente.

Constatamos assim que existem diferentes valores de consumo de energia para realizar a mesma actividade. Dentro das indústrias alimentares existem vários factores que influenciam os processos, tais como condições ambientais, características, espécies animais, características e idade da tecnologia, podendo estas apresentar pequenas variações de país para país e por conseguinte é aceitável algumas divergências dos valores apresentados.

Tabela 1.4 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira da carne

País	Ano	Indicadores Específicos de Energia	Referências
Espanha	2001	IEEE*= 124 kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis**= 176 kWh/ton.carçaça IEEtotal ***= 300 kWh/ton.carçaça	(Moreno, 2006)
Espanha	2001	IEEE= 289,4 kWh/ton.transformadas IEEcombustiveis= 477 kWh/ton.transformadas IEEtotal= 766,4 kWh/ton.transformadas	(Moreno, 2006)
Noruega	2001	IEEtotal= 757 kWh/ton.carçaça	(Moreno, 2006)
Austrália	2003	IEEtotal= 944,4 kWh/ton	(Beattie e Barton, 2002)
Austrália	2008	IEEE= 271,4 kWh/ton IEEcombustiveis= 664,2 kWh/ton IEEtotal = 935,6 kWh/ton	(MLA, 2009)
Canadá	1999	IEEE= 70 a 300 kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis= 138 a 250 kWh/ton.carçaça	(UNEP, 2000)
Canadá	1999	IEEE= 70 a 250 kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis= 55,5 a 138 kWh/ton.carçaça	(UNEP, 2000)
Espanha	2000	IEEE= 55 a 193 kWh/ton.carçaça IEEmédio= 155 kWh/ton.carçaça	(Canales e Vidal, 2005)
Reino Unido	2000	IEEE= 36 a 154 kWh/ton.carçaça	(UNEP, 2000)
Itália	2005	IEEE= 94 a 127 kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis= 186 a 253 kWh/ton.carçaça IEEtotal = 280 a 380 kWh/ton.carçaça	(Canales e Vidal, 2005)
Valores tipicos	2000	IEEtotal= 333 a 1335 kWh/ton.carçaça	(UNEP, 2000)
Dinamarca	1999	IEEtotal= 125 kWh/animal (Matad. Tradicional) IEEtotal= 50 kWh/animal (Matad. Média tecnologia) IEEtotal= 30 kWh/animal (Matad. Alta tecnologia)	(COWI, 1999)
Valores tipicos	2005	IEEtotal= 90 a 1094 kWh/ton.bovino IEEtotal= 110 a 760 kWh/ton.suino IEEE= 922 a 1839 kWh/ton.ovelha	(EC, 2005)
Valores de Benchmarking	2007	IEEtotal= 90 a 1094 kWh/ton.bovino	(IFC, 2007b)
Valores de Benchmarking	2007	IEEtotal= 110 a 760 kWh/ton.suino	(IFC, 2007b)
Africa do Sul		IEEtotal= 258,3 a 1407 kWh/ton	(Murray, 2010)
Irlanda	2002	IEEE= 310 a 740 kWh/ton.suino IEEcombustiveis= 360 a 600 kWh/ton.suino	(FEI, 2002)
Irlanda	2002	IEEE= 180 a 220 kWh/ton. bovino IEEcombustiveis = 160 a 220 kWh/ton.bovino	(FEI, 2002)
Irlanda	2009	IEEE= 117 kWh/ton.cabeça de bovino IEEcombustiveis = 132 kWh/ton.cabeça de bovino	(EI, 2009)
Espanha	2008	IEEE= 500 kWh/ton.presunto IEEcombustiveis= 400 kWh/ton.presunto	(EREN, 2008)
Filândia	2002	IEEE= 750 a 1300kWh/ton.prod.transformado IEEcombustiveis=450 a 1240 kWh/ton.prod.transformado	(Toresen, 2001)
Filândia	2002	IEEE= 180 a 740 ⁽¹⁾ kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis= 160 a 1000* kWh/ton.carçaça	(FEI, 2002) ⁽¹⁾ valores para a transformação de carne
Espanha	2008	IEEtotal= 500 kWh/ton.carçaça IEEtotal= 42 kWh/ton.carne desmacha IEEtotal= 1920= kWh/ton. transformada	(ICAEN, 2009)
Espanha	2005	IEEE= 197 kWh/ton.carçaça	(López et al., 2005)
Espanha	2005	IEEE= 460 kWh/ton.transformada	(López et al., 2005)
Países da OECD	2010	IEEE= 139 kWh/ton.carçaça IEEcombustiveis= 250 kWh/ton.carçaça	(Unido, 2010)

Notas:

*IEEE-Indicador específico de energia eléctrica (kWh/ton; kWh/l)

**IEEcombústiveis- Indicador específico de energia dos combustíveis (kWh/ton; kWh/l)

***IEEtotal= IEEE+IEEcombustiveis

Tabela 1.5 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira dos laticínios (queijo)

País	Ano	Indicadores Específicos de Energia	Referências
Argentina	2000	IEEE= 35 kWh/Kl.leite IEEE= 298 kWh/ton.queijo	(PIEEP, 2000)
Canadá	1997	IEEE= 100 kWh/Kl.leite	(Wardrop, 1997)
Austrália	2004	IEEtotal= 108 a 208 kWh/Kl.leite	(Prasad, 2004)
Austrália e outros países	1982	IEEE= 210 kWh/ton.queijo IEEcombustíveis= 1210 kWh/ton.queijo IEEtotal= 1420 kWh/ton.queijo	(Joyce e Burgi, 1993)
Países Nórdicos	2001	IEEtotal (Sweden)= 150 a 340 kWh/Kl.leite IEEtotal (Denmark)= 120 a 180 kWh/Kl.leite IEEtotal (Finland)= 270 a 820 kWh/Kl.leite Energia IEEtotal (Norway)= 210 kWh/Kl.leite	(Korsström e Lampi, 2001)
Indústria de Espanha	2005	IEEE= 39 a 448 kWh/Kl.leite IEEcombustíveis= 25 a 884 kWh/Kl.leite IEEtotal= 64 a 1332 kWh/Kl.leite	(Canales e Vidal, 2005)
Indústrias da Europa	2007	IEEE= 60 a 820 kWh/Kl.leite	(IFC, 2007a)
Valor de Benchmarking	2007	IEEE= 200 a 300 kWh/Kl.leite	(IFC, 2007a)
África do Sul	2010	IEEE= 70 a 260 kWh/Kl.leite	(Murray, 2010)
Europa	2009	IEEtotal = 500 a 17972 kWh/ton.queijo	(Flapper, 2009)
África do Sul	2010	IEEtotal = 305 a 2527 kWh/ton.queijo	(Murray, 2010)
Polónia	2008	IEEE= 67,41 kWh/Kl.leite IEEcombustíveis= 620 kWh/Kl.leite IEEtotal=844,4 kWh/Kl.leite	(Wojdalski, 2008)
Países do Mediterrâneo	2001	IEEE= 50 kWh/Kl.leite IEEcombustíveis= 120 kWh/Kl.leite IEEtotal= 170 kWh/Kl.leite	(UNEP, 2002)
Países da OECD	2010	IEEE= 60 kWh/Kl.leite IEEcombustíveis= 375 kWh/Kl.leite	(Unido, 2010)
Indústrias de laticínios da Europa	2002	IEEE= 22,2 a 805 kWh/ton.leite IEEcombustíveis= 41,6 a 1277 kWh/ton.leite IEEmédio total= 16,6 a 577,7 kWh/Kl.leite	European Dairy Association, 2002

Nota: 1 tonelada de queijo é aproximadamente 5600 litros de leite.

Tabela 1.6 - Indicadores de consumo específico de energia para a fileira das Hortofrutícolas

País	Ano	Indicadores Específicos de Energia	Referências
USA	1986	IEEE=1440 kWh/ton	(Singh, 1986))
África do Sul	2010	IEEE=338,6 a 618 kWh/ton	(Murray, 2010)
Espanha	2010	IEEE=77,4 kWh/ton	(ICAEN, 2010)
Espanha	2005	IEEE= 40 kWh/m3	(López et al., 2005)
Global	2003	IEEE= 30 a 50 kWh/m3	(Billiard, 2003)

1.3.4. Trabalhos relacionados com os estabelecimentos de armazenamento de produtos

O aumento dos consumos de energia eléctrica proporcionado pela elevada utilização dos sistemas de refrigeração, no armazenamento de produtos alimentares no estado refrigerado ou congelado tem merecido uma forte preocupação por parte dos investigadores.

Encontram-se estudos que analisam os consumos de energia nos estabelecimentos frigoríficos, como o de Poulsen (1986) e Singh (2008) que avaliaram os efeitos da temperatura de armazenamento, a temperatura ambiente e do volume de armazenagem sobre o consumo de energia eléctrica de um estabelecimento frigorífico e concluíram que estas variáveis têm uma forte influência sobre os consumos de energia. No mesmo sentido encontramos os trabalhos de Bosma (1995), Elleson e Freund (2004) e ETSU (1994) que analisaram o consumo da energia eléctrica em diferentes estabelecimentos frigoríficos, localizados em vários lugares do Mundo e estimaram valores de consumo específico para os estabelecimentos desses locais, e que se apresentam na tabela 1.7.

Faramarzi et al. (2002) refere que os sistemas de refrigeração dos estabelecimentos frigoríficos são responsáveis por mais de 70% do consumo de energia total. Segundo o autor, o desempenho do equipamento de refrigeração numa instalação de armazenamento pode beneficiar de soluções de eficiência energética, reduzindo assim os consumos de energia e melhorando a segurança alimentar proporcionando temperaturas desejáveis de conservação. Neste sentido, apresenta o estudo de eficiência energética de uma instalação frigorífica de um estabelecimento na Califórnia. A instalação foi submetida às seguintes intervenções: i) delimitação da área da doca de carregamento; ii) implementação de arrefecimento eficiente com desumidificação dessa zona para reduzir a carga térmica no interior do cais; iii) construção de novos equipamentos de frio com o melhor estado da arte disponível, contemplando um sistema avançado de controlo; iv) pressão de condensação flutuante; v) sub-arrefecimento dos evaporadores; vi) instalação de condensadores de alta eficiência (evaporativos) e motores com velocidade variável. Estas intervenções permitiram reduzir o consumo diário de energia em mais de 5% e reduzir o pico da potência absorvida em mais de 5% e aumentar a área de arrefecimento em 17%. Acresce ainda que o sistema de refrigeração passou a operar com pressões de aspiração mais altas e pressões de condensação mais baixas. As novas instalações permitem atingir a poupança diária de 102 kWh.

Em relação ao armazenamento em frio para conservação, Werner (2005) refere que a indústria de armazenamento na nova Zelândia conta com 460 estabelecimentos frigoríficos e apresenta um consumo de 571 GWh por ano, representando 5,2% da energia eléctrica gasta no sector indústria. A economia alcançada no conjunto do armazenamento de alimentos (refrigeração, congelação e misto) se todos os armazéns alcançassem o melhor consumo de referência, foi estimada em 22% ou seja, 125 GWh. O potencial de poupança de energia eléctrica para as categorias de armazenamento no estado refrigerado, misto e congelado seria de 26%, 23% e 15%,

respectivamente. O mesmo autor desenvolveu um conjunto de correlações preditivas para estimar o consumo de energia eléctrica de um equipamento de armazenamento de frio com base nos principais parâmetros do estabelecimento. O consumo de energia real para aquele estabelecimento foi de pelo menos 35% maior do que o previsto, sugerindo que se encontravam aí oportunidades significativas para melhorar a eficiência energética.

Para aferir o consumo específico de energia eléctrica em estabelecimentos refrigerados, na Califórnia Singh (2008) desenvolveu uma ferramenta de *benchmarking* baseado na Web para comparar o uso de energia eléctrica de um estabelecimento com base no levantamento de informação em vários estabelecimentos. Esta ferramenta de *benchmarking* permitiu comparar o desempenho energético entre estabelecimentos. Sendo uma ferramenta cuja informação foi recolhida em inquéritos, a mesma apresenta algumas limitações, como por exemplo, não inclui os efeitos das condições meteorológicas locais ou das condições de entrada dos produtos. Além disso, esta ferramenta também nada diz sobre os melhores valores possíveis, ou seja, mais eficientes sobre o consumo de energia que os estabelecimentos devem poder vir a alcançar.

Os estudos anteriores são baseados na determinação e uso do indicador do valor consumo específico de energia eléctrica por unidade de volume do espaço refrigerado (CEEV) para representar a eficiência energética de um estabelecimento. Neste caso considera-se que todo consumo de energia decorre da operação das câmaras frigoríficas do estabelecimento e que esta é de natureza eléctrica. O indicador CEEV é definido como,

$$CEEV = \frac{\text{Consumo anual de energia eléctrica}}{\text{Volume de armazenagem}} \quad \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad (1.1)$$

Estudos realizados em diversas câmaras frigoríficas industriais localizados na Europa, Nova Zelândia e EUA mostram que o valor de CEEV pode variar muito, neste caso, entre 19 kWh/m³ a 379 kWh/m³, conforme se pode observar na Tabela 1.7. Sobre este indicador, também Duiven e Binard (2002) estimaram que os estabelecimentos frigoríficos apresentavam um consumo de energia eléctrica com valores compreendidos entre 30 e 50 kWh/m³/ano.

Tabela 1.7 - Visão geral dos estudos de benchmarking de estabelecimentos frigoríficos

Lugar	Nova Zelândia ¹	Reino Unido ²	Holanda ³	Centro Oeste dos EUA ⁴	Califórnia ⁵
Número de instalações de refrigeração analisadas	34	-	56	11	28
Volume de armazenamento (m ³)	4640-93221	4000-230000	60000*	32000-210000	20000-171000
CEEV (kWh/m ³)	26-379	34-124	35*	19-88	15-132

¹Werner (2005); ²ETSU (1992); ³Bosma (1995) ⁴Elleson (2004); ⁵Singh(2006); *Média

De acordo com Swain (2006) no Reino Unido o consumo anual de energia eléctrica no sector do armazenamento é de 900 GWh/ano sendo expectáveis poupanças da ordem dos 20 a 40%, com a aplicação de medidas de eficiência energética. Destaca ainda que, entre 1994 e 2006 já ocorreu uma redução de 7,5% no consumo anual de energia no sector e que os estabelecimentos mais eficientes utilizam cerca de menos de 78% de energia em relação aos menos eficientes.

Na Nova Zelândia, num estabelecimento de armazenamento de frio Brown e Lewis (2006) estudaram um conjunto de medidas de eficiência energética com vista a reduzir os consumos de energia. O estudo centrou-se em três áreas de oportunidade: i) pressão de condensação; ii) opções de controlo da pressão de aspiração; iii) controlo de velocidade nos ventiladores. No final, o estudo contabilizou um potencial de redução do consumo de energia em cerca de 9,5% do consumo anual do estabelecimento.

Também Evans (2007) estudou três estabelecimentos de armazenamento de frio, no Reino Unido. No estudo, efectua uma comparação entre os consumos de energia eléctrica e as cargas térmicas nos três estabelecimentos. O consumo de energia eléctrica de cada estabelecimento foi comparado com a carga térmica calculada, dividida pelo coeficiente de desempenho do sistema de refrigeração. Este foi calculado para cada ambiente, sob condições de funcionamento estáveis e incluiu o consumo de energia dos compressores e dos ventiladores, dos evaporadores e dos condensadores. Como conclusões do estudo, destaca-se que em relação às cargas térmicas as mais significativas são, por ordem de valores, as de transmissão de calor através das paredes, seguido das cargas fixas (ventiladores dos evaporadores), depois as de infiltrações através das portas e finalmente a temperatura dos produtos. Em relação à carga térmica de condução de calor através das paredes seriam alcançadas poupanças de energia da ordem de 35%, 47% e 67% se a espessura das paredes passasse de 122,5 mm (espessura inicial) para 203 mm, 245 mm e 330 mm, respectivamente. Sobre as cargas térmica fixas (Ventiladores e degelo), pouco se pode fazer, segundo o autor, a não ser conseguir manter o ventilador mais tempo parado. Relativamente à carga térmica de infiltração de ar pelas portas, o autor adianta que poderia ser conseguida uma poupança de energia eléctrica de cerca de 47% a 59% se fosse instalado uma protecção das portas (e.g., cortina com fitas de plástico, cortina de ar, portas rotativas). Em relação ao desempenho real (CEEV) dos três estabelecimentos frigoríficos analisados neste estudo, os resultados obtidos foram de 57,3 kWh/m³, 71,1 kWh/m³ e 57,9 kWh/m³, respectivamente.

Em 2006, o Departamento de Governo do Reino Unido para o Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais (DEFRA) financiou um projecto para "identificar, desenvolver e estimular o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de refrigeração mais eficientes em termos energéticos e práticas de negócios para uso em toda a cadeia de alimentos sem comprometer a segurança e qualidade dos alimentos (James, 2009). O programa de pesquisa envolveu três tópicos: i) avaliação dos consumos de energia; ii) identificação de novas tecnologias energeticamente eficientes; iii) estudos de viabilidade sobre tecnologias promissoras. As dez tecnologias de refrigeração consideradas prioritárias no estudo foram a refrigeração na venda a retalho, refrigeração em catering, transportes refrigerados, armazenamento a frio,

arrefecimento nas refeições prontas, congelamento de batata quente, arrefecimento do leite, processamento de lacticínios (queijo), armazenamento de batata e finalmente o arrefecimento de carcaças. Detalhes destes processos são apresentados por Swain (2006).

Os padrões de consumo de energia das câmaras de conservação de alimentos de estabelecimentos frigoríficos foram avaliados por Singh (2008). O estudo contemplou três objectivos: desenvolvimento de um inquérito para recolha de informação; levantamento do tipo de tecnologias de conservação de energia; desenvolvimento de uma ferramenta de *benchmarking* baseada na Web para recepção de dados e fornecer informação aos operadores dos estabelecimentos para melhorar a sua eficiência energética. O estudo contou com 42 respostas ao inquérito e conclui que o consumo específico de energia do estabelecimento frigorífico diminui com o aumento da dimensão do estabelecimento, de acordo com a equação (1.2):

$$CEEV_{Prático} = 38,978 (Volume\ do\ espaço\ refrigerado)^{-0,2275} \quad (1.2)$$

As unidades do $CEEV_{Prático}$ são em kWh/m³. Neste estudo foi ainda construída uma ferramenta de apoio, baseada na web para os operadores poderem comparar os seus consumos com um valor de *benchmarking*, dado pela equação (1.3). Esta equação resultou da equação das melhores práticas (eq.1.2) com a subtracção do erro padrão obtido da análise da curva da regressão:

$$CEEV_{Benchmarking} = 38,978 (Volume\ do\ espaço\ refrigerado)^{-0,2275} - 0,1581 \quad (1.3)$$

Os resultados obtidos no estudo são consistentes com os obtidos noutros estudos realizados na Nova Zelândia, Países Baixos, Reino Unido e Estados Unidos da América, e que são apresentados na Tabela 1.7.

No mesmo trabalho, são apresentadas nove medidas de poupança de energia que a ser aplicadas naquele tipo de estabelecimentos frigoríficos, podem contribuir para a melhoria da eficiência energética. As medidas avançadas são as seguintes: i) substituição do isolamento; ii) arrefecimento dos telhados ou coberturas; iii) utilização de tecnologias eficientes de iluminação; iv) utilização de condensadores evaporativos; v) arrefecimento do óleo do termostato; vi) implementação de um mecanismo automático de controlo do sistema de refrigeração; vii) utilização de variadores de velocidade nos ventiladores do condensador e do evaporador; viii) pressão de condensação flutuante; ix) instalação de sensores nas portas. Com a aplicação destas medidas, no seu conjunto, consegue-se melhorias de consumos de energia compreendidas entre 22% a 74%.

Também com o objectivo de desenvolver uma ferramenta de *benchmarking* baseado na web Prakash (2008) constrói um modelo que prevê as cargas térmicas e o uso de energia de um estabelecimento de frio, numa base mensal ou anual. Fundamentalmente o trabalho consistiu em três passos: no primeiro realiza-se a determinação das cargas térmicas do armazém refrigerado relativo a todas as fontes possíveis, tais como as paredes, infiltração de ar quente através das

portas, actividade das pessoas, actividade das empilhadoras, entrada de produtos, luzes, ventiladores do evaporador e descongelamentos; no segundo calcula-se a energia eléctrica utilizada pelos sistemas de refrigeração para remover os ganhos de calor no armazenamento, e finalmente o terceiro passo consistia na quantificação dos consumos de energia eléctrica de todos os equipamentos do armazém para obtenção do consumo total de energia eléctrica gasta no estabelecimento. A ferramenta permite que o utilizador possa inserir os dados básicos, tais como, localização, dimensão do tamanho do estabelecimento e as condições de funcionamento. Como resultado a ferramenta gera estimativas do consumo eléctrico e os valores de referência do CEEV.

Este estudo permite concluir que: i) é possível estimar o consumo de energia eléctrica num estabelecimento de congelados usando o balanço teórico das cargas térmicas e que os valores teóricos de CEEV e os valores reais diferiram apenas 11% num estabelecimento de congelados que foi seleccionado para validação; ii) o sistema de iluminação, afecta os valores CEEV substancialmente. Uma iluminação mais eficiente melhora o CEEV em 20% - utilizando os níveis de iluminação de 8 W/m^2 em vez de 10 W/m^2 , o CEEV pode ser reduzido em $2,30 \text{ kWh/m}^3 (\pm 10\%)$; iii) a energia térmica da carga do produto pode afectar substancialmente o CEEV. Se todos os produtos entram no interior do estabelecimento a uma temperatura 20°C superior à temperatura de conservação, o CEEV pode aumentar cerca de 60%; iv) comparando com outras cargas térmicas, a carga correspondente às infiltrações é geralmente pequena. Ela contribui com menos do que 5% ao valor total do CEEV. O modelo desenvolvido foi implementado em FlashTM (Adobe Systems Inc.), em ambiente informático para poder ser acessível via on-line pelos proprietários, para eles poderem simular os seus dados dos estabelecimentos.

Evans et al. (2013) apresenta o trabalho designado ICE-E (Improving Cold Storage Equipment in Europe) destinado à criação de ferramentas que visam a redução do consumo de energia e a emissão dos gases com efeito de estufa da indústria do frio através da aplicação de equipamentos mais eficientes, tendo em conta as normas de energia e ambientais da EU. O projecto teve um conjunto de iniciativas técnicas que incluíram: i) benchmarking; ii) auditorias a estabelecimentos frigoríficos; iii) análise de informação; iv) utilização de modelos matemáticos; v) programas de educação e divulgação e finalmente, vi) aconselhamento financeiro para identificar e aplicar as iniciativas com consumos de energia eficientes.

Os principais dados recolhidos foram a temperatura do ponto de controlo (set-point), a área útil e o volume de armazenamento, a quantidade de produtos e o consumo anual de energia. Ao todo foram recolhidos dados em 329 câmaras frigoríficas e envolveu 21 países europeus incluindo Portugal.

Os volumes dos estabelecimentos refrigerados, congelação e mistas ficaram compreendidos entre os valores de 57 a 225000 m^3 , 100 a 291280 m^3 e 9100 a 180000 m^3 , respectivamente.

Em resultado das auditorias foram identificadas 21 deficiências que depois de corrigidas podem contribuir para a melhoria da eficiência energética dos estabelecimentos de produtos refrigerados e congelados. Em geral, em cada estabelecimento foram identificadas entre 2 a 12 deficiências. Também foram identificados os níveis de poupança que se podem alcançar. O

potencial de economia de energia foi encontrado em todas os estabelecimentos auditados, e o nível total de economia variou entre 8-72% do consumo anual de energia eléctrica. Na figura 1.6 apresentam-se as deficiências detectadas nos estabelecimentos (lado esquerdo) e o potencial de poupança de energia correspondente à correcção dessa deficiência (lado direito).

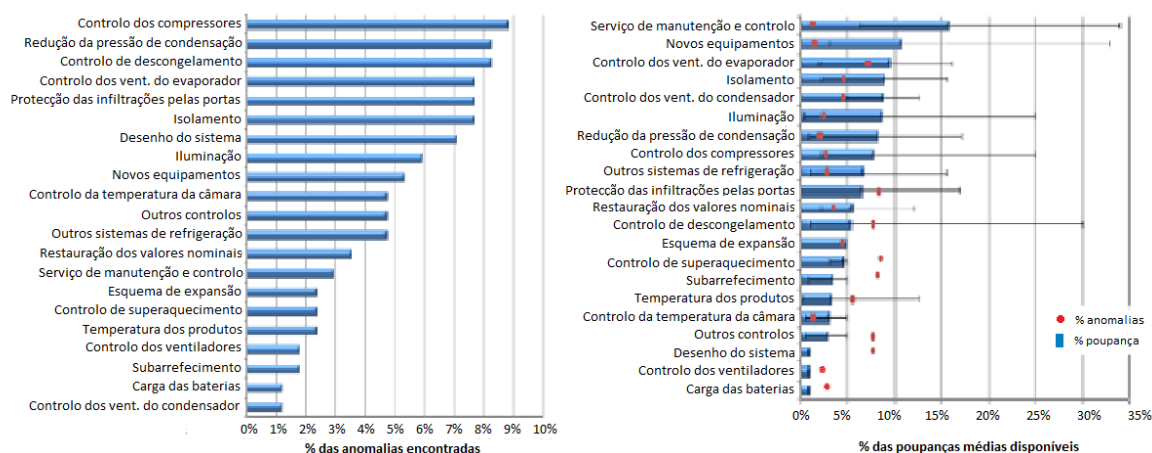


Figura 1.6 - Deficiências encontradas nos estabelecimentos de conservação de alimentos (lado esquerdo) e potencial de poupança de cada deficiência (lado direito) Fonte: (Evans,2013).

Os resultados do projecto ICE-E mostraram que existe uma grande variabilidade na energia utilizada por estabelecimentos frigoríficos. O CEEV variou entre 4 e 250 kWh/m³/ano para estabelecimentos refrigerados, entre 6 e 240 kWh/m³/ano para estabelecimentos de congelados e entre 23 e 157 kWh/m³/ano para os estabelecimentos de conservação mistos. Neste estudo foram desenvolvidos programas computacionais para estimar os consumos de energia eléctrica nos estabelecimentos (Foster et al., 2013).

As medidas de eficiência energética que foram implementadas num dos maiores estabelecimentos de refrigerados e congelados da Austrália são apresentadas detalhadamente no trabalho de Hilton (2013). Apesar da capacidade de armazenamento ter aumentado de 2009 para 2010 a eficiência energética melhorou de 53,5 kWh/m³ para 37,6 kWh/m³. As principais medidas aplicadas foram as seguintes: i) construção de novos edifícios e instalação de novos equipamentos de refrigeração com elevados padrões de eficiência energética; ii) aferição da eficiência energética da instalação de refrigeração; iii) monitorização e controle da temperatura da câmara de refrigeração; iv) melhoria do design da porta para reduzir infiltrações; v) substituição dos equipamentos de iluminação por lâmpadas tipo LED; vi) modernização ACV (inversores de frequência) para os compressores de parafuso, ventiladores dos evaporadores e condensadores evaporativos; vii) sobredimensionamento dos condensadores evaporativos.

Segundo Raeisi (2013) também se pode economizar energia eléctrica nos sistemas de refrigeração através da inactivação do sistema por determinados períodos de tempo ou mesmo através da redução da capacidade dos sistemas, mediante a aplicação de armazenagem de energia térmica no interior das câmaras. O autor refere que esta técnica permite: i) mudar a utilização de energia eléctrica do sistema de refrigeração para fora do horário de pico, com o

potencial dos preços mais baixos da electricidade; ii) aumentar a autonomia de operação do equipamento de refrigeração, o que pode reduzir as perdas de alimentos em casos de interrupção de energia e mau funcionamento do equipamento; iii) oferecer oportunidades para o transporte e comercialização de produtos alimentares em locais remotos e locais sem abastecimento de energia eléctrica.

1.4. OBJECTIVOS E CONTRIBUIÇÃO DA PRESENTE TESE

De acordo com o exposto nas secções precedentes, observa-se que o consumo de energia eléctrica nos estabelecimentos agroalimentares é elevado contribuindo de forma significativa para os custos das operações de transformação. A eficiência energética é uma das principais medidas para ajudar à diminuição dos consumos de energia e respectivos custos. Requer, no entanto, a avaliação prévia do comportamento energético dos estabelecimentos das agro-indústrias, de modo a caracterizar o seu perfil e estimar o potencial de poupança de energia.

Tradicionalmente os estabelecimentos das três fileiras que são objecto de estudo neste trabalho consomem dois tipos de energia que são a eléctrica e a térmica, proveniente da combustão de combustíveis. Eles apresentam de comum uma grande utilização dos sistemas de refrigeração que na maioria dos casos são os principais consumidores de energia eléctrica.

As nossas indústrias agroalimentares são, tipicamente, micro e pequenas empresas não sendo abrangidas por qualquer obrigação legal para analisarem a forma como utilizam a energia e nem tão pouco estão sensibilizadas para esta temática. É, por isso, do maior interesse desenvolver um estudo que apresente um diagnóstico energético deste tipo de empresas.

Em face destas constatações, os principais objectivos da presente tese são:

- i) Caracterizar os estabelecimentos e as actividades que são desenvolvidas na fileira da carne, lacticínios (mais propriamente o fabrico de queijo) e as hortofrutícolas;
- ii) Identificar e caracterizar os tipos de sistemas de refrigeração utilizados nas três fileiras;
- iii) Caracterizar energeticamente os estabelecimentos das fileiras da carne, lacticínios (fabrico de queijo) e das hortofrutícolas;
- iv) Determinar indicadores físicos e energéticos típicos dos estabelecimentos que são objecto de estudo e compará-los com os existentes na literatura;
- v) Estimar as poupanças de energia passíveis de serem alcançadas mediante a aplicação de medidas de eficiência energética;
- vi) Apresentar o valor de referência dos consumos de energias dos estabelecimentos analisados com vista à sua adopção como indicador de *benchmarking*;
- vii) Determinar as correlações existentes entre as principais grandezas, tais como, a matéria-prima, consumo de energia eléctrica, volume das câmaras, e potência

-
- eléctrica dos compressores e construir com as mesmas um modelo que permita avaliar e caracterizar as instalações de refrigeração ou ajudar a dimensionar novas instalações;
- viii) Realizar a validação do modelo através de dados de indústrias que não tenham sido integradas na amostra.

1.5. VISÃO GERAL DA ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente tese é constituída por seis capítulos. No final de cada capítulo faz-se um breve resumo do seu conteúdo. A organização da tese é descrita de seguida.

No capítulo 1 apresenta-se o tema em estudo. Efectua-se uma breve abordagem sobre a importância da refrigeração na área alimentar, da importância da energia na cadeia do frio dando ênfase ao início da cadeia, mais propriamente nos estabelecimentos alimentares, que no nosso caso são três fileiras fundamentais: a da carne, lacticínios e da fruta. De seguida, define-se o problema em estudo, a sua relevância prática e são delineados de forma sucinta os objectivos do presente trabalho. O enquadramento do trabalho no contexto de trabalhos anteriores é proposto através de uma breve revisão bibliográfica.

O capítulo 2 incide sobre a importância do frio da área alimentar, com destaque para a sua aplicação nas três fileiras que são objecto de estudo. Posteriormente apresentamos as características dos sistemas de produção de frio, indicando os principais elementos que o constituem e os factores que contribuem no seu desempenho energético. No final do capítulo descrevemos os principais sistemas de frio industrial que usualmente são aplicados nas indústrias agroalimentares.

O capítulo 3 consiste na descrição das características da amostra que é utilizada na realização do estudo e descrevemos o conjunto de ferramentas que construímos para recolher e tratar os dados. Também fazemos uma descrição dos equipamentos e das técnicas usadas na medição das diferentes grandezas que usamos no estudo. Neste caso, apresentamos a metodologia que usamos para determinar as temperaturas e humidades relativas do interior das câmaras de refrigeração, como foi estimada a potência eléctrica dos compressores, calculado o volume das câmaras, estimado o consumo de energia nos estabelecimentos, a medição dos consumos de energia dos equipamentos eléctricos e avaliação de pontes térmicas através de termografia.

No capítulo 4, apresenta-se e analisam-se resultados obtidos nos estabelecimentos através dos inquéritos e durante as visitas que realizamos aos mesmos. **Em primeiro lugar**, para cada uma das fileiras, caracterizamos os estabelecimentos do ponto de vista económico e industrial. **Em segundo lugar** caracterizamos as infraestruturas, **em terceiro lugar** caracterizamos os sistemas de refrigeração, **em quarto lugar** apresentamos os consumos de

energia e **em quinto lugar** apresentamos os resultados dos indicadores energéticos e físicos obtidos em cada fileira.

O capítulo 5 consiste na construção das correlações matemáticas obtidas através da análise estatística dos resultados. As principais grandezas correlacionadas são a matéria-prima, o consumo de energia eléctrica, a potência nominal dos compressores de refrigeração e finalmente o volume das câmaras de refrigeração. Neste capítulo também efectuamos a validação das correlações obtidas, com resultados obtidos em estabelecimentos que não fazem parte da amostra, por forma a construir um modelo matemático preditivo sobre o funcionamento dos estabelecimentos agroalimentares destas fileiras.

No capítulo 6 apresentamos as principais conclusões da presente tese e apresentam-se algumas sugestões para trabalhos a desenvolver no futuro.

CAPITULO 2 - A REFRIGERAÇÃO NOS ESTABELECIMENTOS AGROALIMENTARES

2.1. APLICAÇÃO DAS BAIXAS TEMPERATURAS NA FILEIRA DA CARNE, LACTICÍNIOS E HORTOFRUTÍCOLAS

A utilização das baixas temperaturas para conservação dos alimentos tem como principal objectivo retardar as reacções químicas e a acção das enzimas e retardar ou inibir o crescimento microbiano e a actividade dos microorganismos que se encontram nos alimentos, como referem Amerling (2001) e James (2006).

O interesse da utilização das baixas temperaturas na conservação dos alimentos aumentou desde que se teve conhecimento que a velocidade da reacção de uma série de fenómenos e processos fisiológicos, químicos e bioquímicos nos alimentos reduz-se para metade por cada dez graus de diminuição da temperatura dos alimentos (Gutiérrez, 2000; James, 1996). A constatação de que o tempo de conservação dos alimentos aumenta proporcionalmente à medida que são aplicadas temperaturas cada vez mais baixas fomentou o interesse pela aplicação das baixas temperaturas (Gutiérrez, 2000). A passagem da água disponível nos alimentos, ao estado sólido, contraria o desenvolvimento dos microorganismos e a ocorrência de reacções químicas, já que, ao transformar-se a água em gelo por acção das baixas temperaturas, diminui a actividade da água (a_w) e por conseguinte aumenta a estabilidade do produto (Amerling, 2001; Gutiérrez, 2000; James, 1996).

A utilização de temperaturas baixas acima do ponto de congelação dos alimentos possibilita a conservação dos produtos com ou sem actividade biológica, que assim prolongam o seu prazo de validade para consumo, sem grandes alterações das suas características originais (Casp and Abril, 2003; Gutiérrez, 2000; James, 2006).

Na prática, a aplicação das baixas temperaturas na conservação de alimentos tem subjacente uma larga gama de temperaturas. Segundo Gutiérrez (2000) são utilizadas temperaturas que compreendem a região entre os 15 a 10°C, adequadas para o armazenamento e conservação para algumas espécies de hortofrutícolas; temperaturas de refrigeração, que englobam a zona térmica desde os 6°C aos -1°C que são usadas para armazenar e conservar uma grande quantidade de alimentos mais ou menos perecíveis; e temperaturas de congelação, que se encontram sempre abaixo do ponto de congelação da água dos alimentos, neste caso, igual ou inferior a -18°C (Casp and Abril, 2003; Gutiérrez, 2000).

O método da congelação rápida é preferido ao da congelação lenta porque produz cristais de gelo pequenos ou microcristais que são benéficos para a qualidade dos produtos, embora o procedimento acarrete um aumento do gasto energético (Casp and Abril, 2003).

As baixas temperaturas são obtidas mediante sistemas de refrigeração de frio que retiram as cargas térmicas que se desenvolvem no interior da câmara de refrigeração onde se encontram os

produtos. Entre elas, destacam-se a carga térmica sensível do produto, carga térmica de respiração se for um produto com actividade biológica como é o caso das hortofrutícolas, e cargas térmicas de condução de calor através das paredes, infiltração e renovação de ar, máquinas, ventiladores, pessoas, iluminação (Pineda, 2001). As cargas térmicas influenciam de sobremaneira as características do sistema de produção de frio uma vez que este deve ter capacidade para retirar o calor do interior das câmaras a qualquer momento. No arrefecimento de um produto sólido intervêm principalmente dois mecanismos de transferência de calor, isto é, a condução do calor no interior do produto e a transferência por convecção da superfície do produto para o meio ambiente refrigerado, sendo certo que durante o seu arrefecimento o calor cedido pelo produto é igual à variação da sua entalpia (Gutiérrez, 2000). Assim, o tempo de arrefecimento de um produto depende, em maior ou menor grau, dos factores intrínsecos desse produto, geralmente difíceis de alterar significativamente, e dos factores extrínsecos vinculados ao meio arrefecedor, que dentro de certos limites permitem regular o tempo de arrefecimento mediante a escolha e aplicação de tecnologias adequadas (Gutiérrez, 2000). Em relação aos primeiros, existem factores sobre os quais não é possível actuar por dependerem exclusivamente da natureza química do produto, nomeadamente a condutibilidade térmica e o calor específico e outros que são manipuláveis, como seja a sua forma e dimensões do produto, que definem o seu comportamento aerodinâmico e incidem sobre o coeficiente de transferência de calor por convecção que rodeia o produto (Gutiérrez, 2000; James, 1996). Já quanto aos segundos, estes correspondem ao meio de arrefecimento e à temperatura do meio. Neste aspecto, o fluido frigorigéneo deve ter uma acção exclusivamente térmica e não interferir quimicamente nos atributos qualitativos do produto e o coeficiente de convecção deve ser adequado para proporcionar a transferência de energia entre o ar ambiente e o próprio produto (Gutiérrez, 2000; James, 1996).

A velocidade de arrefecimento depende do tamanho e forma do produto, da sua temperatura, do seu calor específico, do seu coeficiente de condutibilidade térmica e da temperatura de circulação do ar no interior da câmara. Os produtos menores e mais finos libertam o calor e arrefecem mais rapidamente do que os produtos grandes e grossos, cuja taxa de libertação de calor é controlada pela velocidade de condução de calor do centro para a superfície (Casp and Abril, 2003; Filho, 2008).

Relativamente à influência da temperatura do meio refrigerante é sabido que a velocidade de arrefecimento dum produto é tanto maior quanto menor as temperaturas usadas, porém este valor encontra-se limitado pelo facto de abaixo de determinados valores de temperatura ocorrer a congelação, que pode provocar danos no produto com prejuízo directo da sua qualidade (Casp e Abril, 2003; Filho, 2008; Gutiérrez, 2000).

O ar é o meio arrefecedor mais utilizado para abaixamento da temperatura das carcaças e é o método universalmente empregue na maioria dos produtos, apesar de não ser a melhor solução para todos os casos e a mais eficiente energeticamente. O arrefecimento dá-se por convecção de calor da superfície do produto através da película de ar que o envolve até uma corrente de ar

frio, ao mesmo tempo que no interior do produto a transferência de calor para a superfície se faz por condução (James, 1996).

Já no arrefecimento com recurso a água a dissipação do calor é conseguida por convecção forçada através de uma película de água que cobre a superfície do produto. A água tem uma excelente capacidade de absorção de calor e quando uma corrente de água fria circula rápida e uniformemente pela superfície de um produto quente a temperatura na superfície deste atinge quase instantaneamente a da água, resultado de uma transmissão de calor óptima e de um coeficiente de convecção elevado devido a uma superfície de exposição máxima (Çengel, 1997; James, 1996; Singh, 1993).

Se a velocidade de circulação da água for suficiente grande, então a resistência térmica da superfície do produto passa a ser desprezável e a dissipação do calor tão rápida quanto a sua chegada à sua superfície (Casp and Abril, 2003; Çengel, 1997; James, 1996; Singh, 1993).

O método por imersão ou aspersão de água fria também é utilizado e permite a obtenção de elevados coeficientes de convecção e portanto é das formas mais rápidas para arrefecimento para a maioria dos produtos. Este método tem a vantagem de evitar a perda de peso que ocorre nos demais métodos de arrefecimento. Porém, não pode ser aplicado a todos os tipos de alimentos e de embalagens e pode tornar-se uma fonte de contaminação microbiana. E exige, por isso o cumprimento de normas estritas de higiene, e planos de limpeza de equipamentos frequentes e a necessária renovação de água (Casp e Abril, 2003; James, 1996).

Outras formas de arrefecimento possível recorrem ao vazio, e consiste em colocar o produto numa câmara onde se reduz posteriormente a pressão a valores suficientemente baixos para que parte da sua água de constituição se vaporize, sendo o próprio produto quem fornece o calor necessário à mudança de estado, conseguindo-se assim uma diminuição da temperatura (James, 2006).

Uma vez conseguido o arrefecimento homogéneo do produto e alcançando-se os valores de temperatura desejados, inicia-se o processo de armazenamento em refrigeração, recorrendo-se a camaras de refrigeração que facultem as condições necessárias para o prolongamento máximo de vida útil do produto. Neste caso, cabe ao técnico de supervisão garantir as condições ambientais desejadas e facultadas pelos sistemas de refrigeração (Filho, 2008; Singh, 1986).

Para esta operação, a temperatura de refrigeração é definida em função da natureza do produto, do tempo de armazenagem pretendido e deve permanecer o mais constante possível. Para o efeito, é também importante a projecção racional e a eficiente construção dos sistemas de produção de frio, não descuidando o seu dimensionamento, isolamento térmico, potência frigorífica associada a mecanismos da regulação da temperatura e uma estiva adequada dos produtos (Filho, 2008; Singh, 1986).

A humidade relativa adequada a cada tipo de produto é variável mas geralmente encontra-se compreendida entre 80 a 95%, tendo em consideração que os valores elevados favorecem o desenvolvimento de fungos e humidade mais baixa aumenta as perdas de peso dos produtos (Casp e Abril, 2003; Filho, 2008; James, 2006).

A circulação do ar no interior da câmara de refrigeração é também essencial para garantir uma boa troca de calor e uma boa homogeneização da temperatura e da humidade relativa no seu interior, uma vez que o ar interno é o agente de transferência de calor entre os produtos e o evaporador que se encontra instalado no interior da câmara, devendo o seu caudal garantir uma eficiente troca térmica (Casp e Abril, 2003; Filho, 2008; James, 2006).

O salto térmico do evaporador que é dado pela diferença entre a temperatura máxima da câmara e a temperatura do ar à saída do evaporador é um parâmetro fundamental para o funcionamento das câmaras de refrigeração. Quanto maior for este parâmetro, menor será o caudal de ar necessário mas maior será a variação na temperatura e menor a humidade relativa no interior da câmara, proporcionando uma maior perda de peso aos produtos (Casp e Abril, 2003; Filho, 2008; James, 2006).

Em muitos casos, nem sempre é possível carregar a câmara com um único produto, normalmente por questões económicas torna-se necessário juntar mais do que um tipo de produto, sobretudo nos sectores da distribuição e da revenda. Nestas situações, deve ter-se presente que nem sempre é viável armazenarem-se todos os tipos de produtos no mesmo recinto, pois podem ocorrer incompatibilidades quanto à temperatura, humidade relativa, composição da atmosfera de armazenamento e emissão de composto voláteis (Filho, 2008; Singh, 1993).

Um perfeito domínio da cadeia de frio é necessário em todas as etapas, de modo a ir ao encontro das exigências dos consumidores em termos de qualidade e de higiene dos alimentos. Há que salientar que essas boas práticas podem também trazer inúmeros benefícios para os produtores, transportadores e distribuidores, no que diz respeito à poupança de energia, protecção ambiental, redução de perdas económicas devidas à destruição de produtos que sofreram quebras na cadeia de frio e na optimização dos investimentos em equipamentos frigoríficos (Marvillet, 2001).

Uma forma de garantir a qualidade dos produtos no decorrer da manipulação, transformação, fabrico, armazenamento de alimentos, é usar indicadores ou integradores de tempo-temperatura para detecção de abusos de temperatura (Marth, 1998) e colocar avisos nas embalagens para alertar os consumidores (James, 2006).

2.1.1. Refrigeração nos estabelecimentos da carne

Devido à carne ser um produto altamente perecível, a refrigeração é actualmente um recurso tecnológico da maior importância para permitir o prolongamento do tempo de conservação da carne, minimizar as modificações das características sensoriais e nutritivas, ampliar a gama da sua utilização em novos produtos, para além de apresentar custos razoáveis e não ter qualquer acção nociva sobre a saúde (IIF, 2008; Ordóñez, 1998).

A carne de um animal vivo pode considerar-se como um produto são e é durante a operação de abate que esta pode ficar contaminada com uma enorme carga microbiana, dependendo das medidas de higiene aplicadas nos matadouros (Ordóñez, 1998).

Segundo Prändl O. (1994) a vida útil da carne refrigerada não é muito extensa, não mais que duas semanas e depende fundamentalmente da taxa bacteriana original e de diversos factores como a temperatura de armazenamento, o pH, a tensão de oxigénio e o potencial redox. Por este motivo, a refrigeração nos matadouros é aplicada sobre as carcaças para que estas atinjam a temperatura de 7°C no seu centro térmico e 4°C para o caso das miudezas, temperaturas abaixo das quais a toxidade das bactérias patogénicas é parada e o seu desenvolvimento é fortemente diminuído (IIF, 2008).

A humidade existente na superfície das carcaças é um factor com grande influência na conservação da carne refrigerada. A refrigeração tem a possibilidade de proporcionar a secagem superficial das carcaças. Segundo Prändl O. (1994) é positiva a formação de uma crosta superficial das carcaças, que não só impede o crescimento dos microorganismos mas também evita posteriormente a perda de água. O mesmo autor acrescenta que, quando a capacidade de arrefecimento dos equipamentos de produção de frio é insuficiente, ou escassa a circulação do ar, reduz-se a secagem superficial com o consequente crescimento dos gérmes na superfície e elevadas perdas de peso. Para impedir os gérmes superficiais, a humidade relativa ambiental deve ser tanto mais baixa durante o armazenamento da carne em refrigeração quanto mais elevada seja a temperatura e vice-versa.

Também o tipo de carne limita a sua capacidade de conservação a baixas temperaturas, como é o caso da carne e produtos à base de suíno que contrariamente à carne de bovino são menos susceptíveis de permanecer, longos períodos de tempo sem se oxidar durante o armazenamento, devido ao seu maior teor de lípidos insaturados (Ordóñez, 1998).

A temperatura exerce uma forte influência na queda do pH post-mortem sendo a sua diminuição retardada com a aplicação de refrigeração. A não aplicação de refrigeração post-mortem para o caso dos suínos, favorece a queda do pH muito rapidamente implicando consequências na cor, textura, suculência e crescimento microbiano, proporcionando então condições para a ocorrência não desejada de carnes pálidas, moles e exsudativas (PSE), (IIF, 2008; James, 1996; Pearson, 1994; Tomovic, 2011).

A minimização dos efeitos do PSE pode ser conseguida através a aplicação do método de refrigeração ultra-rápida, com temperaturas de refrigeração no início do arrefecimento da ordem de -20°C a -25°C, aplicado durante as 2 a 3 horas, até ao início da congelação da superfície das carcaças (Bowater, 2001; IIF, 2008).

O frio permite que a maturação da carne ocorra durante um período de tempo mais alargado sem que se verifique a sua putrefacção e a tenrura desejada pelo consumidor (Rosset, 2002; Savell et al., 2005).

Existem vários métodos para arrefecimento dos produtos de carne utilizando o ar como meio arrefecedor. Entre eles destaca-se o método de refrigeração escalonada, refrigeração rápida e a refrigeração super-rápida, conhecido na terminologia inglesa por “shock de frio” (Marvillet, 2001; Ordóñez, 1998).

O primeiro método está actualmente em desuso por motivos da qualidade alimentar, pois consiste em deixar as carcaças em salas arejadas durante algumas horas até se atingir uma

temperatura próxima compreendida entre os 10 a 15 °C e depois transferi-las para câmaras de refrigeração normais a uma temperatura compreendida entre 0 a 4 °C (Marvillet, 2001; Ordóñez, 1998).

Em relação ao segundo método, geralmente o mais utilizado, procede-se ao arrefecimento rápido através da introdução das carcaças imediatamente após o abate em câmaras com uma temperatura do ar entre os -1 °C a 2 °C, com uma velocidade de ar elevada, geralmente entre 0,5 a 2 m/s sobre as carcaças, e com uma taxa de humidade muito elevada, normalmente entre 90 a 95% (Marvillet, 2001; Ordóñez, 1998). Com esta técnica consegue-se arrefecer as carcaças de bovinos num período de tempo de 18 a 24 horas.

A terceira técnica consiste em realizar o arrefecimento super-rápido por meio de sistemas que aplicam durante as duas primeiras horas ou até ao momento de alcance do ponto de congelação da superfície da carcaça, temperaturas do ar de -3 a -5 °C em bovinos e -5 a -8 °C em suínos. Seguidamente o arrefecimento é de afinação, prossegue a temperaturas de 0 a 2 °C. Este processo, requer umas 12 a 18 horas para refrigerar as carcaças de bovinos e cerca de 10 a 16 horas para os suínos (Marvillet, 2001). A vantagem deste tipo de arrefecimento em comparação às técnicas tradicionais é a redução da perda de peso, assim como a manutenção do aspecto e da coloração de origem.

Segundo Quali et Valin (1984) citado em IIF (2008) a refrigeração super-rápida do tipo “shock” deve ser aplicada precocemente na carne para o controlo do pH e a obtenção de uma ótima qualidade da mesma após a maturação. A refrigeração do tipo “shock” realiza-se através da aplicação de temperaturas de refrigeração inferiores a 0 °C e velocidades do ar de arrefecimento entre 2 a 3 m/s.

O recurso a temperaturas inferiores a 0 °C no processo de arrefecimento super-rápido está limitado só às primeiras duas horas, para evitar o congelamento das partes mais finas das carcaças.

A refrigeração tipo “shock” apresenta a desvantagem de proporcionar o endurecimento das carnes menos espessas devido ao rápido abaixamento da temperatura, mas em contrapartida tem a grande vantagem de realizar o arrefecimento rápido da superfície da carcaça que bloqueia rapidamente a evaporação de água e diminui a perda de peso que pode chegar até 1/3 (IIF, 2008).

Uma técnica recente para realizar o arrefecimento rápido das carcaças, principalmente as de maior dimensão consiste na inserção de tubos de alta condutibilidade térmica, contendo dióxido de carbono (Kuffi et al., 2013).

Relativamente à congelação da carne de porco, ela efectua-se a -18 °C e a carne bovina a -15 °C com um “brassage” de ar intenso, com as carcaças em suspensão livre, sem tocarem umas nas outras para evitar a formação de bolores (Marvillet, 2001).

Para melhorar os processos de refrigeração, assistimos à melhoria dos equipamentos e optimização dos procedimentos do arrefecimento por via de duas fases: uma primeira fase de refrigeração rápida ou de “shock” completamente mecanizada e uma segunda fase de ou estágio de afinação da temperatura com condições mais moderadas, segundo refere (IIF, 2008).

Segundo este autor os melhoramentos visam melhorar a eficiência energética e a eficiência frigorífica com a preocupação em ganhos de tempo no processo de refrigeração e limitações de perdas de peso dos produtos. Assistimos igualmente ao melhoramento da concepção dos equipamentos de refrigeração, com especial destaque para os tipos de evaporadores e condutas de distribuição de ar de forma a permitir uma melhor distribuição da potência frigorífica no interior da câmara. Com vista à optimização do arrefecimento no interior das câmaras de refrigeração assistimos a uma evolução da estiva das carcaças, de forma que estas actualmente não ocupam mais do 15 a 20% do volume bruto da câmara frigorífica.

Os melhoramentos tecnológicos também se verificam nos equipamentos utilizados nas salsicharias. Neste tipo de estabelecimentos o tipo de frio varia ao longo do processo produtivo, sendo por isso utilizado unidades de tratamento do ar, segundo IIF (2008). Estas unidades, equipamentos de climatização e de refrigeração são usados nas câmaras de cura, salas de fabrico e câmaras de armazenamento, respectivamente.

De facto, uma grande variedade de produtos de enchidos não estão sujeitos ao processo de cozedura e a sua conservação (produtos que sejam fumados ou não) é obtida graças à utilização de ingredientes tais como especiarias, e a um processo de cura. Este processo de cura é realizado em câmaras cujas temperaturas encontram-se entre 7 e 14°C e com uma humidade relativa entre 60 e 85% (Marvillet, 2001).

2.1.2. Refrigeração nos estabelecimentos de lacticínios

O leite é utilizado como a principal matéria-prima no sector dos produtos lácteos para o fabrico de diversos produtos, de entre os quais se destacam, iogurtes, queijos, natas, gelados. É proveniente de três tipos de animais, vaca, ovelha e cabra. O tipo de leite que tem maior expressão em termos de produção e consumo a nível mundial é o leite de vaca. Contudo, o leite de ovelha e de cabra tem uma grande importância no fabrico de queijos.

O leite cru é constituído por água com suspensão de sólidos, que em geral são a gordura, proteínas, lactose, ácidos orgânicos, substâncias minerais e uma pequena percentagem de sólidos variados (Barbosa, 1990; Walstra P., 2006).

Esta substância é portadora, logo no início, de microorganismos provenientes do interior ou do exterior do animal. Durante a ordenha, o leite pode ser contaminado com microorganismos provenientes dos equipamentos e utensílios ou das pessoas que entram em contacto com os animais. As linhas de lactodutos, os tanques de recepção, a sala do leite, os tanques de transporte e os equipamentos das indústrias transformadoras são a principal fonte de bactérias psicotróficas no leite (Rosset, 2002; Thomas, 1973).

Na ausência de refrigeração a multiplicação bacteriana é extraordinariamente rápida e conduz a uma acidificação do leite, modificando-se a sua aptidão para os processos térmicos ou tecnológicos posteriores. Deste modo, para conservar as suas qualidades aplica-se a refrigeração durante vários períodos ao longo do processo tecnológico dos produtos (Juárez et al., 2000).

A refrigeração do leite aplica-se logo após a ordenha para manter a sua conservação dentro de um período de dois a três dias a uma temperatura compreendida entre 3 a 4°C (Juárez et al., 2000). Jiménez (1985) e Juárez e Gorcechea (1987), concluíram que a refrigeração e a conservação a baixas temperaturas melhoram a qualidade bacteriológica do leite e reduzem os custos das recolhas frequentes, embora produzam um conjunto de alterações físico-químicas, biológicas e bioquímicas que afectam aptidão do leite para determinados processos tecnológicos e a qualidade de alguns produtos transformados.

A refrigeração do leite dá origem no equilíbrio mineral entre as fases solúveis e coloidais e afecta a amplitude da coagulação, proporcionando o aumento do tempo de coagulação, perdas de coalhada no soro e o dessoramento mais difícil e menos completo (Juárez et al., 2000). Ainda segundo este autor a conservação do leite à temperatura de 3 a 4°C, traduz-se numa diminuição líquida da amplitude da coagulação pelo coalho. Entretanto alguns tratamentos aplicados ao leite refrigerado, como seja, a adição de cloro de cálcio, termização antes da coagulação, acidificação do leite, enriquecimento do leite com sólidos não gordos, permitem minimizar este efeito. A aplicação do frio tem uma grande influência sobre os microorganismos visto que antes da sua aplicação estes são maioritariamente bactérias lácticas mesófilas (10 a 40°C) e depois da sua aplicação são os microorganismos psicrótróficos (-5 a 15°C) que podem desenvolver a baixas temperaturas. Neste caso importa realçar que a quantidade de microorganismos no leite refrigerado depende do tempo e da temperatura de conservação e da carga inicial do leite.

O emprego da refrigeração nas explorações agrícolas, nos centros de recolha, durante o transporte e armazenamento do leite, é importante para a elaboração dos diferentes produtos lácteos, em particular o fabrico do queijo, bem como durante o processo de comercialização.

No processo de obtenção do queijo aplicam-se um conjunto de operações que visam realizar a alteração das concentrações relativas dos vários componentes que constituem o leite. A aplicação das baixas temperaturas e certos limites de humidade relativa, tem como objectivo promover o desenvolvimento dos microorganismos benéficos e as actividades enzimáticas desejáveis. Ao longo do tempo de cura, realiza-se a maturação do queijo que é responsável pelas suas características organolépticas (Juárez et al., 2000).

Antes da fase de maturação, as etapas de dessoramento, prensagem e salga são realizadas em ambientes com temperaturas compreendidas entre 12 a 18°C, em locais climatizados para o efeito, onde a humidade relativa não é crítica (85%-90%), uma vez que o período de permanência é curto. No caso de a salga ser efectuada por via húmida, utilizam-se salmouras com uma temperatura entre 8 a 12°C. Depois da salga, realizam-se os processos de desidratação ou maturação dos queijos em locais com temperatura e humidade relativa controladas, repartidas em diferentes fases, com a primeira fase a utilizar geralmente temperaturas baixas (6-8°C) e humidades relativas altas (90-95%) e as fases seguintes com temperaturas mais altas (10-14°C) e humidades relativas mais baixas (60-80%), para que o excesso de água na superfície do queijo seja eliminado rapidamente.

Durante o período de maturação, para além da temperatura, também é muito importante o controlo da circulação do ar, devendo esta ser uniforme e com valores ajustados ao tipo de fase

do processo, para além de uma estiva adequada para facilitar a circulação do ar entre os produtos (Ordóñez, 1998).

No final do processo de maturação, o frio joga o papel clássico de agente de conservação, que pode ser através da refrigeração ou da congelação. A conservação do queijo é geralmente efectuada em ambientes com uma temperatura compreendida entre os 2 a 7 °C enquanto na congelação a temperatura usada está compreendida entre -7 a -10 °C uma vez que a esta temperatura cessam as actividades do metabolismo microbiano. No entanto, para impedir totalmente o desenvolvimento dos microorganismos é necessário que a temperatura desça para valores da ordem de -12 °C ou inferiores (Ordóñez, 1998).

O queijo curado, não é muito fornecido em estado congelado e o seu congelamento é realizado por imposições de sazonalidade. Estudos realizados referem alterações nas propriedades sensoriais em vez de nutricionais. O congelamento do queijo de ovelha durante nove meses apresentou teores mais elevados de aminoácidos (Tejada, 2002).

Para o caso do queijo fresco e do requeijão a aplicação do frio ocorre durante a sua conservação a uma temperatura e humidade relativa compreendidas entre 3 a 4 °C e 80 a 95%, respectivamente.

Tecnologicamente, temos vindo a assistir nos últimos anos, ao desenvolvimento de equipamentos capazes de realizar o arrefecimento e o aquecimento do leite de forma eficiente mediante a utilização de permutadores de placas e à realização da cura do queijo com unidades de tratamento ar, autónomas, capazes de controlar a temperatura, a humidade relativa e velocidade do ar, adequadas para as diferentes fases de sua maturação e secagem.

Outras técnicas e equipamentos automáticos como prensas pneumáticas, máquinas de lavar os queijos, tanques de salmoura, tem vindo a ser implementadas nos anos mais recentes, contribuindo para o desenvolvimento do fabrico de queijo de modo industrial.

2.1.3. Refrigeração nos estabelecimentos de hortofrutícolas

As frutas e os legumes são alimentos perecíveis com deterioração muito rápida. Sendo organismos vivos, mesmo após a colheita, devem manter-se vivos e em boas condições até o processamento ou consumo (Fraser, 1998).

Álvaro (2001) e Filho (2008) referem que a respiração é o processo biológico que traduz a forma como os organismos vivos, convertem as suas reservas em energia com a subsequente libertação de calor, CO₂ e vapor de água e que esta tem grande influência no processo de conservação destes produtos. Indicam a intensidade respiratória, definida como a relação entre o CO₂ libertado ou O₂ absorvido (mg kg⁻¹ h⁻¹) e o produto do peso do fruto (kg) pelo tempo de análise (h), como parâmetro fundamental para avaliação da capacidade de respiração dos produtos. Este parâmetro é um índice do metabolismo interno do fruto e dá uma ideia das possibilidades de conservar os produtos. Quando a intensidade respiratória aumenta, diminui a capacidade de conservação do produto. Em geral a velocidade de respiração de um fruto reduz-se a metade por cada 10 °C em que diminui a temperatura (Guerra, 1996).

De acordo com Filho (2008), Álvaro (2001) e Chau (1992), a transpiração é outro fenómeno biológico de grande relevância no processo de conservação das hortofrutícolas. Consiste na passagem de vapor de água através das estruturas anatómicas tais como estômatos, lenticelas, cutículas e pedúnculos. Como após a colheita não existe reposição da água, ocorre a perda da turgescência, com a consequente alteração do aspecto e redução na qualidade, além da perda de peso, com consequências em termos de perdas comerciais.

Algumas práticas desadequadas no manuseamento do produto podem fomentar danos mecânicos e estimular a perda de peso e maior exposição ao ataque de microorganismos, a exposição do produto a acentuadas diferenças de pressão de vapor através da redução rápida da temperatura do produto ao que este suporta, assim como a utilização de humidades relativas baixas e a exposição do produto a movimentos de ar desnecessários, são as causas prejudiciais para a qualidade dos produtos (López e Rodríguez, 2000).

Segundo Guerra (1996) as condições de baixa humidade provocam um incremento da transpiração, e por conseguinte, uma grande perda de água, acelerando, neste caso, a senescência do fruto e o aparecimento de perda de qualidade, com o aparecimento de rugas entre outros.

Para minimizar as consequências dos factores acima referidos e prolongar o tempo de conservação das hortofrutícolas usam-se várias técnicas das quais se destaca a refrigeração, o uso de atmosferas controladas, o uso de absorventes de etileno, aplicação de películas sobre as superfícies e a aplicação exógena de fitorreguladores (Parikh, 1990).

De entre elas, a utilização das baixas temperaturas conseguidas com o uso da refrigeração assume grande relevância. A conservação refrigerada abaixo das condições óptimas permite reduzir as perdas qualitativas e quantitativas devidas a desordens fisiológicas e podridões, retardar o amadurecimento, e senescência e prolongar a vida comercial dos produtos hortofrutícolas em geral, com qualidade idónea para consumo em fresco ou industrial (Artés, 1987; Matínez-Jávega, 1997).

A refrigeração é uma operação principal para evitar as perdas de água e pode ser acompanhada com a aplicação de outras técnicas tais como a embalagem (vácuo), assim como a humidificação do ar que rodeia os produtos (Rosset, 2002).

Segundo IIF (2008), a utilização do frio assume grande importância nos anos mais recentes, para os frutos e legumes preparados e prontos para consumo (4.^a gama) que são objecto da aplicação de normas de higiene e segurança alimentar e da obrigatoriedade da manutenção da cadeia do frio (temperaturas inferiores a 4 °C).

Segundo Filho (2008), López e Rodríguez (2000), Rosset (2002) e Marvillet (2001) a diminuição rápida da temperatura de colheita evita muitos dos problemas anteriormente referidos, associados ao período pós colheita. A aplicação imediata do frio permite diminuir a perda de vitaminas e açúcares, ácidos orgânicos, água, assim como a velocidade das reacções bioquímicas e enzimáticas. Neste caso, a refrigeração permite desacelerar esses processos, bem como preservar as qualidades dos produtos. A aplicação de frio nos produtos vegetais também permite limitar o desenvolvimento de microorganismos presentes, as mudanças de coloração e de aspecto

a que os vegetais estão sujeitos à temperatura ambiente, atrasar as degradações do produto introduzidas pelas reacções químicas ou biológicas e limitar as perdas de água devido ao fenómeno de transpiração (López e Rodríguez, 2000).

A pré-refrigeração associada à utilização de uma temperatura adequada ao longo do circuito até ao consumo, assume a maior importância nas frutas e legumes das colheitas da primavera e do verão porque apresentam tempos de vida curtos (IIF, 2008). Já para os produtos do Outono é mais importante o controlo dos parâmetros que interferem ao longo do processo de conservação, tais como: temperatura; humidade relativa; composição da atmosfera; circulação de ar e o salto térmico.

Em geral, a temperatura de conservação deve ser apropriada, porque abaixo de um certo valor, as frutas e os legumes desenvolvem mudanças metabólicas que produzem alteração fisiológica denominada dano por frio, que é função dos valores da temperatura e do tempo de aplicação específicos da espécie e da variedade (López and Rodríguez, 2000; Rosset, 2002). Segundo Matínez-Jávega (1997), dentro destas limitações encontramos a temperatura de congelação dos produtos hortofrutícolas.

Filho (2008) destaca que a refrigeração deve ser utilizada logo após a colheita e ao longo de toda a cadeia, incluído o transporte frigorificado, sem o qual os bons resultados de um arrefecimento e conservação adequados serão perdidos.

Para uma grande parte das espécies de fruta a maior duração do período de conservação é obtida a uma temperatura de 0°C. Segundo López e Rodríguez (2000) e Álvaro (2001) a temperatura ideal de conservação de muitas espécies de legumes com folhas e de algumas espécies de frutas é de 3 a 6°C.

Atendendo à importância do arrefecimento rápido para retirar o calor de colheita, assistimos nos últimos anos ao desenvolvimento de tecnologias modernas para estas aplicações. Segundo Filho (2008) e Marvillet (2001), dentro destas tecnologias encontramos como meio arrefecedor o ar em câmaras de refrigeração com evaporadores munidos com ventiladores de duas velocidades ou túneis de arrefecimento com água e o vácuo muito utilizado para produtos com um rácio elevado da superfície/volume e ainda técnicas de imersão ou aspersão com água gelada.

Segundo IIF (2008) a refrigeração por ar forçado em câmaras de refrigeração especiais é um dos principais métodos utilizado para extrair o calor de colheita e de respiração da fruta. Este método utiliza uma potência elevada dos ventiladores que aspiram ar arrefecido e forçam-no a passar entre os produtos ou as embalagens dos mesmos que se pretendem refrigerar. O arrefecimento rápido e uniforme do tipo convectivo, resulta da circulação activa do ar arrefecido, movimentado a grande velocidade, à volta das frutas e legumes quentes.

Apesar do custo extra envolvido, torna-se adequado utilizar o arrefecimento rápido das hortofrutícolas numa câmara de refrigeração de ar forçado ou túnel e transferir posteriormente os produtos para câmara refrigerada de conservação onde será armazenado durante mais tempo. A conservação de frutas e legumes realiza-se maioritariamente em centrais fruteiras de produção, acondicionamento e expedição. De acordo com IIF (2008) para a conservação de produtos de verão de curta duração são privilegiados os sistemas de refrigeração com elevadas

potências frigoríficas por unidade de volume das câmaras de refrigeração (50 a 100 W/m³). Já para conservação de produtos de longa duração, como seja, o frio é largamente associado à atmosfera controlada para os produtos de maçãs, peras, kiwi (-1 a 4 °C) (IIF, 2008). As potências frigoríficas por unidade de volume, úteis durante o regime de conservação são da ordem de 25 a 40 W/m³.

O congelamento dos produtos é um método comprovadamente eficiente. Para legumes, o congelamento é amplamente reconhecida como o método mais satisfatório para a preservação a longo prazo, e é um importante segmento do mercado de alimentos congelados (Silva, 2008).

2.2. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

2.2.1. Características termodinâmicas dos ciclos de refrigeração

A refrigeração é um processo pelo qual a temperatura dos corpos ou fluidos em geral diminui. Existem vários métodos possíveis para proceder ao abaixamento da temperatura das substâncias. Encontramos neste caso o arrefecimento por contacto directo com água, métodos baseados em mudança de estado (fusão, vaporização e sublimação), e outros métodos especiais como a refrigeração termoelétrica ou o efeito termomagnético.

O abaixamento da temperatura com água é muito utilizado nas fileiras das hortofrutícolas através do seu contacto directo com a água fria.

A diminuição da temperatura de um meio material através de dissolução de substâncias ou sais em determinados líquidos realiza-se mediante a utilização de misturas crioscópicas, baseada na sua capacidade em absorver o calor, de acordo com a lei de Raoult (processo endotérmico) (Pineda, 2001).

Nos processos que envolvem a mudança de fase (calor latente) encontramos a fusão do gelo (0 °C) ou a fusão de misturas eutécticas (-4 a -65 °C), a sublimação do CO₂ (-78,5 °C), a vaporização directa do N₂ (-196 °C), e a vaporização indirecta de um fluido (máquina de compressão de vapor, absorção, adsorção e de injeção de vapor).

Os processos de refrigeração termoelétrica ou o efeito termomagnético envolvem efeitos especiais, tais como o efeito Peltier, Hass-Keenson e Ettings-Hausen (Pineda, 2001).

Alguns dos métodos de produção de frio acima referidos apresentam características de produção descontínua (misturas crioscópicas, fusão do gelo, sublimação do CO₂ e a vaporização directa do N₂) e os processos especiais disponibilizam baixas capacidades de refrigeração, são muito caros e complexos, sendo por isso pouco utilizados.

Segundo Koelet (2002) os principais sistemas de refrigeração usados actualmente nos estabelecimentos, são aqueles que produzem o frio de forma contínua e utilizam fluidos frigorigéneos, em circuito fechado, dos quais se destacam os sistemas de compressão de vapor, sistemas de absorção e sistemas de expansão de ar ou gás.

No sistema de refrigeração por compressão de vapor é utilizado um compressor mecânico, que consome energia eléctrica, para elevar a pressão do vapor de fluido frigorígeno para um nível de pressão superior e uma temperatura do vapor mais elevada que a do meio dissipador de calor para realizar a transferência de calor e condensar para a forma líquida. O fluido frigorígeno na forma líquida sofre uma queda de pressão para o nível inferior reunindo as condições adequadas para absorver o calor do meio a refrigerar através da sua vaporização (Martín, 2005).

O sistema de produção de frio por absorção é composto por um gerador ou fervedor, um condensador, uma válvula de expansão, um evaporador, um absorvedor e uma bomba. Neste sistema utiliza-se energia térmica fornecida do exterior para movimentar o fluido frigorígeno. A energia exterior aquece a solução, por exemplo de água e amoníaco, no fervedor promovendo a separação do amoníaco na fase gasosa, e a sua rectificação para libertar as pequenas quantidades de vapor de água que o acompanham. O processo de aquecimento provoca o aumento de pressão do vapor, fazendo-o entrar no condensador, onde condensa e se dirige para o evaporador passando pela válvula de expansão. O fluido frigorígeno ao passar no evaporador, vaporiza novamente, produzindo o frio e o gás é recolhido no absorvedor onde se mistura com o líquido aí existente e forma nova solução que é bombeada para o fervedor, iniciando novo ciclo (Koelet, 2002).

O sistema de expansão de ar ou gás utiliza a energia mecânica para realizar a compressão do ar ou do gás até um nível de pressão muito elevada. Em seguida, o ar ou gás comprimido é arrefecido e expande-se para um nível de pressão mais baixa. Durante o processo de expansão a temperatura do ar ou gás diminui bastante, produzindo dessa forma o efeito de refrigeração. Este sistema utiliza o calor sensível do ar ou gás para efectuar o arrefecimento do meio a refrigerar ao contrário da máquina de compressão a vapor ou de absorção que se baseiam no princípio do calor latente do fluido.

O sistema de compressão de vapor domina as aplicações de produção de frio com mais de 90% de todas as produções a nível mundial (Devotta e Sicars, 2005; Toro, 2006). Esta abrangência deve-se em grande parte à facilidade com que satisfaz os níveis de temperatura usados nas indústrias, configuração simples, tecnologia desenvolvida, grande versatilidade, baixo custo, bom desempenho e boa eficiência energética comparativamente aos outros tipos de sistemas e não influencia excessivamente as condições ambientais durante o seu funcionamento (Toro, 2006; Wang, 1999).

O objectivo do sistema de refrigeração é o de retirar a energia sob a forma de calor do interior do meio que se pretende refrigerar mediante a utilização do trabalho exterior, que é fornecido ao sistema (Langley, 2009). O seu desempenho é avaliado através do parâmetro eficiência (ε), também designado por “coeficiente de performance” (COP) que se define como a relação entre o calor removido do ambiente a baixa temperatura e o trabalho fornecido do exterior, de acordo com a equação 2.1.

$$\varepsilon = \frac{\text{Calor removido do ambiente a baixa temperatura}}{\text{trabalho fornecido do exterior}} \quad (2.1)$$

O valor máximo da eficiência de um ciclo frigorífico obtém-se quando o sistema trabalha de acordo com as condições impostas no ciclo de Carnot. Este ciclo admite uma compressão adiabática e reversível (isentrópica), uma cedência de calor a temperatura constante (isotérmica), expansão adiabática e reversível (isentrópica), e finalmente uma expansão a temperatura constante (isotérmica), respectivamente. O ciclo pressupõe que a compressão e a expansão adiabática se realizam em sistemas isolados, sem trocas de calor com o meio exterior, sem atritos nem perdas de energia e a compressão e expansão isotérmica admitindo a existência de uma fonte fria e quente de dimensões infinitas para que o calor possa ser extraído e cedido, respectivamente, sem provocar alteração no valor das temperaturas da fonte fria (T_1) e da fonte quente (T_2) (Koelet, 2002; Pineda, 2001; Wang, 1999).

A figura 2.1 apresenta o esquema do Ciclo inverso da máquina de Carnot, com indicação das respectivas transformações, no diagrama P-h (Mollier).

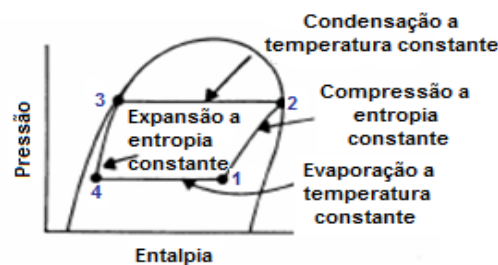


Figura 2.1 - Representação do Ciclo inverso da máquina de Carnot e das transformações que o constituem, no Diagrama P-h (Mollier).

A eficiência da máquina frigorífica do Ciclo de Carnot que funciona entre as temperaturas da fonte fria (T_1) e da fonte quente (T_2), com o valor das temperaturas em Kelvin (K), é só função do valor destas duas propriedades, conforme se apresenta na equação 2.2.

$$\varepsilon_{carnot} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (2.2)$$

Por motivos de natureza técnica, mecânica, física e económica a eficiência do ciclo de uma máquina real difere muito da eficiência de Carnot e para efeitos comparativos é usual utilizarmos um ciclo mais próximo do funcionamento de uma máquina real, neste caso o ciclo teórico (Langley, 2009).

No ciclo teórico admite-se que a compressão e a queda de pressão na válvula de expansão se realizam segundo uma transformação isentrópica e isentálpica, respectivamente. Segundo (Langley, 2009) estas modificações acarretam uma diminuição da eficiência do ciclo, promovida pela diminuição da capacidade de refrigeração e do aumento do trabalho do compressor.

A Figura 2.2 mostra um esquema básico de um sistema de refrigeração por compressão de vapor, com seus principais componentes, e o seu respectivo ciclo teórico construído sobre um diagrama de Mollier, no plano P-h. Os equipamentos esquematizados na referida figura representam,

genericamente, qualquer dispositivo capaz de realizar os respectivos processos específicos indicados.

Na referida figura, os circuitos de alta pressão serão representados a vermelho e os de baixa pressão a azul.

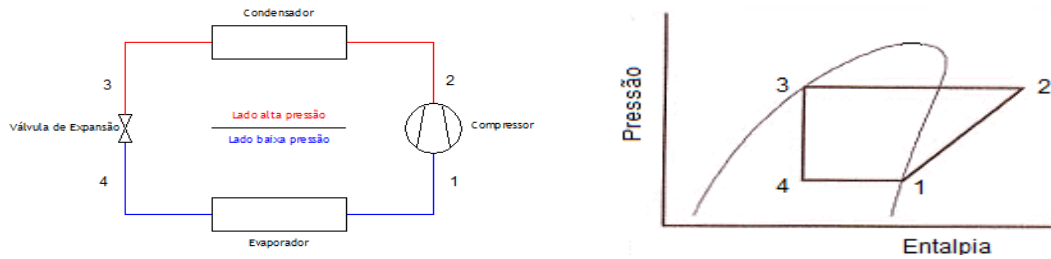


Figura 2.2 - Esquema básico do sistema de refrigeração e diagrama P-h (Mollier) do Ciclo Teórico de compressão de vapor-

Conforme representado no diagrama P-h, da figura 2.2, o ciclo teórico de compressão a vapor é constituído por uma compressão isentrópica (processo 1 - 2), um arrefecimento e condensação do vapor até líquido saturado a pressão constante (processo 2 - 3), uma expansão isentálpica até à pressão de evaporação (processo 3 - 4) e finalmente uma evaporação do fluido a pressão e temperatura constante até ao estado de vapor saturado (processo 4 - 1).

Neste ciclo, o trabalho fornecido pelo compressor é utilizado para aumentar a pressão do vapor saturado, até atingir a pressão de condensação. No final da compressão o vapor sobreaquecido, passa no condensador e transfere o calor para o meio exterior e condensa passando ao estado de líquido saturado. O fluido frigorigéneo é encaminhado para a válvula de expansão e sofre uma diminuição de pressão até chegar à pressão de evaporação, como uma mistura de líquido mais vapor (baixos valores do título χ). Seguidamente, o fluido frigorigéneo passa no evaporador onde absorve o calor do meio a refrigerar e vaporiza, seguindo em direcção ao compressor, onde recomeça um novo ciclo.

Alguns dos principais parâmetros utilizados na caracterização do ciclo teórico de compressão de vapor são o efeito frigorífico específico ($e.f.e.$), potência frigorífica (\dot{Q}_{evap}), potência cedida no condensador (\dot{Q}_{cond}) e a potência do compressor (\dot{W}_{comp}) (Langley, 2009; Pineda, 2001).

O efeito frigorífico específico ($e.f.e.$) representa a quantidade de calor absorvido por quilograma de fluido frigorigéneo no evaporador e é definido, pela equação 2.3, como a diferença entre o valor da entalpia do fluido frigorigéneo à saída e à entrada do evaporador, representados na figura 2.2 por ponto 1 e ponto 4, respectivamente.

$$e.f.e. = (h_1 - h_4) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.3)$$

A potência frigorífica ou capacidade de refrigeração (\dot{Q}_{evap}) corresponde à quantidade de calor que por unidade de tempo é absorvido pelo fluido frigorigéneo no evaporador, sendo definida pela equação 2.4 como o produto do caudal mássico de fluido frigorigéneo \dot{m} e o efeito frigorífico específico do ciclo ($e.f.e.$).

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (\text{kW}) \quad (2.4)$$

No caso da potência cedida pelo condensador (\dot{Q}_{cond}), esta grandeza traduz a quantidade de calor que por unidade de tempo o fluido frigorígeno cede ao meio exterior, sendo avaliado pelo produto do caudal mássico de fluido frigorígeno \dot{m} e a diferença entre o valor da entalpia do fluido frigorígeno à entrada e à saída do condensador (ver equação 2.5), também representados na figura 2.2, por ponto 2 e 3, respectivamente.

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (\text{kW}) \quad (2.5)$$

Finalmente, a potência específica de compressão (\dot{W}_{comp}), corresponde à quantidade de energia necessária para realizar o ciclo por unidade de tempo, sendo neste caso obtida pelo produto do caudal mássico de fluido frigorígeno (\dot{m}) e o trabalho específico realizado na compressão, definido pela diferença de entalpia do fluido correspondente aos estados final e inicial da compressão, que se encontram representados na figura 2.2 pelos índices 2 e 1, respectivamente, de acordo com a equação 2.6.

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (\text{kW}) \quad (2.6)$$

De acordo com (ASHRAE, 1986), a eficiência do ciclo teórico de compressão de vapor (ε), é definida pelo quociente entre o efeito frigorífico específico e o trabalho específico realizado pelo compressor, como mostra a equação 2.7.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.7)$$

No ciclo teórico, a eficiência do ciclo de compressão de vapor teórico depende das temperaturas da fonte fria (T_1) e da fonte quente (T_2) e ainda das propriedades do fluido frigorígeno usado no ciclo (Koelet, 2002; Langley, 2009; Pineda, 2001).

O ciclo real de compressão de vapor apresenta muitas diferenças em relação ao ciclo teórico em resultado das características geométricas, mecânicas e térmicas do compressor que proporcionam fugas de fluido frigorígeno através do pistão e das válvulas, absorção do óleo pelo fluido frigorígeno, queda de pressão nas linhas de descarga e de sucção e perdas de energia sob a forma de calor do fluido frigorígeno no compressor (desvia a compressão isentrópica para uma transformação politrópica (Domínguez, 2011; Koelet, 2002; Langley, 2009). Cumulativamente, ainda tem a influência de sub-arrefecimento e sobreaquecimento do fluido à saída do condensador e entrada no compressor, respectivamente (Pineda, 2001); (Koelet, 2002). Alguns destes fenómenos contribuem positivamente para a melhoria da eficiência do ciclo, como é o caso do sub-arrefecimento, mas outros, em geral, exercem uma influência negativa, como é o caso do sobreaquecimento do fluido frigorígeno à entrada do compressor (Pineda, 2001).

Na figura 2.3 mostra-se a representação do ciclo teórico de compressão de vapor no diagrama P-h, com sub-arrefecimento (do ponto 3 até ao ponto 3') e sobreaquecimento (do ponto 1 até ao ponto 1'), respectivamente.

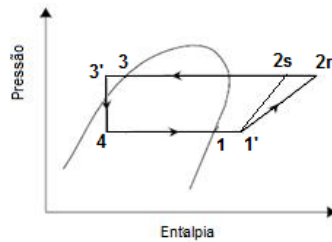


Figura 2.3 - Diagrama P-h do Ciclo Teórico de compressão de vapor com sub-arrefecimento e com sobreaquecimento.

O sub-arrefecimento é produzido pela área de transferência de calor no final do condensador, durante a movimentação do fluido na linha de líquido ou no reservatório de líquido, através da cedência de calor para o meio ambiente ou por intermédio da utilização de permutadores de calor especiais de arrefecimento de líquidos, antes de chegar à válvula de expansão.

O sub-arrefecimento favorece o aumento do efeito frigorífico específico de refrigeração ($e.f.e.$) e a eficiência frigorífica do ciclo (ε). Normalmente, os sistemas de refrigeração trabalham com sub-arrefecimento entre 3 a 4°C, podendo no entanto ser superiores nos ciclos de um ou dois estados de compressão.

Já quanto ao sobreaquecimento de vapor à entrada do compressor, Langley (2009) e Pineda (2001) referem que este fenómeno consiste no aquecimento do vapor saturado e que ele é desejável para evitar a entrada de líquido para o interior do compressor, pois a acontecer pode trazer danos irreparáveis a esse componente. Ainda assim, o sobreaquecimento engloba geralmente duas parcelas, uma que pode ser útil para o desempenho do sistema e outra inútil, uma vez que não trás benefícios para o mesmo. O sobreaquecimento útil contribui positivamente para aumentar o efeito frigorífico específico do ciclo, mas ao mesmo tempo o trabalho de compressão também aumenta, principalmente devido ao aumento no volume específico do vapor. Como resultado, o efeito de refrigeração volúmica do fluido frigorígeno e a eficiência do ciclo, ou COP, pode aumentar ou diminuir com sobreaquecimento dependendo do aumento relativo no efeito de refrigeração e no volume específico ((Carmona, 2009; Koelet, 2002; Pineda, 2001). Segundo Prasad (2007) o sobreaquecimento reduz o COP e o efeito de refrigeração volúmica para o fluido frigorígeno amoníaco, aumenta para fluidos frigorígenos R134a e CO₂ e para o R22 o efeito é mais complexo, pois no início o efeito é favorável, passando depois a ter um efeito negativo.

As características geométricas do compressor e as propriedades do fluido frigorígeno na zona de sucção exercem igualmente uma influência no desempenho do sistema de refrigeração real (Carmona, 2009; Koelet, 2002). Segundo Koelet (2002, Langley (2009 e Pineda (2001) o caudal volúmico aspirado pelo compressor (V_{asp}), é função das características do vapor à entrada do compressor e é definido pelo produto do caudal mássico do fluido frigorígeno \dot{m} (Kg/s) pelo volume específico do vapor à entrada do compressor.

A relação entre estes dois tipos de caudais traduz uma das principais características do compressor, que é o seu rendimento volumétrico real η_{volR} . Este parâmetro que se define pela

relação entre o caudal volúmico aspirado (V_{asp}) e o caudal volúmico varrido pelo pistão (V_{var}) dá-nos indicação da variação da capacidade de refrigeração. De acordo com Carmona (2009) e Koelet (2002), este parâmetro é fortemente influenciado pela razão de pressão, dimensões do compressor, acção das válvulas e do desgaste do compressor, sendo mais baixo para os compressores mais usados e com fugas nas juntas e nas válvulas e para razão de pressão mais elevada. Por outro lado, também varia com o tipo de fluido frigorígeno, sendo mais baixo para os fluidos frigorígenos mais densos, como os halogenados.

As perdas de energia por transferência de calor do vapor com as paredes do cilindro, as perdas de calor através das válvulas e as perdas de hermeticidade do compressor, proporcionam um desperdício de energia que obriga a um maior consumo energético do compressor comparativamente ao consumo apresentado no ciclo teórico. Este aumento de energia está relacionado com as características da compressão politrópica do fluido frigorígeno e é geralmente avaliado através do rendimento isentrópico do compressor (η_{isent}), que se define como a relação entre a energia teórica consumida na compressão isentrópica ($s_1 = s_2$) e a energia realmente consumida pelo compressor no decurso da transformação politrópica (equação 2.8), (Langley, 2009; López, 2005; Pineda, 2001).

$$\eta_{isent} = \frac{\dot{W}_{comp}}{\dot{W}_{comp.real}} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2real} - h_1} \quad (2.8)$$

Tendo em conta os efeitos anteriormente referidos, a eficiência do ciclo de refrigeração real pode ser obtida através da conjugação das eq. 2.7 e eq. 2.8 (Koelet, 2002; Langley, 2009).

O ciclo de refrigeração real apresenta uma eficiência bastante mais baixa em relação ao ciclo teórico de compressão de vapor. Limitações práticas, tais como o tamanho do equipamento, a pressão do sistema, e o valor das temperaturas de evaporação e de condensação, são responsáveis pela diminuição do desempenho destes sistemas. Os valores do COP do sistema real são cerca de 20% a 30% do COP teórico comparativamente ao ciclo de Carnot a funcionar nas mesmas condições. Os componentes individuais, tais como o compressor, podem ter uma eficácia de 40% a 60% do COP teórico (ETSU, 2004).

As condições de trabalho (temperatura de evaporação e de condensação) são geralmente os factores que maior influência exerce no desempenho energético do ciclo de refrigeração (Koelet, 2002).

O aumento da temperatura de evaporação (T_e) para a mesma temperatura de condensação (T_c), proporciona uma diminuição do trabalho de compressão e o aumento do efeito frigorífico específico (*e.f.e.*) contribuindo assim para o aumento da eficiência do ciclo de refrigeração (ε) (Langley, 2009; Pineda, 2001; Wang, 2001).

A figura 2.4 mostra a variação da capacidade de refrigeração e a variação da potência para um compressor que trabalha com diferentes temperaturas de evaporação.

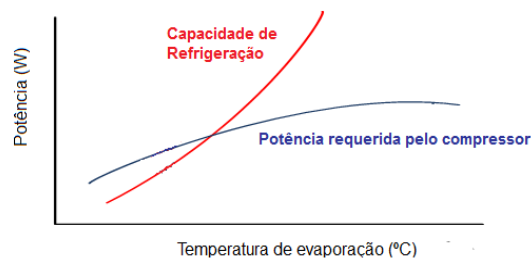


Figura 2.4 - Influência da variação da temperatura de evaporação sobre a capacidade de refrigeração e potência requerida por um compressor (temperatura de condensação constante).

Conforme se observa nesta figura, embora seja necessário mais potência de compressão pelo compressor para trabalhar a temperaturas de evaporação mais altas, a curva da energia não cresce tão rapidamente como a curva da capacidade. Na prática, isto significa que se produz mais refrigeração por unidade de potência de compressão, para maiores valores da temperatura de evaporação.

A diminuição da temperatura de condensação (T_c), favorece igualmente o aumento do efeito frigorífico específico (e.f.e) e a capacidade do compressor e por conseguinte, melhora a eficiência do ciclo (ε), (Koelet, 2002; Langley, 2009; Pineda, 2001; Prasad, 2007).

A figura 2.5 mostra o efeito da variação da temperatura de condensação sobre a capacidade de refrigeração e a potência requerida pelo compressor. À medida que a temperatura de condensação e a pressão de condensação aumentam, a capacidade diminui ligeiramente, mas a potência aumenta rapidamente.

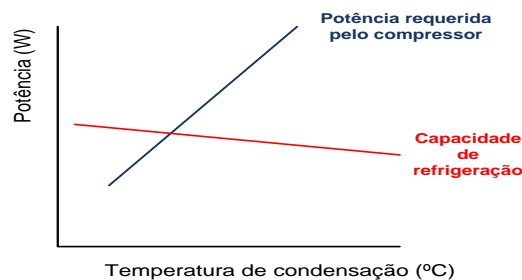


Figura 2.5 - Influência do aumento da temperatura de condensação sobre a capacidade de refrigeração e a potência requerida pelo compressor.

Em conclusão podemos afirmar que as pressões de condensação e de evaporação (consequentemente as temperaturas de condensação e de evaporação), bem como o tipo de fluido frigorígeno adoptado são os parâmetros que maior influência exerce na eficiência energética do sistema de refrigeração. Devemos pois trabalhar com temperaturas de condensação o mais baixas possíveis e temperaturas de evaporação o mais altas possíveis, ou seja com razão de pressão baixa, pois fora destas condições a eficiência do ciclo de refrigeração diminui, com o consequente aumento do consumo de energia e diminuição da potência frigorífica.

2.2.2. Elementos principais dos sistemas de refrigeração

As principais grandezas utilizadas para caracterizar os sistemas de refrigeração são a sua capacidade de refrigeração (\dot{Q}_{evap}) e a potência de compressão (\dot{W}_{comp}). Estes dois parâmetros, para além de serem usados para avaliar o desempenho energético do sistema, servem igualmente para aferir a sua capacidade para a manutenção das condições ambientais desejadas nos equipamentos de frio.

A capacidade do sistema de refrigeração depende das características dos elementos que o constituem, nomeadamente dos quatro elementos fundamentais: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. Para obter as condições de funcionamento pretendidas todos os elementos que o compõem, trabalham em conjunto para atingir os pontos de equilíbrio do sistema (Langley, 2009).

Os elementos constitutivos dos sistemas de refrigeração são da maior relevância para a obtenção das características dos sistemas usados no sector doméstico, comercial e industrial.

Neste sentido, efectua-se, uma apresentação dos elementos mais relevantes dos sistemas de refrigeração, encontrados nas indústrias agroalimentares.

2.2.2.1. Compressor

A função primordial do compressor é a de aumentar a pressão do fluido frigorígeno e promover a movimentação desse fluido dentro do circuito frigorífico.

Existem vários tipos de compressores usados na refrigeração, mas os mais aplicados na indústria, em particular nas agroalimentares são os compressores do tipo: alternativo, parafuso e scroll (Dinçer, 2003; Langley, 2009; Martín, 2005).

Estes compressores realizam a compressão do vapor de fluido frigorígeno mediante a redução interna do volume de uma câmara de compressão, provocado por um órgão mecânico (deslocamento positivo ou volumétricos (Dinçer, 2003; Koelet, 2002; Pineda, 2001).

Todos os compressores que integram as categorias anteriores, são constituídos por um motor, órgão responsável pela movimentação dos componentes do compressor e pelo compressor propriamente dito e encontram-se disponíveis com três configurações geométricas distintas: abertos, semi-herméticos e herméticos (Pineda, 2001). A diferença entre estas configurações está na forma de instalação do conjunto motor-compressor, do acesso ao interior do compressor e no sistema de vedação do óleo de lubrificação. No compressor aberto, o motor de accionamento está claramente fora do compressor sendo a sua ligação efectuada através de um veio mecânico ou por uma transmissão de tambores e correias, permite uma grande facilidade de reparação e necessita de equipamento de vedação de óleo. As duas categorias restantes, o motor e o compressor encontram-se ambos instalados no interior de uma carcaça, sendo possível o acesso ao interior da mesma, só no compressor do tipo semi-hermético, ao contrário do compressor do tipo hermético que se encontra selada.

Os compressores do tipo aberto disponibilizam maiores capacidades de refrigeração, podem trabalhar com fluidos halogenados e com o amoníaco e apresentam um maior rendimento isentrópico, enquanto os do tipo semi-hermético e hermético disponibilizam menores capacidades de refrigeração, trabalham só com fluidos frigorigéneos halogenados e possuem menor rendimento isentrópico (Cai, 2008).

O compressor alternativo consiste de uma cambota ligada a um veio motor, que acciona 1, 2, 3, 4 ou 6 pistões móveis, mutuamente no interior dos cilindros através de uma biela. A admissão e a expansão do vapor de fluido frigorigéneo são controladas por intermédio de válvulas que se encontram dispostas convenientemente no compressor para permitirem a compressão. Em termos geométricos e de volume, apresenta-se disponível na categoria monocilíndrica ou multicilíndrica (cilindros em V, W, VV, radial ou em linha), é leve, versátil e funcional. A sua velocidade de rotação atinge as 3000 rpm. Uma descrição detalhada das suas características geométricas e de funcionamento podem ser consultadas em Koelet (2002), Martín, (2005) e Pineda (2001).

O domínio de aplicação do compressor alternativo é muito vasto sendo frequente a sua utilização no sector doméstico com potências frigoríficas inferiores a 0,5 kW, no sector comercial com potências frigoríficas entre 0,5 e 20 kW e no sector industrial, onde é o compressor mais utilizado, com potências frigoríficas desde 20 a 800 kW (Pineda, 2001). A sua razão de pressão máxima para um estágio de compressão é cerca de 7, o rendimento volumétrico η_{volR} diminuiu de 0,92 até 0,65 quando a razão de pressão varia de 1 até 6 e possui boa aptidão para funcionar com vários tipos de fluidos frigorigéneos.

Para responder à variação de carga térmica nas câmaras de refrigeração estes compressores podem actuar com um dos seguintes métodos: i) controlo do funcionamento do compressor através do método ligado-desligado; ii) regulação de contrapressão que estrangula o gás de sucção entre o evaporador e o compressor de forma a manter o evaporador a pressão constante - este método permite um bom controlo da temperatura do evaporador mas é ineficiente; iii) utilização de um bypass para o gás de descarga de volta para a linha de sucção - normalmente permite uma redução precisa da capacidade, mas é um método ineficiente e o compressor fica a trabalhar muito tempo (neste caso é preferível criar o bypass que leva o gás de descarga para a entrada o evaporador); iv) Utilização de cilindros sem carga num compressor multicilíndros, onde automaticamente a válvula de sucção é deixada aberta ou o gás de descarga é desviado do cilindro de volta para a linha de sucção antes da compressão (Langley, 2009).

O compressor de parafuso tem vindo a registar ultimamente um aumento da sua aplicação na produção de frio. Este tipo de compressor apresenta actualmente duas configurações geométricas diferentes: compressor de parafuso simples e o compressor de parafuso duplo. Esta última é a mais utilizada devido ao facto de apresentar eficiência isentrópica ligeiramente maior, em torno de 3% a 4%.

O compressor de parafuso duplo é tipicamente constituído com dois rotores helicoidais, montados em chumaceiras para fixar as suas posições na câmara de trabalho numa tolerância muito pequena em relação à cavidade cilíndrica, que é selada com óleo (Prasad, 2007; Reindl,

2005). Os dois rotores rodam em sentido contrário (pistão rotativo), sem contacto com o interior da cavidade cilíndrica fixa. O rotor principal (macho), que em geral é o rotor motor é constituído por dentes em forma de hélices convexas ao longo do seu comprimento (em geral 4), e engrenam no rotor secundário (fêmea) similarmente construído por dentes helicoidais (em geral 6). A ligação do compressor com o sistema faz-se através dos orifícios de aspiração e de descarga, diametralmente opostas. O vapor entra pelo orifício de aspiração e ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores, ficando aí retido e sendo posteriormente comprimido à medida que o volume do intervalo vai diminuindo com a rotação dos rotores. De entre as suas principais características destaca-se a necessidade da utilização de um sistema de injeção de óleo na câmara de compressão para efeitos de vedação, lubrificação e arrefecimento. Segundo Pineda (2001), Wang (2001) e Reindl (2005) estes compressores apresentam uma maior eficiência em relação ao compressor alternativo, uma capacidade de refrigeração que varia entre 170 kW a 5250 kW, uma razão de pressão que pode chegar até 20:1, uma variação do rendimento volumétrico η_{volR} de 0,92 a 0,87 e do rendimento isentrópico η_{isent} de 0,82 a 0,67 quando a razão de pressão aumenta de 2 até 10, velocidades de rotação entre 3000 a 30000 rpm, baixo nível de ruído e de vibrações. Segundo Langley (2009) o controlo da capacidade destes compressores é realizado mediante a abertura de uma válvula deslizante, a qual se move paralelamente ao eixo do rotor e modifica o tamanho da abertura de acordo com a capacidade requerida. O vapor do fluido frigorigéneo de sucção é desviado para passagem de sucção antes da compressão, de modo que não seja necessária nenhuma força adicional para obter a capacidade de refrigeração desejada. Com este processo pode-se obter uma capacidade de refrigeração desde 100 até 10%. A modulação da capacidade de compressores de parafuso também pode ser efectuada com a variação da velocidade de rotação do parafuso. O método mais usado de velocidade variável do principal motor é uma unidade eléctrica de velocidade ajustável (ASD) também referida por velocidade variável (VSD) ou inversor de frequência variável (VFD).

Os compressores de parafuso apresentam uma elevada eficiência, grande simplicidade, versatilidade, durabilidade e confiabilidade (Dinçer, 2003; Langley, 2009).

O compressor do tipo scroll tem vindo a registar um aumento das suas aplicações nos últimos anos. Este compressor consiste no conjunto de duas peças em forma de espiral (em inglês “scroll”), onde uma das peças permanece fixa e a outra movimenta-se de maneira orbital e de forma excêntrica, formando “bolsas ou células” de compressão que diminuem gradativamente o seu volume e aumentam progressivamente a pressão. O contacto contínuo das superfícies com o filme de óleo tem um poder de vedação maior, quando comparado aos modelos de pistão. O compressor scroll possui somente 2 peças móveis, enquanto os modelos alternativos possuem no mínimo 5 componentes móveis trazendo maiores probabilidades de falhas. As principais vantagens do compressor scroll são: eficiência superior em cerca de 5 a 10% em relação ao do tipo alternativo, menor nível de ruído, de vibrações e de consumo de energia e de variação de momento com consequente aumento da vida útil. Este compressor apresenta actualmente o limite superior da capacidade de refrigeração da ordem de 40 kW, um rendimento volumétrico

superior a 0,95, uma razão de pressão máxima da ordem de 4 e um rendimento isentrópico igual a 0,8. A capacidade do compressor é normalmente controlada através da utilização do princípio de velocidade variável, geralmente obtida mediante a utilização de velocidade variável (VSD) ou inversor de frequência variável (VFD) (Prasad, 2007; Reindl, 2005).

A escolha do tipo de compressor para uma instalação depende da capacidade de refrigeração pretendida, da temperatura de vaporização e do fluido frigorigéneo usado. A figura 2.6 apresenta uma ilustração das várias gamas de capacidade de refrigeração disponibilizadas por cada um dos tipos de compressores.

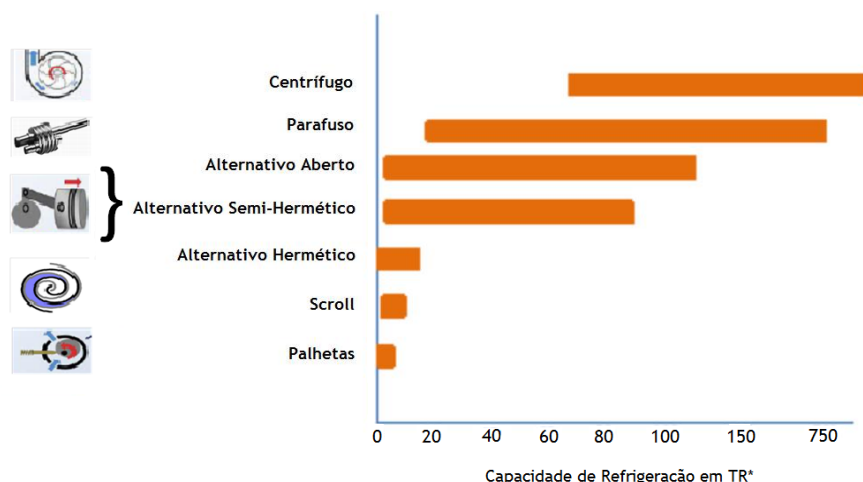


Figura 2.6 - Gama de capacidades de refrigeração dos compressores usados na refrigeração em toneladas de refrigeração.

2.2.2.2. Condensador

O condensador é um permutador de calor que promove a transferência de calor entre o fluido frigorigéneo e fluido absorvedor (em geral ar ou água).

Os condensadores mais utilizados nos sistemas de refrigeração das indústrias alimentares são de três tipos: os arrefecidos a ar, os arrefecidos a água e os condensadores evaporativos.

Os condensadores arrefecidos a ar apresentam uma configuração típica à de um permutador de calor de tubos e alhetas.

A figura 2.7 mostra esquematicamente um condensador arrefecido a ar. O vapor proveniente do compressor, a alta pressão e temperatura, entra no colector que alimenta os circuitos individuais da serpentina do condensador (tubos). Primeiro, o vapor de fluido frigorigéneo sofre um arrefecimento sensível e depois começa a liquefazer à medida que o calor é rejeitado para o exterior. O fluido frigorigéneo liquefeito sai pela parte inferior do condensador, geralmente no estado de líquido sub-arrefecido. A superfície principal do lado de fora do permutador de calor é melhorada com a colocação de alhetas. As alhetas melhoram consideravelmente o processo de transferência de calor através do aumento da área da superfície de permuta.

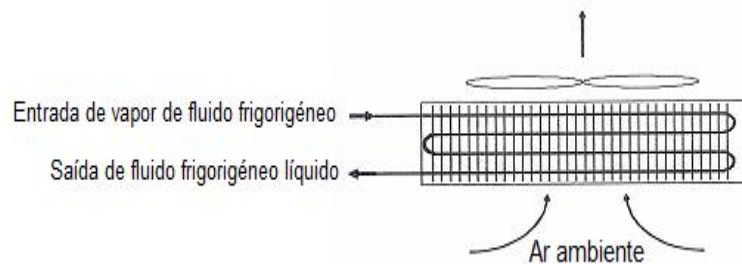


Figura 2.7 - Esquema de um condensador arrefecido a ar. Fonte: (Reindl, 2005).

O processo de rejeição de calor é conduzido pelo facto do fluido frigorígeno no interior do condensador se encontrar a uma temperatura [8-14°C] mais alta que a temperatura de bolbo seco do ar que entra.

Um ou mais ventiladores aspiram o ar ambiente através do corpo do permutador para facilitar a rejeição do calor.

A pressão de condensação é mantida pelo aumento ou diminuição da rejeição de calor que ocorre através do processo de funcionamento cíclico dos ventiladores do condensador no estado de ligado ou desligado, respectivamente.

Estes condensadores são aplicados em sistemas de refrigeração com pequenas e médias capacidades de refrigeração, geralmente compreendidas entre 3,5 a 352 kW, embora actualmente já estejam a ser usados em sistemas com 500 kW ou até alguns MW. São fáceis de instalar, tem reduzido custo de manutenção, possibilita o aumento do coeficiente de transferência de calor global através de convecção forçada do ar mediante a utilização de ventiladores do tipo axial, favorecendo a diminuição do tamanho e custo, embora trabalhem com uma pressão de condensação mais elevada (levando a um aumento do consumo de energia e custos operacionais elevados, podendo os consumos de energia dos ventiladores atingir 15% do consumo total do sistema de refrigeração (Bertrand, 2006). Detalhes das características destes condensadores podem ser encontrados em (Martín, 2005; Pineda, 2001; Reindl, 2005).

Os condensadores arrefecidos a água são os mais utilizados nos sistemas de refrigeração de grande dimensão. Para estas aplicações, os condensadores de corpo cilíndrico e feixe tubular são mais utilizados porque são de fácil limpeza e manutenção e podem ser utilizados em instalações frigoríficas de pequena, média e grande dimensão. Em geral, o fluido frigorígeno proveniente do compressor entra no topo do condensador e troca calor com a água que circula no interior do feixe de tubos, arrefecendo e condensando. O líquido saturado é drenado do fundo do corpo do permutador prosseguindo o ciclo.

A água quente deixa o condensador do lado oposto do permutador de calor, se este for só de uma passagem, ao invés da situação que ocorre se o condensador for de 2 passagens, como se ilustra na figura 2.8.

A alimentação de água fria para o condensador pode ser proveniente de um rio, lago ou lagoa. No entanto, para economizar água, a técnica mais comum é o uso de uma torre de arrefecimento. Para estas aplicações, existem vários tipos de torres de arrefecimento, podendo

estas ser classificadas segundo a forma como a água é distribuída no seu interior (queda de água por camadas ou por gotas), quanto ao sentido dos fluidos (em contracorrente ou em corrente cruzada) e na forma de movimentação do ar no seu interior (torres atmosféricas, torres de tiragem natural, torres de tiragem natural auxiliada e torres de tiragem mecânica forçada ou induzida) (Koelet, 2002; Pineda, 2001; Wang, 2001).

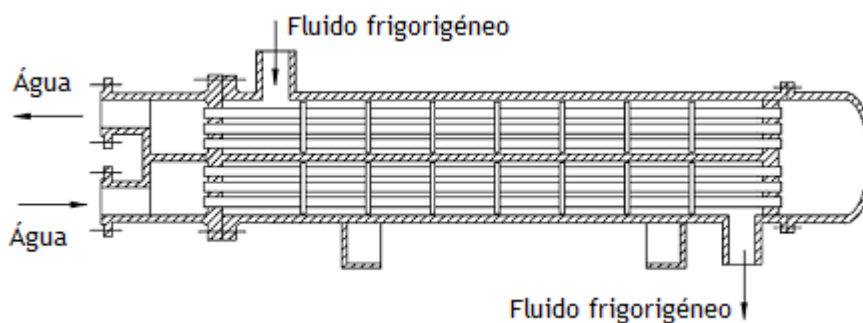


Figura 2.8 - Condensador de corpo cilíndrico e feixe tubular arrefecido a água. Fonte: (Reindl, 2005).

O salto térmico habitualmente usado no condensador arrefecido a água (diferença na temperatura de saturação do fluido frigorigéneo e a temperatura da água de entrada) é em geral igual a 6°C, segundo Reindl (2005).

Em comparação com os condensadores arrefecidos a ar, os sistemas com condensadores arrefecidos a água trabalham com pressões de condensação mais baixas favorecendo a eficiência do sistema. No entanto, os sistemas de refrigeração com condensadores arrefecidos a água trabalham com pressões de condensação mais elevadas (e eficiências mais baixas), quando comparado com os sistemas com condensadores evaporativos (Pineda, 2001; Reindl, 2005).

Por essa razão o método preferido para a rejeição de calor do sistema de refrigeração industrial é aquele que utiliza os condensadores evaporativos (Pineda, 2001). A figura 2.9 mostra o esquema do condensador evaporativo com um ventilador axial. O vapor sobreaquecido proveniente do compressor, entra no colector do condensador pela parte superior. O colector distribui o gás quente pelos tubos do permutador de calor que estão dispostos numa configuração típica em serpentina. À medida que o fluido frigorigéneo se desloca no interior dos tubos, através do permutador, rejeita calor para o ambiente exterior e o fluido frigorigéneo gasoso liquefaz durante o processo. O fluido frigorigéneo no estado de líquido saturado é recolhido a partir da saída do permutador de calor através de um colector de líquido de maior dimensão. De seguida, um tubo de drenagem, conduz por gravidade o líquido condensado a partir do colector de líquido para o depósito de líquido de alta pressão.

Estes condensadores estão dotados de ventiladores para movimentarem o ar ambiente no seu interior.

O processo de transferência de calor do fluido frigorigéneo para o ambiente é reforçado através de pulverização de água sobre a superfície exterior do permutador de calor. No fundo do condensador, encontra-se um reservatório para a recolha da água que atravessa o permutador e uma bomba para a fazer circular no sistema de pulverização (com uma potência de cerca 7 a 8%

da potência do compressor) e ainda um sistema de reposição de água com um controlo de nível (válvula de bóia).

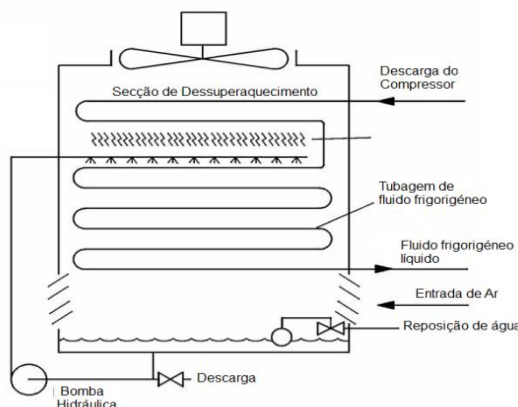


Figura 2.9 - Esquema do condensador evaporativo. Fonte: (Reindl, 2005).

O desempenho do condensador evaporativo depende de uma série de factores, incluindo: temperatura do bolbo húmido do ar exterior, a temperatura de condensação, a taxa de fluxo de ar e processo de vaporização de água (Bertrand, 2006; Clodic et al., 1999). Estudos realizados por Manske et al. (2001), destacam que uma boa concepção, optimização e controlo da pressão de condensação destes condensadores mostram que é possível reduzir os consumos anuais de energia do sistema de refrigeração em cerca de 11%.

Limitações técnicas das válvulas de expansão, para uma boa alimentação do fluido frigorígeno ao evaporador impedem que sejam ultrapassados os valores mínimos da pressão de condensação especificados pelo fabricante, podendo neste caso, ser usado um dos seguintes métodos: i) redução da alimentação do fluxo de ar ao condensador através da paragem ou arranque dos ventiladores; ii) alimentação modular do fluxo do ar de arrefecimento ao condensador; iii) redução da velocidade do ventilador de modo a passar menos ar na serpentina do condensador (Manske et al., 2001; Reindl, 2005; Wang, 2001).

2.2.2.3. 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.

Os dois tipos de evaporadores mais utilizados nas indústrias agroalimentares são os que têm como funções principais o arrefecimento de ar e de água (chillers) (Martín, 2005).

O evaporador para arrefecimento de ar é basicamente composto por uma serpentina de tubos com alhetas soldadas no seu exterior. Geralmente, tem instalado um ou mais ventiladores para aumentar o coeficiente de transferência de calor por convecção.

Na figura 2.10 apresenta-se um esquema de uma serpentina de um evaporador de arrefecimento de ar.

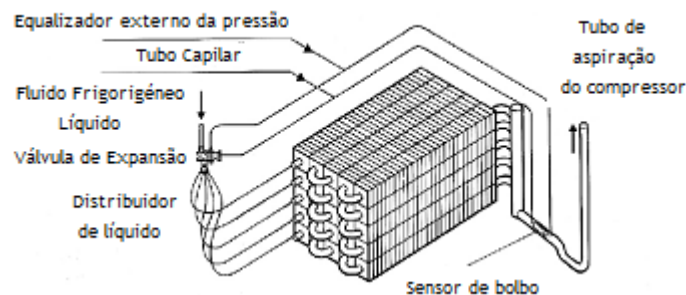


Figura 2.10 - Esquema da serpentina de um evaporador de arrefecimento de ar. Fonte: (Reindl, 2005).

Estes evaporadores dependem de várias variáveis e, por conseguinte, no momento da sua selecção e aplicação devem ter-se presente as seguintes condições: capacidade (capacidade sensível, capacidade latente e variação de carga térmica), temperatura, direcção do fluxo de ar (vertical ou horizontal), tipo de entrega de ar (canalizado ou não-canalizado), tipo de ventilador, (axial ou centrífugo), diferença de temperatura no evaporador, tipo de alimentação de fluido frigorígeno (expansão directa, inundado, bombeamento de líquido), modo de alimentação do fluido frigorígeno (alimentado pelo lado superior ou alimentado pelo lado inferior), método de descongelamento, perda de carga, condução do óleo e processo de limpeza.

Em geral os chillers apresentam-se em dois tipos de configurações distintas: permutadores de corpo cilíndrico e feixe tubular e permutadores de placas (Plates) (Reindl, 2005).

Os evaporadores do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular podem ser aplicados em sistemas de refrigeração alimentados de fluido frigorígeno através do tipo de expansão directa ou inundados. Em expansão directa, o fluido a ser refrigerado, flui através do lado do corpo, enquanto o fluido frigorígeno é directamente expandido dentro do tubo (fluidos fluorados). Num sistema inundado, o fluido que se pretende refrigerar circula no interior dos tubos enquanto o fluido frigorígeno (amoníaco) vaporiza na parte exterior aos tubos dentro do corpo, de forma que o amoníaco recolhe-se pela parte inferior do evaporador. Este tipo de evaporador é muito aplicado para arrefecimento de água, salmouras, mosto de vinho e sumos.

Os evaporadores de placas são relativamente novos no mercado. Permutadores de calor de placas são configurados com uma série de placas paralelas com a alternância de fluido frigorígeno, em placas adjacentes. Estes evaporadores oferecem um número grande de vantagens em relação aos do tipo de corpo cilíndrico e feixe tubular, destacando-se, logo à partida, a grande redução do espaço que ocupam na instalação. O conjunto de placas soldadas oferece o benefício adicional de uma redução considerável na área de permuta de calor e assim, menor carga de fluido frigorígeno e de eventuais fugas para o meio ambiente. A sua maior desvantagem é a dificuldade para a realização das operações de limpeza (Martín, 2005).

Para arrefecimento de líquidos ainda são utilizados os evaporados de tubos lisos de cobre ou aço, dispostos em vários tipos de geometrias (tubo liso enrolado em espiral, tubo liso disposto em zig-zag plano e o de feixe tubulares) com o fluido frigorígeno a circular no seu interior, sendo a sua aplicação em tanques para produção de água gelada, depósitos de arrefecimento de glicóis e salmouras e equipamentos para refrigeração directa de mostos, vinhos e outros líquidos (Martín,

2005). Os principais factores que influenciam o desempenho do evaporador são a área de transferência de calor, o salto térmico (DT) que é definido pela diferença entre a temperatura do meio a refrigerar e a temperatura de evaporação (T_e) e finalmente o processo de descongelamento (Carmona, 2009; Koelet, 2002; Langley, 2009; Pineda, 2001).

Um dos principais cuidados a ter com o evaporador é assegurar que este se mantenha limpo, incluindo a ausência de gelo, porque este impede a passagem de fluxo de ar através das serpentinas do evaporador, contribuindo para a diminuição da temperatura de evaporação (Langley, 2009). Para retirar o gelo do evaporador realiza-se regularmente o seu descongelamento, através de um sistema de controlo, mediante a utilização de um dos seguintes métodos (Dinçer, 2003; Langley, 2009; Martín, 2005): i) descongelamento com o ar da câmara; ii) descongelamento com ar exterior; iii) descongelamento com água; iv) descongelamento com resistências eléctricas; v) descongelamento com gás pobre; vi) descongelamento com inversão do ciclo; vii) descongelamento com gás quente; viii) descongelamento com glicol quente.

Para temperaturas positivas usa-se o tipo de descongelamento do próprio ar da câmara de refrigeração. Para temperaturas internas das câmaras próximas dos 0 °C pode-se usar o descongelamento através de água (no caso das hortofrutícolas). Quando as temperaturas são negativas é frequente usar o método de resistências eléctricas ou de gás quente, sendo este ultimo mais eficiente energeticamente (Pineda, 2001).

2.2.2.4. Válvula de expansão

A finalidade da válvula de expansão é o de proporcionar a redução da pressão do fluido frigorigéneo e controlar a quantidade que entra no evaporador.

Nos sistemas de refrigeração de pequena capacidade, normalmente abaixo de 10 kW, as válvulas são substituídas por um dispositivo mais simples: o tubo capilar. Em aplicações de maior capacidade recorre-se a válvulas de expansão termostáticas.

Para o caso do tubo capilar, à medida que o fluido frigorigéneo passa pelo tubo, a pressão cai devido à perda de carga que ocorre durante o seu movimento no interior do tubo (Martín, 2005). A diferença de pressão desejada pode ser obtida combinando-se os valores do diâmetro interno com o comprimento do capilar.

A válvula de expansão termostática regula o caudal de fluido frigorigéneo em função das variações de temperatura que ocorre à saída do evaporador. Estas válvulas abrem ou fecham à passagem de líquido de forma que a temperatura na linha de sucção do compressor permaneça constante, geralmente com um grau de sobreaquecimento do fluido frigorigéneo.

As válvulas electrónicas são equipamentos de regulação do caudal de fluido frigorigéneo construídas com recurso à electrónica e que melhora a alimentação de líquido permitindo um melhor uso do evaporador e menores graus de sobreaquecimento do fluido à entrada do compressor (Martín, 2005).

As válvulas electrónicas apresentam uma aplicação ainda pequena devido ao seu elevado custo.

De entre estes dois tipos de válvulas, as termostáticas são as mais usadas porque são as que mantêm uma boa relação de preço-qualidade e garantem um sobreaquecimento constante independentemente das condições do sistema, evitando assim a entrada de líquido no compressor. Estas válvulas mantêm valores de sobreaquecimento entre 5 a 8 °C (Langley, 2009; Venturini, 2005) e trabalham eficientemente quando não apresentam desgastes mecânicos, ou quando trabalham sob uma condição de perda de carga constante e ainda, quando o caudal de fluido frigorígeno é relativamente constante através dela. Um funcionamento irregular deste dispositivo, proporciona uma carga de fluido frigorígeno diferente daquela que é especificada no projecto e provoca um abaixamento da pressão de condensação e uma elevação da pressão de aspiração, desencadeando um funcionamento ineficiente nos diversos componentes do sistema de refrigeração.

Actualmente, as válvulas de expansão electrónicas proporcionam valores mais baixos do sobreaquecimento (2 °C) sem o risco de entrada de líquido para o compressor, proporcionando melhores desempenhos do sistema.

A maioria dos evaporadores trabalham aproximadamente com sobreaquecimentos compreendidos entre os 5,5 a 13 °C, sendo que para cada grau de sobreaquecimento ocorre 3% de redução da capacidade do evaporador (Langley, 2009; Venturini, 2005).

A influência da diminuição do sobreaquecimento no consumo de energia no compressor de uma instalação de refrigeração a trabalhar com o R22 e uma temperatura de evaporação de -10 °C, foi estudada por Venturini (2005), tendo o autor concluído que o consumo de energia do compressor reduz-se 1,8% por cada 5 °C de diminuição do sobreaquecimento.

2.2.2.5. Fluidos frigorígenos

Os fluidos frigorígenos são substâncias utilizadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Os fluidos utilizados nos finais do século XIX, eram substâncias inorgânicas, como o NH₃, CO₂ e SO₂. Estes fluidos abandonaram-se no início do século XX devido a problemas técnicos e segurança: pressões altas de trabalho (CO₂), continuando a permanecer sómente o amoníaco.

Na década de 1930 começou a usar-se os: clorofluorcarbonetos também conhecidos por CFC's (R11, R12, R13, R113, R500 e R502) e os hidroclorofluorcarbonetos designados por HCFC's (R22, R123, R124). Estes fluidos frigorinêneos instalaram-se profundamente durante o século XX, até que estudos científicos consideraram, em 1974, estes fluidos negativos para o meio ambiente. Foram então considerados como os maiores responsáveis pelo aparecimento do buraco na camada de ozono sobre a Antártica. Devido a este efeito, o Protocolo de Montreal, de 1986, determinou a sua substituição, provocando uma verdadeira revolução na indústria frigorífica. Daí o aparecimentos de novos fluidos, mais amigos do ambiente, sem a molécula do cloro: os hidrofluorcarbonetos (HFC's). De entre estes fluidos destacam-se o R23, R32, R125, R134a, R404a, R407a, R407b, R407c, R410a, R410b, R507a. Por outro lado, este problema ambiental

veio também a aumentar o interesse pelos fluidos inorgânicos iniciais, como seja o CO₂ (R744), NH₃ (R717) e SO₂ (R764) (UNEP, 2002).

Para além destes fluidos também se usam os hidrocarbonetos, tais como o Metano (R50), Etano (R170), Propano (R290) e o Isobutano (R600a).

A designação dos fluidos frigorigéneos é feita de acordo a norma ASHRAE 34-1992, por números de, no máximo quatro algarismos.

A Figura 2.11 mostra um esquema da legislação em vigor relativa à utilização dos fluidos frigorigéneos.

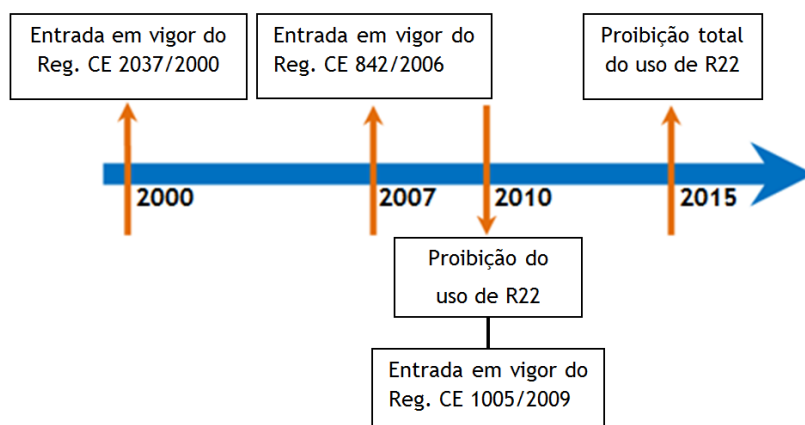


Figura 2.11 - Esquema com indicação da legislação dos fluidos frigorigéneos em vigor.

Em função da forma como se dá a transferência do calor entre o fluido frigorigéneo e a substância que se pretende arrefecer, os fluidos podem classificar-se em duas categorias: fluidos primários e fluidos secundários (Koelet, 2002). Os fluidos primários são aqueles que realizam directamente o arrefecimento das substâncias através da sua vaporização no evaporador, enquanto que os fluidos secundários são aqueles que são previamente arrefecidos pelos fluidos primários e depois exercem a função de elemento transportador do frio para as substâncias que se pretendem arrefecer.

Os fluidos primários mais utilizados inicialmente foram os CFC's e HCFC's mas actualmente, em cumprimento da legislação, encontramos o R134a, R404a, R407a e ainda o R22. Além dos fluidos fluorados, outros tipos de fluidos frigorigéneos são usados, como o R744 (CO₂) e o R717 (NH₃).

Em processos industriais, principalmente em grandes instalações o amoníaco é o refrigerante mais utilizado, mas apresenta características adequadas também para ser instalado em médias instalações para substituição do R22 (Pearson, 2013).

As características desejáveis de um fluido frigorigéneo primário são: i) pressão de vaporização não muito baixa; ii) pressão de condensação não muito elevada; iii) calor latente de vaporização elevado; iv) volume específico reduzido (especialmente na fase vapor); v) coeficiente de performance (COP) elevado; vi) condutibilidade térmica elevada; vi) baixa viscosidade na fase líquida e gasosa; vii) baixa constante dielétrica, grande resistência elétrica e característica de não-corrosão dos materiais isolantes elétricos; viii) ser estável e inerte; ix) não ser poluente; x) não ser tóxico ou excessivamente estimulante; xi) não ser inflamável ou explosivo; xii) de fácil

detecção em caso de fuga; xiii) deve ser de preço moderado e facilmente disponível, de acordo com as recomendações de (Dinçer, 2003; Martín, 2005; Pineda, 2001; Wang, 2001).

As pressões exercidas podem ser factor determinante na selecção do fluido frigorigéneo. Se por um lado, pressões elevadas exigem tubagens e reservatórios de maior espessura, por outro, fluidos frigorigéneos de baixa pressão podem ser inadequados em aplicações de baixa temperatura de evaporação, devido à possibilidade de ocorrência de pressões inferiores à atmosférica em determinadas regiões do circuito, permitindo a entrada de ar atmosférico.

Os fluidos R404a, R502 e R13, por exemplo, apresentam pressões superiores, razão pela qual são utilizados em aplicações de baixas temperaturas de evaporação. Já os fluidos frigorigéneos R12 e R134a apresentam pressões menores, sendo utilizados em aplicações com temperatura de evaporação mais elevada, entre -20 °C e 0 °C.

As temperaturas de evaporação e condensação constituem parâmetros que determinam o tipo de fluido adequado à instalação. Fluidos frigorigéneos de baixa temperatura crítica e, portanto, de baixa temperatura de ebulição normal, devem ser utilizados em aplicações de baixa temperatura de evaporação. Por outro lado, fluidos de elevada temperatura crítica são adequados para aplicações de alta temperatura de evaporação, como em bombas de calor para aquecimento de água (Koelet, 2002).

Atualmente a legislação do domínio público dá indicação das características dos gases fluorados com efeito de estufa/substâncias que empobrecem a camada de ozono. Neste contexto considera-se os Regulamentos da CE 1005/2009 (Revoga o Regulamento CE 2037/2000 a 1 de Janeiro de 2010) e 842/2006 que afectam a utilização dos equipamentos com fluidos frigorigéneos derivados de hidrocarbonetos.

O Regulamento CE n.º 842/2006 do Parlamento Europeu de 17 de Maio de 2006, publicado no mês de Junho do mesmo ano, especifica as actuações a levar a cabo com determinados gases fluorados com efeito de estufa (HFC's) a fim de evitar a sua emissão para a atmosfera. Este regulamento entrou em vigor a partir do dia 04 de Julho de 2007.

Os principais fluidos frigorigéneos utilizados no compressor de parafuso são o R134a, R-404a, e o R407c, em aplicações de ar condicionado e instalações frigoríficas de médio e grande porte. O amoníaco (R717) é usado com muita frequência em aplicações industriais (UNEP, 2011).

Os fluidos secundários mais usados nos estabelecimentos agroalimentares são a água, soluções de água mais sal, sais de cloreto de sódio e cálcio, soluções de glicol e para aplicações especiais utilizam-se diclorometano (CH_2Cl_2) e tricloroetileno (C_2HCl_3) entre outros (Koelet, 2002).

Os fluidos secundários assumem um papel muito relevante nos sistemas de refrigeração secundários. A sua selecção efectua-se em função das aplicações do utilizador mas este deverá possuir boas propriedades termofísicas. Deve transferir grandes quantidades de frio com pouca modificação de temperatura nos permutadores de calor e com um caudal volúmico reduzido.

O seu estado físico do fluido secundário tem uma grande influência nas permutas de calor e em função destas características eles podem ser classificados em duas categorias: fluidos monofásicos e bifásicos (Pruzaesky, 2008). Os primeiros utilizam o calor sensível do líquido para efectuar o arrefecimento. Os mais utilizados são a água, salmouras, soluções de potássio e os

álcoois (Martín, 2005; Pineda, 2001). Nos da segunda categoria, a transferência de calor realiza-se por intermédio da variação de entalpia correspondente à mudança de estado físico do fluido. As mudanças de estado consideradas para as temperaturas negativas são a fusão para o fluido secundário bifásico líquido-sólido e a evaporação para o caso do fluido secundário líquido-vapor. Os efeitos térmicos de mudança de estado são muito superiores relativamente aos que ocorrem pela simples variação da temperatura de um líquido, resultando por isso numa quantidade de frio transportado superior (Bellas and Tassou, 2005; Egolf and O., 2003; IIR, 2004).

O aumento da capacidade de refrigeração consegue-se através da utilização da fase sólida da água no tanque de acumulação denominada de gelo líquido ou binário e o gelo sólido em água (banco de gelo) (Martín, 2005). O fluido, designado na terminologia inglesa por “ice slurry” consiste numa mistura bifásica sólido-líquido composta de microcristais, geralmente cerca de 25 a 30 % de gelo da solução líquida (Bellas and Tassou, 2005; Egolf and O., 2003; IIR, 2004).

Na categoria dos fluidos bifásicos, tem vindo a aumentar o interesse pela utilização do dióxido de carbono (R-744), por se tratar de um fluido natural e apresentar óptimas propriedades termofísicas. A sua utilização tem sido feita em conjunto com o amoníaco em sistemas de refrigeração em cascata (R-717 e R-744), neste caso o CO₂ a funcionar no ciclo de baixa temperatura (ciclo transcrito), para a obtenção de temperaturas inferiores a -40°C (Cleto, 2007a, b; Hinde, 2009; Tassou, 2011)

Inaba (2000), Melinder (2007) e Pruzaesky (2008) apresentam uma avaliação e caracterização detalhada das propriedades e características dos fluidos secundários incluídos nestas duas categorias.

Uma baixa temperatura de congelação, baixa viscosidade, baixa pressão de vapor, boa performance na transferência de calor, elevado calor específico, boa condutividade térmica, ausência de problemas de corrosão, compatibilidade com os materiais habitualmente utilizados, adequação à regulamentação de segurança e saúde, sendo seguros para alimentos, não tóxicos, seguros à manipulação, baixo, ou nenhum, impacto ambiental, não inflamável, serem mecânica e quimicamente estáveis, e disponibilidade a preços razoáveis, são as propriedades óptimas dos fluidos secundários, recomendadas por Alcaraz e Ojer (1985); López et al. (2005), Martín, (2005), Melinder (2008) e Pruzaesky (2008).

2.2.3. Sistemas com mais estágios de compressão

O desempenho energético do sistema de refrigeração de um estágio de compressão é fortemente penalizado quando a temperatura de evaporação é muito baixa, e consequentemente a razão de pressão é muito elevada, pelo que este ciclo deixa de ser adequado para a obtenção deste nível de temperaturas. Neste caso é recomendado a utilização de ciclos com mais do que um estágio de compressão (Koelet, 2002; Langley, 2009; Pineda, 2001).

Para além da redução da razão de pressão em cada um dos estágios do compressor, estes ciclos permitem ainda a possibilidade do fluido frigorigéneo líquido procedente do condensador poder ser sub-arrefecido até à temperatura de líquido saturado à pressão intermédia, e finalmente o

arrefecimento dos vapores procedentes da descarga de baixa pressão. Estes efeitos proporcionam o aumento do rendimento volumétrico possibilitando a redução do tamanho do compressor, a redução do título de vapor à entrada do evaporador incrementando o efeito frigorífico específico e a descida da temperatura de aspiração da etapa de alta e consequentemente a descida da temperatura de descarga de alta pressão (Doménech, 2008). No entanto, estes sistemas também apresentam algumas desvantagens em relação ao sistema de compressão simples, nomeadamente, uma operação mais complicada, especialmente quanto ao retorno do óleo ao compressor.

A opção pela utilização de um ciclo de refrigeração com dois estágios de compressão em detrimento da utilização de um ciclo com uma etapa está relacionada com os valores das condições de funcionamento do sistema, nomeadamente com o valor da temperatura de evaporação e de condensação. Gosney (1966) definiu o limite para os sistemas de compressão de simples estágio, o valor de 40°C de diferença entre as temperaturas de condensação e evaporação, embora, realmente, a definição deste limite de operação dependa do tipo de sistema utilizado. Ademe (2000), refere que essa diferença de temperaturas deve ser inferior a 50°C para o caso do amoníaco e 60 a 70°C para o caso de fluidos halogenados.

Segundo Prasad (2007), um estágio de compressão é utilizado em sistemas de refrigeração que utilizam fluidos halogenados e amoníaco, até uma temperatura de evaporação de -30°C, dois estágios para temperaturas até -60°C e finalmente, três estágios para temperaturas de evaporação inferiores a -60°C (ASHRAE, 2006). De acordo com Costa (1982), partindo de condições ambientes (+25°C) e dependendo do fluido frigorígeno, as temperaturas de evaporação recomendadas em função do número de estágios de compressão são de um estágio para temperaturas de evaporação até -35°C, dois estágios de compressão para temperaturas de evaporação compreendidas entre -35°C e -70°C e finalmente de três estágios, para temperatura de evaporação inferior a -70°C. Tomando como critério de decisão a razão de pressão, a utilização do ciclo de refrigeração com dois estágios de compressão é recomendado quando este parâmetro apresenta um valor de 8 ou 9 e três estágios de compressão no caso de se apresentar um valor superior a 28 (López, 2005; Pineda, 2001).

A utilização de sistemas de refrigeração com mais do que um estágio de compressão resulta de um imperativo económico e técnico, mas pode também resultar de um interesse funcional do sistema, para este satisfazer mais do que um nível de temperatura de evaporação, muitas vezes verificado na indústria alimentar onde se constata o interesse na manutenção da congelação (-35°C) e refrigeração (0°C) de produtos alimentares. Segundo Pineda (2001) e Prasad (2007), nestes casos é utilizado um sistema de multi-evaporadores que funcionam com duas linhas de alimentação aos evaporadores, uma de baixa temperatura de evaporação para satisfazer as necessidades para a congelação e outra de temperatura mais alta para alimentar os equipamentos de refrigeração.

Segundo López (2005) a compressão do fluido frigorígeno em duas etapas também pode ser realizada através de um único compressor (compressor “compound”). Esta solução é mais simples para efectuar a compressão em duas etapas, uma vez que este tipo de compressores

possui integrados no mesmo equipamento as duas etapas de compressão e, portanto, a operação dos mesmos é similar à dos compressores de uma etapa simples. A pressão intermédia real de trabalho dos ciclos de duas etapas de compressão tem uma especial importância em instalações de dupla etapa de compressão que trabalham com este tipo de compressores, uma vez que a velocidade de rotação de ambas as etapas é idêntica, e portanto, a relação de volumes geometricamente disponíveis vem marcada unicamente pela relação de cilindros. Neste caso, o compressor do tipo alternativo com duas etapas de compressão, possui um determinado número de cilindros que são utilizados para realizar a compressão do vapor da pressão de evaporação até um nível de pressão intermédio (baixa pressão) e um outro número de cilindros responsáveis pela elevação da pressão desse nível intermédio até ao valor da pressão de condensação (alta pressão). Tipicamente o número de cilindros utilizados no primeiro estágio de compressão é aproximadamente duas a três vezes superior ao número de cilindros utilizados no segundo nível de pressão.

Quanto ao compressor de parafuso, a compressão em dois estágios é realizada através de dois pares de rotores. A compressão é repartida entre os dois estágios de compressão, existindo entre cada um deles um arrefecimento do vapor que está a ser comprimido. Com isto, para além da eficiência energética ser superior, a temperatura do gás de descarga é inferior àquela que seria obtida caso o compressor efectuasse a compressão num único estágio. Os compressores de parafuso, possuem um orifício de sobrealimentação especial situado entre a entrada e a saída do fluido frigorígeno, através do qual o fluido no estado de vapor entra sob a pressão, prevalecendo a partir desse ponto uma pressão intermédia. Este ciclo com três níveis de pressão é muito semelhante ao dos ciclos de dois estágios de pressão com ciclo economizador convencional por causa da economia de energia que através dele se obtém (Ademe, 2000).

Actualmente os sistemas de refrigeração de dois estágios de compressão estão a ser utilizados como sistemas de produção de frio com dióxido de carbono como fluido frigorígeno. Os ciclos de duplo estágio de compressão, possibilita aumentar a eficiência energética e a capacidade de refrigeração dos sistemas, para além de limitar as elevadas temperaturas de descarga dos ciclos de um estágio quando submetidos a elevadas razões de pressão (Reindl, 2005)

2.2.4. Classificação dos sistemas de refrigeração usados nos estabelecimentos agroalimentares

Atendendo ao elevado nível de desenvolvimento tecnológico dos vários elementos que compõem o ciclo de refrigeração de compressão de vapor, actualmente as indústrias têm à sua disposição uma grande variedade de sistemas de refrigeração que podem usar para obtenção de altas, médias e baixas temperaturas e diferentes capacidades de refrigeração.

Em função das suas características tecnológicas, geométricas e funcionais, os sistemas de produção de frio aplicados nas indústrias agroalimentares podem ser divididos pelas seguintes categorias:

- Sistema individual;
- Unidade de condensação;
- Central de frio de circuito directo;
- Unidades compactas;
- Unidades de tratamento do ar;
- Central de frio de circuito indirecto.

2.2.4.1. Sistema individual

Trata-se do sistema de refrigeração clássico, do tipo de compressão de vapor, geralmente constituído pelos principais elementos, componentes e acessórios de segurança e controlo, que foram referidos anteriormente.

A principal característica deste sistema está relacionada com a metodologia adoptada para a sua construção. Em geral, numa primeira fase estima-se a capacidade de refrigeração e temperaturas desejadas, segundo realiza-se a selecção dos equipamentos principais nos catálogos de fabricantes, terceiro efectua-se a aquisição individual dos elementos principais e respectivos e quarto realiza-se a construção do sistema de refrigeração no próprio local onde se mantém a funcionar. No final das operações o sistema é testado por forma a verificar a estanquidade do circuito de fluido frigorigéneo e a sua operacionalidade.

Os principais elementos do sistema são o compressor, condensador, evaporadores e válvulas de expansão. Os compressores usados são geralmente do tipo alternativos, semi-herméticos e, em menor quantidade, também abertos. Os condensadores são de tubos e alhetas, arrefecidos a ar (convecção forçada), com o fluxo de ar vertical ou horizontal, e os evaporadores são de tubos e alhetas para arrefecimento de ar e de carcaça e tubos ou de placas para arrefecimento de líquidos ou de tubos lisos em bancos de gelo e as válvulas são de expansão termostáticas. O tipo de alimentação do evaporador é, em geral por expansão directa. A capacidade de refrigeração dos sistemas pode chegar até aos 50 kW.

Os elementos do sistema são instalados no interior de uma sala de máquinas ou numa bancada no exterior do edifício e o condensador é colocado em local remoto, fixo nas paredes laterais, no exterior ou no telhado.

A figura 2.12 apresenta um esquema típico de um sistema individual de produção de frio por compressão de vapor por expansão directa.

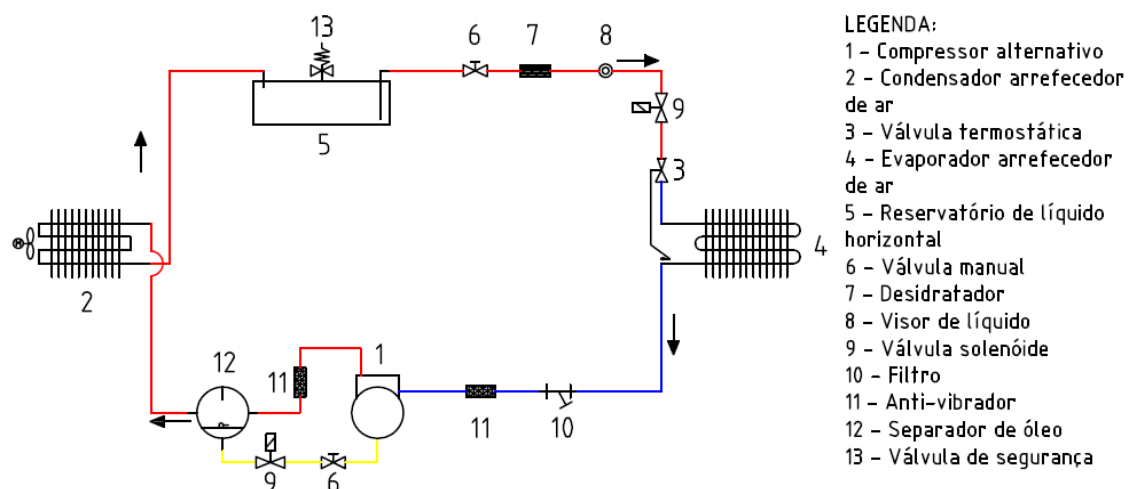


Figura 2.12 - Esquema de um sistema individual de produção de frio por compressão de vapor com expansão directa.

O desenho, a dimensão da instalação, as características dos equipamentos, o custo inicial e de operação (consumo de energia) são fortemente dependentes da função que o sistema desempenha, da gama de temperaturas de trabalho e do grau de qualidade e investimento que se realiza.

Os fluidos utilizados variam com a gama de temperaturas desejadas, destacando-se o R-22 nas instalações de frio mais antigas, e o R134a para níveis de temperatura média ou alta e o R-404a para níveis mais baixos de temperatura, nos sistemas mais recentes.

Este sistema é utilizado para satisfazer um número limitado de pontos de alimentação que se encontram dentro da mesma gama de temperatura. Como regra geral, cada nível de temperatura (congelamento, refrigeração e climatização) possui sistemas de refrigeração independentes.

Estes sistemas apresentam uma grande autonomia, independência, flexibilidade, facilidade de gestão e controlo do seu funcionamento e um desempenho energético razoável, mas em contrapartida têm maiores custos de investimento, necessitam de maior espaço para instalação, maior quantidade de fluido frigorigéneo, maior ocorrência de fugas, mais manutenção em relação aos sistemas compactos e uma qualidade da instalação frigorífica menos boa.

2.2.4.2. Unidade de condensação

A unidade de condensação é o equipamento de refrigeração mais vulgarizado a nível mundial. Em 2006 estimava-se que existiam cerca de 34 milhões destas unidades (UNEP, 2011). Esta unidade é amplamente utilizada no sector da refrigeração comercial e industrial, em particular nas indústrias alimentares que têm necessidade de pequenas ou médias potências de refrigeração. A sua ampla aplicação deve-se à sua grande versatilidade, disponibilidade no mercado, funcionalidade, facilidade de instalação e baixo custo.

De acordo com a norma EN13215/2001 a unidade de condensação é um equipamento de refrigeração constituído pela combinação de um ou mais compressores, condensador, recipiente

de líquido e acessórios de segurança e controlo (Standards, 2001). Com base na instalação frigorífica clássica, ela compreende a parte da instalação desde a entrada do compressor, incluindo o motor, até à saída do reservatório de líquido com os seus acessórios correspondentes. A sua função no sistema de refrigeração é recuperar o vapor proveniente do evaporador e condensá-lo (Dossat, 2004). Esta unidade é construída em fábricas da especialidade e todos os seus elementos são instalados numa estrutura metálica, para facilitar a comercialização, instalação e garantir a sua qualidade.

A figura 2.13 mostra o circuito frigorífico típico da unidade de condensação.

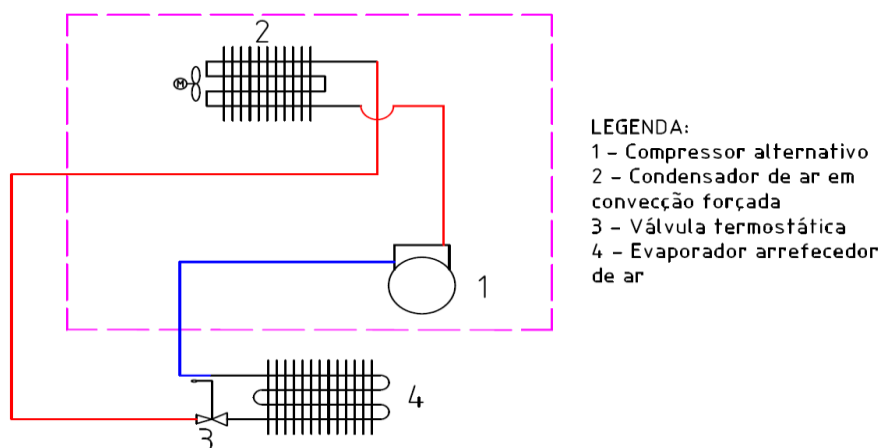


Figura 2.13 - Esquema do circuito frigorífico da unidade de condensação.

Como se trata de uma unidade completa, a sua instalação consiste na ligação à unidade de evaporação que se encontra no interior do espaço a refrigerar, no carregamento do fluido frigorigénico e na realização de testes e verificação de fugas, ficando pronta para funcionar em circuito fechado de acordo com o princípio de funcionamento dos sistemas de expansão directa. Em geral, estes equipamentos de refrigeração são instalados no exterior das envolventes dos estabelecimentos comerciais ou industriais, neste caso, fixas às paredes laterais ou ainda nos telhados, desvãos ou no interior da sala de máquinas.

A figura 2.14 mostra uma unidade de condensação fixa numa parede da envolvente de uma indústria de lacticínios.



Figura 2.14 - Unidade de condensação fixa na parede da envolvente de uma indústria de lacticínios.

Apesar de poderem usar a água no processo de condensação do fluido frigorífero, os condensadores geralmente utilizados nestas unidades são arrefecidos a ar e o condensador está quase sempre instalado em frente ao compressor para que o ar aspirado pelos ventiladores seja projectado sobre o mesmo para favorecer o seu arrefecimento. A maioria das unidades possui quase sempre um único compressor alternativo do tipo hermético para pequenas potências frigoríficas ou semi-hermético para maiores potências frigoríficas. Actualmente já existem no mercado unidades de condensação que utilizam compressores do tipo scroll (Martín, 2005).

A capacidade de refrigeração típica da unidade encontra-se entre de 1 e 20 kW e trabalha com uma carga de fluido frigorífero compreendida entre 1 e 5 Kg. A temperatura de evaporação pode variar entre -25 até 0°C ou mais (UNEP, 2011). Para capacidades de refrigeração mais elevadas são usados mais do que um compressor, em especial ligados em paralelo para controlo adequado da sua capacidade. A utilização de dois compressores instalados em paralelo é recomendada por Winandy (2003) por permitir melhorar a modulação da carga beneficiando a sua eficiência.

Presentemente, também se encontram no mercado unidades de condensação em formato compacto, para aplicações comerciais e industriais, com maiores capacidades de refrigeração. Estas unidades, são constituídas por um ou mais compressores, do tipo alternativo ou scroll, arrefecidas a ar, com capacidades de refrigeração que podem chegar a 100 kW ou a várias centenas de kW (EIA, 2012). Na figura 2.15 observam-se unidades condensadoras compactas do tipo comercial e industrial.



Figura 2.15 - Unidade de condensação do tipo comercial (à esquerda) e industriais (direita) utilizadas na indústria alimentar.

Em termos energéticos, a unidade condensadora é menos eficiente, comparativamente a um sistema individual ou central de frio bem dimensionado. A opção por estas unidades deve-se ao menor custo inicial e à facilidade de instalação (Martín, 2005; Prasad, 2007).

Segundo Prasad (2007) a eficiência da unidade depende fortemente do tipo de fluido frigorífero e das condições de funcionamento, com especial relevo para a temperatura ambiente. Para criar estas condições é importante que o condensador tenha um bom fornecimento de ar fresco para favorecer a transferência de calor do fluido frigorífero para o ar durante o processo de arrefecimento no condensador. Os locais onde são instaladas devem ser arejados, afastados das fontes de calor e das paredes e evitar curto-circuito do ar que circula à sua volta (Avara and Daneshgar, 2008; Bojic et al., 2001; Chow et al., 2001).

2.2.4.3. Central de refrigeração de circuito directo

A central de refrigeração de circuito directo consiste num sistema de refrigeração por compressão de vapor em que um único ponto de produção de frio abastece todos os postos de alimentação de uma indústria.

À semelhança do sistema individual de produção de frio, a central frigorífica é construída de acordo o mesmo procedimento, só que esta é constituída por vários elementos que são seleccionados e adquiridos em separado e posteriormente são instalados no local onde a central permanece a funcionar.

O interesse por este tipo de instalação frigorífica, comparativamente aos sistemas individuais de produção de frio, está relacionado com a possibilidade de diminuir os custos de aquisição dos equipamentos, facilidade de manutenção, melhoria da gestão, do controlo e da eficiência energética. Contudo a central apresenta algumas desvantagens como sejam: um elevado comprimento de condutas, que conduz a uma elevada quantidade de fluido frigorígeno na instalação, elevadas fugas de fluido para o meio ambiente e custos elevados de reposição de fluido e de manutenção (Filho, 2008).

A configuração e as características dos equipamentos utilizados nos sistemas centralizados sofreram uma evolução na última década, com especial destaque para o nível do conceito da produção e distribuição da potência frigorífica da instalação (tipo e dimensão dos compressores). Inicialmente a central frigorífica apresentava uma configuração que incluía uma menor quantidade de compressores (do tipo aberto) com maior capacidade frigorífica.

Os sistemas centralizados mais antigos, são constituídos, na generalidade, por um ou dois compressores alternativos do tipo aberto de grande potência frigorífica. É comum este tipo de instalação frigorífica englobar um compressor de reserva, ligado em paralelo, implicando neste caso, um investimento inicial elevado e uma ociosidade do equipamento a chegar quase a 100% da carga térmica (no caso da existência de uma única máquina, o que é geralmente comum nestes sistemas).

Actualmente verifica-se a tendência para a utilização de um maior número de compressores (do tipo semi-herméticos ou herméticos) ligados em paralelo, mas com menor capacidade frigorífica e menor dimensão.

Os modernos sistemas centralizados de compressão mecânica de vapor consistem num agrupamento de vários compressores conectados a um colector comum de aspiração e a um colector comum de descarga. Os múltiplos compressores são geralmente montados sobre uma estrutura metálica, juntamente com diversos equipamentos e acessórios mecânicos e eléctricos que são necessários para o funcionamento e controlo dos compressores e restantes elementos da central de frio. Estes equipamentos são geralmente instalados no interior de uma sala de máquinas, localizada na parte de trás ou nas das extremidades das infra-estruturas da indústria.

Genericamente, a central de frio é composta com vários acessórios destacando-se como os mais importantes os seguintes elementos: separador de óleo com retorno automático, pulmão de óleo, válvulas reguladoras de nível de óleo dos cárteres (bóias), válvula reguladora de pressão do

pulmão, pressostatos de alta e baixa, pressostatos diferencial de óleo nos compressores, recipiente de líquido com válvula de serviço, filtro secador tipo recarregável, filtro de sucção em cada compressor, visor de líquido e válvula solenóide.

Na figura 2.16 apresenta-se o esquema da central de frio de circuito directo. Nesta figura as linhas representadas a azul e a vermelho correspondem ao circuito de baixa e alta pressão, respectivamente; e as linhas a amarelo e a verde correspondem ao circuito de óleo e de controlo, respectivamente.

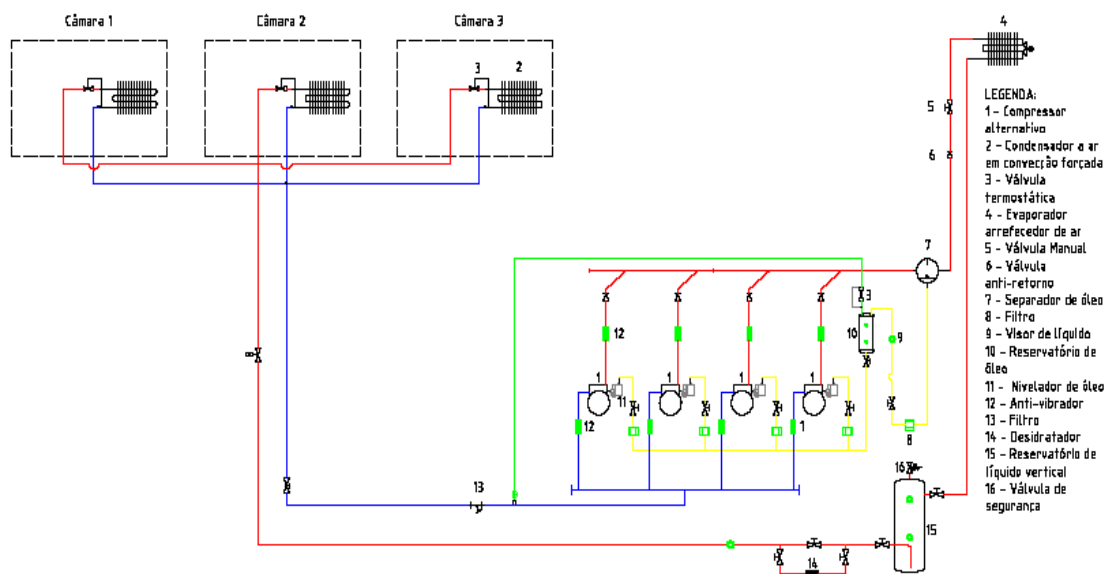


Figura 2.16 - Esquema de uma central de frio de circuito directo.

As tubagens ou linhas de líquido e de vapor encontram-se geralmente fixas nas paredes das infraestruturas, no piso, no tecto dos compartimentos ou no interior do desvão.

À semelhança do sistema individual de produção de frio, a central de frio também possui um circuito de óleo que tem como objectivo principal a separação do óleo do fluido frigorigéneo a seguir ao colector de descarga e realizar o seu regresso aos diferentes compressores (Langley, 2009).

O dimensionamento da central de frio é feito com maior flexibilidade por causa de serem utilizados mais do que dois compressores por nível de temperatura. Neste caso, é comum que o dimensionamento dos compressores em relação à carga térmica da instalação seja efectuado com uma pequena folga para cada unidade compressora, e assim, caso haja quebra de um dos compressores o sistema permanecerá em funcionamento com uma pequena redução da necessidade de abastecimento do frio aos pontos de alimentação, o que geralmente não interfere no funcionamento das instalações, facilitando muito a manutenção e reparação do sistema (Prasad, 2007).

O controlo da capacidade do sistema é geralmente efectuada através da quantidade de compressores que permanece em funcionamento, podendo, ir desde a capacidade mínima de um compressor até à capacidade máxima obtida com todos os compressores a funcionar em

simultâneo (Pineda, 2001; Prasad, 2007). Habitualmente, o controlo é feito desligando-se um ou mais compressores, através de pressostatos individualmente ajustados (Filho, 2008). O controlo da capacidade da central é realizado através de patamares ou níveis de capacidade frigorífica correspondentes aos diferentes conjuntos de compressores do sistema que se encontram a funcionar. Os compressores iniciam o seu funcionamento à medida que se verifica o aumento das necessidades de frio até chegar à capacidade máxima, que ocorre no momento em que se encontram todos os compressores a funcionar.

A operação de controlo da ligação e paragem dos compressores é efectuada por intermédio de uma válvula reguladora termostática de sucção, com o sensor colocado no interior do espaço a refrigerar, que tem por missão promover o estrangulamento da válvula de acordo com o valor da temperatura ajustada, e um número de pressostatos idêntico ao número de compressores, que se encontram colocados na linha de aspiração de cada compressor, para efectuar o corte ou a ligação da corrente eléctrica do compressor (desligar/ligar) sempre que se atinja em cada linha de aspiração do compressor um valor de pressão de sucção correspondente a um nível de capacidade frigorífica (Filho, 2008; Langley, 2009).

Para que todos os compressores da central possam apresentar um tempo de trabalho idêntico, geralmente é colocado um controlador no sistema que permite efectuar a ligação sequencial dos diferentes compressores.

Em termos de economia de energia a central de frio constituída com vários compressores instalados em paralelo é mais favorável comparativamente à central constituída por um único compressor. Na central de compressor único o carregamento dos motores é inferior a 50% da carga nominal devido a vários factores de ordem construtiva e funcional fazendo com que em carga, o rendimento dos motores fique sensivelmente prejudicado causando uso excessivo de energia eléctrica. Por outro lado, no sistema em paralelo, efectua-se com maior facilidade a aplicação do uso de inversores de frequência, para controlo da capacidade e arranque dos compressores, favorecendo o sistema. A adopção destas medidas neste tipo de sistema permite alcançar uma eficiência energética de um valor até 25% do consumo energético da correspondente à parcela relativa ao consumo do frio alimentar da empresa.

Segundo EIA (2012) e Langley (2009) os sistemas centralizados são actualmente a opção preferida nas empresas comerciais (em supermercados) e industriais, porque eles geralmente alcançam melhor eficiência energética do que os restantes sistemas de produção de frio.

Por motivos de desempenho energético, geralmente este sistema é projectado e configurado para satisfazer as necessidades de frio de um único nível de temperatura pelo que, geralmente as indústrias alimentares possuem uma central de frio para cada nível de temperatura desejada (temperaturas baixas para conservação de alimentos congelados com T_{evap} entre -40 a -25°C , temperaturas médias para conservar alimentos refrigerados com T_{evap} entre -15 a 0°C e temperaturas altas para climatização de salas e zonas de fabrico com T_{evap} entre 0 a 10°C).

O tamanho do sistema centralizado depende da capacidade de refrigeração desejada pelas indústrias, podendo esta variar por exemplo entre 20 kW até mais de 1 MW no sector da refrigeração comercial e entre 50 kW até 30 MW, no sector da refrigeração industrial (EIA, 2011).

Na faixa de menor capacidade, os compressores alternativos são os mais frequentemente utilizados, enquanto os compressores de parafuso são comuns nos sistemas de maiores capacidades, em particular aqueles que trabalham com NH_3 , em fase única com economizador ou com dois estágios de compressão. A quantidade de fluido frigorigéneo está relacionada com a capacidade de refrigeração e também com o tipo de fluido frigorigéneo utilizado na instalação. Dada a grande extensão de condutas a quantidade de fluido frigorigéneo primário utilizado pode variar entre 100 a 3000 kg em centrais de refrigeração comercial e entre 5 ton. a 100 ton., nas centrais de refrigeração industrial (EIA, 2011). A quantidade de fluido frigorigéneo é aliás, o grande problema deste tipo de sistema não só pelo custo inicial da sua aquisição como durante o funcionamento, através da fugas que ocorrem, podendo estas representar anualmente entre 20 a 35% para os grandes sistemas e entre 15 e 25% para as mais pequenas (Tassou et al., 2010; UNEP, 2011).

Actualmente também já se encontra no mercado, centrais com multicompressores (Rack), em formato compacto. Estas centrais são construídas e certificadas em fábrica, oferecendo deste modo, uma melhor qualidade, flexibilidade, facilidade de manutenção e economia de energia. Elas disponibilizam uma gama de potência frigorífica elevada. Para compressores herméticos do tipo alternativos a potência frigorífica da central apresenta um valor compreendido nos limites de 5 a 130kW e 1,2 a 45kW para médias e altas temperaturas, respectivamente, e para compressores do tipo scroll, a potência frigorífica alcança um valor compreendido entre 8 a 100kW e de 4 a 45 kW para aplicações de média e baixa temperatura, respectivamente. Para compressores alternativos do tipo semi-herméticos a potencia frigorífica apresenta um valor compreendido entre 15 a 480kW e de 8,5 a 210kW, para média e baixa temperatura respectivamente (Prasad, 2007).

2.2.4.4. Unidades compactas

As unidades compactas são sistemas de refrigeração que possuem os seus elementos principais muito próximos entre si, isto é, de forma compacta. Em geral, são produzidos em série e fornecidos já prontos para serem instalados nas câmaras de refrigeração.

Apresentam configurações geométricas e capacidades de refrigeração pré-estabelecidas em fábrica, adequadas para o desempenho de funções específicas. Assim, encontramos sistemas compactos desenhados para aplicações em câmaras de pequena, média e grande dimensão, para aplicações no sector comercial e industrial.

A selecção destes sistemas é feita com base em vários parâmetros, dos quais se destaca o tipo de material, espessura e volume das câmaras, o calor específico, massa volúmica, temperatura de entrada e movimentação de produto e ainda a temperatura interior da câmara desejada.

As suas principais vantagens são: grande versatilidade, facilidade de selecção, instalação e utilização e bom desempenho energético.

Em função das suas características geométricas, construtivas e de instalação estes sistemas apresentam duas configurações distintas: sistemas compactos ou monobloco e sistemas semi-compactos ou partidos (Martín, 2005).

Segundo Martín (2005) os sistemas compactos são equipamentos frigoríficos formados por um único bloco compacto que agrupa a unidade condensadora e evaporadora, juntamente com o quadro eléctrico de comando e controlo. Desta forma todos os elementos da instalação de frio, estão reunidos e colocados no interior de um móvel metálico, dispostos de tal forma que temos duas configurações geométricas possíveis: sistema compacto de parede ou sistema compacto de tecto.

As figuras 2.17 e 2.18, mostram um sistema compacto comercial de tecto e um sistema compacto industrial de parede e os respectivos esquemas de instalação e funcionamento na câmara de refrigeração, respectivamente.



Figura 2.17 - Sistema compacto comercial de tecto: a) aspecto geral; b) esquema de instalação.
Fonte: (Zanotti, 2011)



Figura 2.18 - Sistema compacto industrial de parede: a) aspecto geral; b) esquema de instalação.
Fonte: (Zanotti, 2011)

Os sistemas semi-compactos, são aqueles em que as suas partes são construídas, conectadas e testadas na fábrica e depois são transportadas para o local de instalação em um ou mais blocos, sem necessidade de mais operações de montagem, para além da união mecânica de algumas das suas partes, equipadas com válvulas de segurança (Martín, 2005). Em geral o sistema compacto é constituído pelos dois blocos (unidade condensadora e evaporadora) e de acordo com as suas características podem ser classificados em sistema partido com bloco de condensação horizontal ou sistema partido com bloco de condensação vertical.

Em geral, o bloco de condensação dos sistemas partidos é instalado em local exterior à câmara de refrigeração, designadamente, na parede da própria câmara (quando o peso do bloco não é elevado e o local o permite), no chão ou então em cima do tecto da câmara. Este bloco contém o compressor, condensador, depósito de líquido e outros elementos de controlo e segurança.

As figuras 2.19 e 2.20 mostram um sistema semi-compacto comercial, com bloco condensador vertical e um sistema semi-compacto industrial e os respectivos esquemas de instalação e funcionamento na câmara de refrigeração, respectivamente.

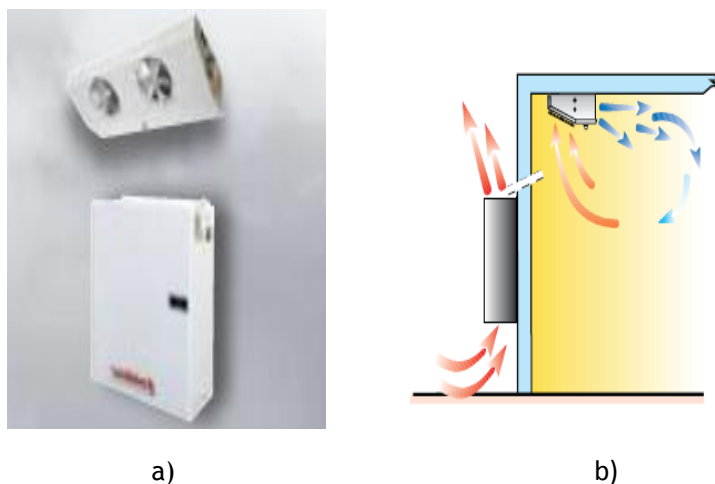


Figura 2.19 - Sistema semi-compacto comercial com bloco condensador vertical: a) aspecto geral; b) esquema de instalação. Fonte: (Zanotti, 2011).

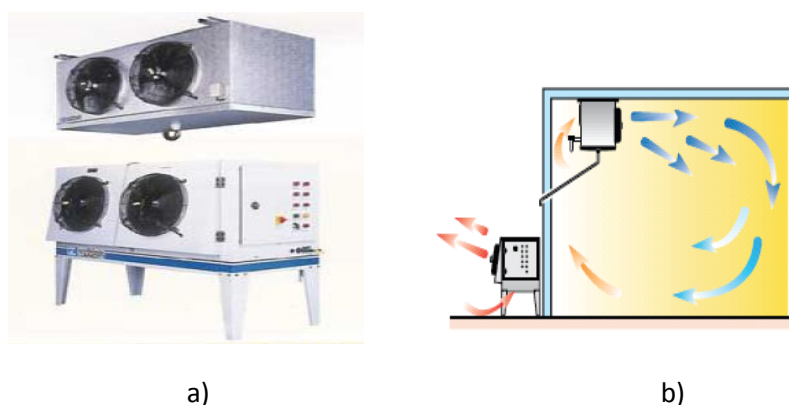


Figura 2.20 - Sistema semi-compacto industrial: a) aspecto geral; b) esquema de instalação. Fonte: (Zanotti, 2011).

O bloco de evaporação é instalado no interior da câmara de refrigeração e contém o evaporador, ventiladores, resistência eléctrica, válvula de expansão ou tubo capilar.

Em geral, os sistemas compactos são sistemas de refrigeração por compressão de vapor com expansão directa. Os compressores são da categoria alternativo ou scroll, do tipo hermético ou semi-hermético, os condensadores são arrefecidos a ar, com convecção forçada e o processo de descongelação do evaporador é feito através de gás quente ou resistências eléctricas.

Para aplicações de baixas temperaturas, como por exemplo, em túneis de congelação (temperaturas de evaporação de -30 a -50°C), os sistemas compactos são compostos por compressores alternativos com dois estágios de compressão.

As principais aplicações destes sistemas são em câmaras de refrigeração ou de congelação dedicadas à conservação de produtos alimentares e ainda em processos de arrefecimento ou congelamento rápido de produtos perecíveis. A gama de capacidade de refrigeração é bastante

ampla, situando-se entre algumas centenas de Watts até cerca de 50 kW, para aplicações comerciais ou até 100 kW, para aplicações industriais.

As suas grandes aplicações são na produção de frio para utilização em câmaras de conservação de alimentos perecíveis, a diferentes níveis de temperatura, nomeadamente, a médias temperaturas (-5 a +10°C), baixas temperaturas (-25 a -5°C) e ainda para efectuar o arrefecimento ou congelamento rápido dos produtos perecíveis (-30 a -50°C).

As principais vantagens são a melhor qualidade de construção do sistema, maior facilidade de instalação e manutenção, menores custos de manutenção, redução da extensão de canalizações para circulação do fluido frigorigéneo, redução de fugas de fluido frigorigéneo e aumento da facilidade de detecção das mesmas, diminuição do espaço ocupado, menores custos de investimento e operacionais e melhoria do seu desempenho.

2.2.4.5. Unidade de tratamento de ar

Muitas indústrias alimentares utilizam secadores ou câmaras de atmosfera controlada para realizar a operação da secagem ou desidratação dos produtos.

Habitualmente, esta operação realiza-se pelo método da via térmica, em secadores do tipo de convecção, também chamados directos, que utilizam gases quentes em contacto com o produto húmido para fornecer o calor e arrastar o líquido vaporizado (Mujumdar, 2010).

Os secadores tradicionais são constituídos no essencial por três componentes fundamentais: câmara de secagem, sistema de aquecimento e um sistema de impulsão de ar (ASHRAE, 2007). Em geral, recorrem à combustão de combustíveis fósseis para obter o calor e a um sistema de ventilação controlada para executarem o processo de secagem dos produtos. Segundo Perera (1997) estes processos apresentam eficiências muito baixas, geralmente, não superiores a 20%, proporcionando consumos elevados de combustíveis fósseis para obter um calor de baixo nível. Para além do problema energético, estes secadores também apresentam limitações na obtenção das condições ambientais necessárias para a secagem de produtos delicados, nomeadamente quanto ao controlo da humidade relativa do secador.

Actualmente, os modernos secadores utilizam unidades de tratamento do ar apoiadas no princípio da bomba de calor, que são capazes de controlar simultaneamente a temperatura e a humidade relativa do ar (Prasertsan, 1998).

As bombas de calor são máquinas que possibilitam a extracção de calor de uma fonte energética natural (ar ou água), ou seja, extrai calor a baixa temperatura para depois por meio de trabalho fornecido do exterior aumentar a temperatura e ceder calor que pode ser utilizada num determinado processo. O seu funcionamento processa-se através de um ciclo de compressão de vapor como comumente funcionam os sistemas de refrigeração. Uma descrição detalhada das características deste tipo de secador pode ser encontrada em (Pereira, 2004).

A figura 2.21 apresenta um esquema típico de um secador com bomba de calor.

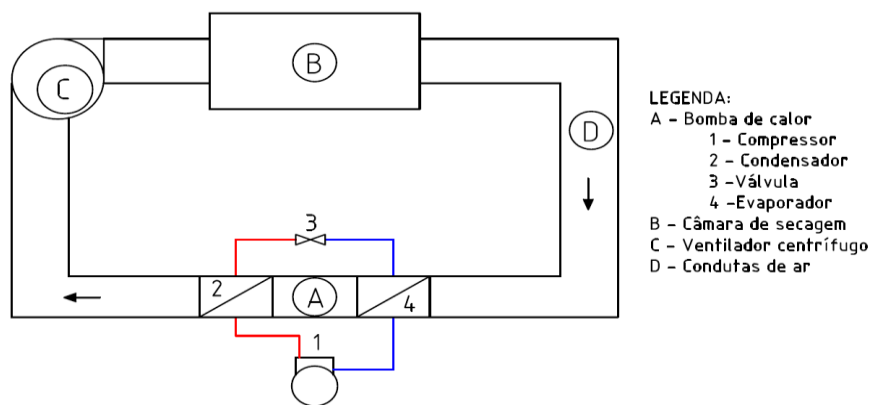


Figura 2.21 - Esquema típico de um secador com bomba de calor.

O secador de bomba de calor é constituído por uma câmara de secagem convencional com um sistema de circulação de ar e os habituais componentes de um sistema de refrigeração de ar condicionado. O ar de secagem é desumidificado através do evaporador e reaquecido pelo condensador da bomba de calor.

O desempenho do processo de secagem por bomba de calor avalia-se pela humidade removida por hora, que indica a capacidade do secador e humidade removida por quilowatt-hora, que define a eficácia da energia utilizada no processo de secagem e a eficiência energética de bomba de calor (proporção de calor rejeitado no condensador para o trabalho usado pelo compressor) (Chuaa et al., 2002).

Estes secadores apresentam uma elevada eficiência energética, têm a possibilidade de realizar a secagem a temperaturas relativamente baixas e independente das condições meteorológicas, permitem a obtenção de melhor qualidade do produto mediante o controlo da temperatura e da humidade relativa. Apresentam a desvantagem do uso de fluidos frigorigéneos do tipo CFC, maior manutenção dos elementos do sistema, maior controlo do processo e desenho do projecto, e têm as temperaturas de secagem como factor limitante do processo e actualmente o aumento dos custos de funcionamento em resultado do aumento do preço da electricidade (Perera, 1997).

Métodos de secagem inovadores como a intermitência térmica e com sistemas de ventilação de alta impulsão aplicados em produtos alimentares são actualmente aplicados, com o propósito de aumentar a capacidade de secagem e a eficiência energética dos secadores (Mujumdar, 2010 ; Soponronnarit, 2001).

A figura 2.22 mostra um esquema do funcionamento de um secador mediante a técnica da intermitência térmica, usada na secagem de carne (enchidos) e queijos.

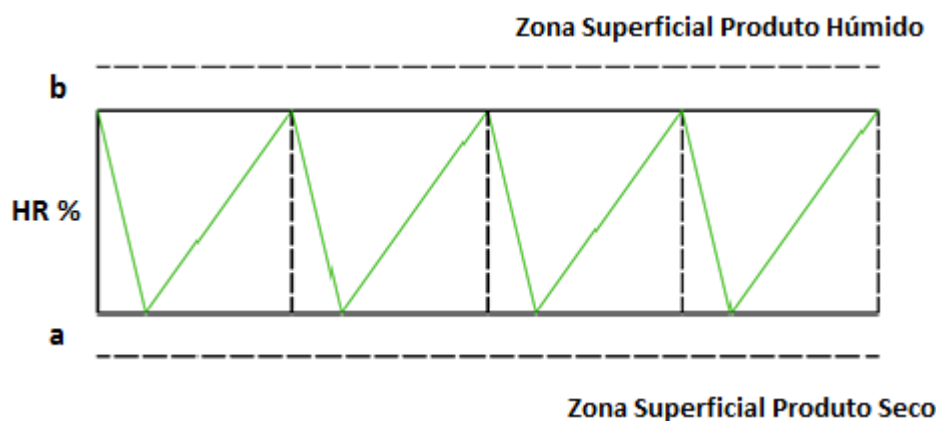


Figura 2.22 - Esquema do funcionamento de um secador mediante a técnica da intermitência térmica

A secagem intermitente representada na figura 2.22 caracteriza-se pelo processo de ciclos de trabalho da bomba de calor curtos (linha verde descendente) e ciclos de paragem longos (linha verde ascendente).

Atendendo ao seu elevado desempenho, estes secadores são os mais usados pelas indústrias das fileiras da carne e dos lacticínios para realizar várias fases dos processos de fabrico dos seus produtos, tais como, fermentação, maturação, secagem e estufagem, durante o fabrico de pão, queijo, enchidos e presunto (Perera, 1997).

Neste tipo de secadores, a unidade de tratamento de ar ou bomba de calor aparece como o principal elemento uma vez que é responsável pela evolução das propriedades termodinâmicas do ar por forma a garantir a manutenção da sua capacidade tecnológica para realizar a desidratação e secagem dos produtos.

As características técnicas, termodinâmicas e geométricas da bomba de calor estão relacionadas com os parâmetros fundamentais do secador (dimensões, estiva, tipo de materiais), tipo de produtos (características físicas e térmicas, quantidades, conteúdos de humidade e temperatura de entrada) e condições do processo que se pretende realizar (maturação, secagem e estufagem).

Em função da sua capacidade de secagem, estas unidades são classificadas nas duas categorias seguintes: unidades de secagem de grande potência e mini-unidades de secagem.

2.2.4.5.1. Unidade de secagem

Trata-se de uma unidade de tratamento de ar para aplicação em secadores de média e grande dimensão. Em geral, esta unidade é construída em fábrica, por medida, completamente preparada para ligar ao condensador exterior e ao sistema de distribuição do ar que é instalado no interior da câmara de secagem (Batlle, 2004; Ventanas and Andrés, 2001).

Segundo (Batlle, 2004; Ventanas, 2001) esta unidade é constituída por um sistema frigorífico (composto por um compressor, reservatório de fluido frigorígeno, válvula de expansão, evaporador (bateria fria), condensador secundário (bateria quente), uma bateria de apoio auxiliar de calor (resistência eléctrica), ventilador centrífugo e o condensador primário. Estes elementos, com excepção do condensador primário que está instalado no exterior, estão no

interior de um móvel construído em chapa de aço inoxidável de alta qualidade, forrado internamente com isolamento termoacústico de lã de vidro para evitar condensações, totalmente fechado e acessível através de portas laterais e frontais, dotadas de fechos rápidos. Na figura 2.23 apresenta-se o esquema da unidade de tratamento de ar de grande potência, com indicação dos principais elementos.

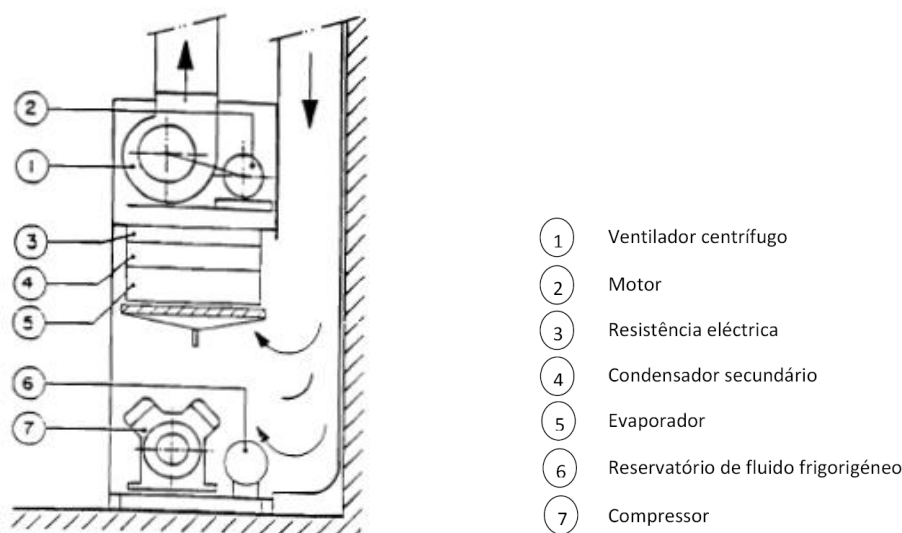


Figura 2.23 - Esquema da unidade de tratamento de ar.

A bateria de frio é constituída pelo evaporador do sistema frigorífico e realiza o arrefecimento do ar proveniente da câmara e ainda a sua desumidificação quando a temperatura desce abaixo do ponto de orvalho.

A bateria de calor é um permutador de calor que trabalha como condensador secundário e tem como função aumentar a temperatura do ar que passa na unidade, com a energia térmica do vapor sobreaquecido proveniente do compressor e que é desviado através de uma válvula derivadora, do circuito do condensador principal para o circuito deste condensador.

A bateria de apoio auxiliar de calor é constituída por uma resistência eléctrica e fornece calor ao ar quando é necessário atingir valores elevados da temperatura no interior da câmara de atmosfera controlada. A sua utilização é convenientemente ponderada uma vez que proporciona elevados consumos de energia eléctrica.

O movimento do ar entre a câmara de secagem e a unidade de tratamento de ar é efectuado por intermédio do ventilador centrífugo que é accionado por um motor eléctrico através de transmissão por correias. Este equipamento fornece uma elevada pressão ao ar permitindo levá-lo às condutas de impulsão situadas à direita e esquerda dentro da câmara de secagem. O retorno do ar da câmara de secagem realiza-se através das condutas de aspiração que se encontram instaladas no tecto das câmaras. Uma vez no interior da unidade de tratamento de ar, o ar passa primeiro pela bateria fria, seguindo pela bateria quente e depois pela resistência eléctrica, e finalmente é aspirado pelo ventilador centrífugo que o impulsiona de novo para o

interior da câmara através das condutas de impulsão colocadas junto às paredes laterais do interior da câmara.

Na figura 2.24 apresenta-se o esquema das condutas de insuflação e de retorno do ar na unidade de tratamento do ar.

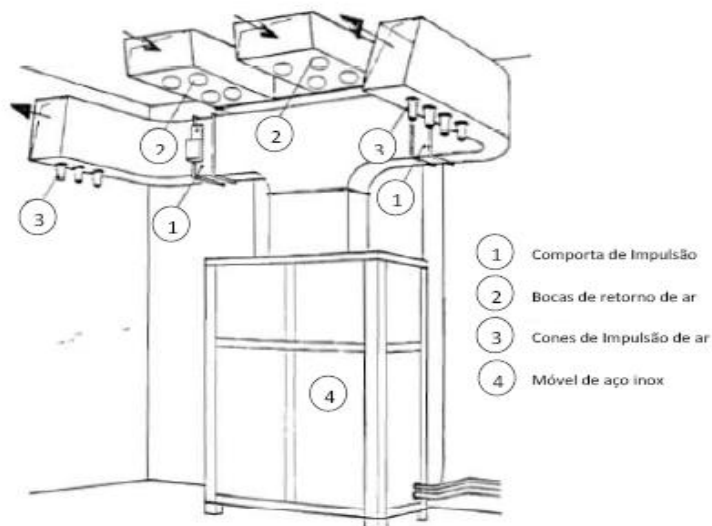


Figura 2.24 - Esquema das condutas de insuflação de retorno do ar na unidade de tratamento do ar.

Esta unidade é geralmente, instalada no interior do secador, isto é, da câmara de atmosfera controlada, ao nível do solo da câmara e centrado em relação à largura, com a aspiração do ar a ser efectuada pela parte superior, junto ao tecto e a descarga pela parte mais baixa junto às paredes laterais, através de comportas de regulação de ar.

A unidade de tratamento do ar pode arrefecer, desumidificar, ou aquecer o ar consoante as fases de trabalho do secador (Batlle, 2004; Perera, 1997; Ventanas, 2001).

Os principais ciclos realizados pela unidade de tratamento do ar são os seguintes: ciclo de frio, para arrefecimento do ar, ciclo de desumidificação do ar, para secagem, ciclo de aquecimento do ar, designado por estufagem e ciclo de descongelação.

Durante o ciclo de frio, a unidade funciona somente para arrefecer o interior da câmara de secagem e neste caso funciona o sistema de produção de frio e o ventilador centrífugo e o condensador instalado no exterior.

O funcionamento da unidade durante o ciclo da desumidificação o processo é semelhante ao do ciclo de produção de frio, mas, neste caso, ocorre a diminuição da temperatura do ar abaixo do ponto de orvalho para efectuar a sua desumidificação. Neste ciclo, verifica-se ainda a necessidade de aquecer o ar para repor os valores de temperatura. Este calor é fornecido através do condensador secundário (bateria de calor) e é proveniente do vapor sobreaquecido do compressor, que entretanto, é distribuído por uma válvula electromagnética, consoante as necessidades, pelo condensador principal e este condensador.

O ciclo de aquecimento consiste no aumento da temperatura da câmara de secagem. O funcionamento é semelhante ao do ciclo de desumidificação, só que agora, o vapor

sobreaquecido proveniente do compressor, encontra a válvula electromagnética fechada e dirige-se parte ou a totalidade para o condensador secundário. Assim, fornece à câmara de secagem a a quantidade de calor necessária para aumentar a sua temperatura e realizar a estufagem.

No caso de se pretender aumentar a temperatura da câmara de secagem quando a humidade é baixa, como não se põe em funcionamento o compressor e não dispomos de calor adicional, então ligam-se as resistências eléctricas de apoio para fornecer o calor adicional.

O ciclo de descongelação do evaporador realiza-se através de gás quente. O vapor sobreaquecido de descarga do compressor deriva através de uma válvula electromagnética para o evaporador e é posteriormente aspirado pelo compressor.

Na figura 2.25 apresenta-se o esquema do circuito frigorífico da unidade de tratamento de ar, com indicação dos circuitos de frio e desumidificação, de aquecimento e de descongelação.

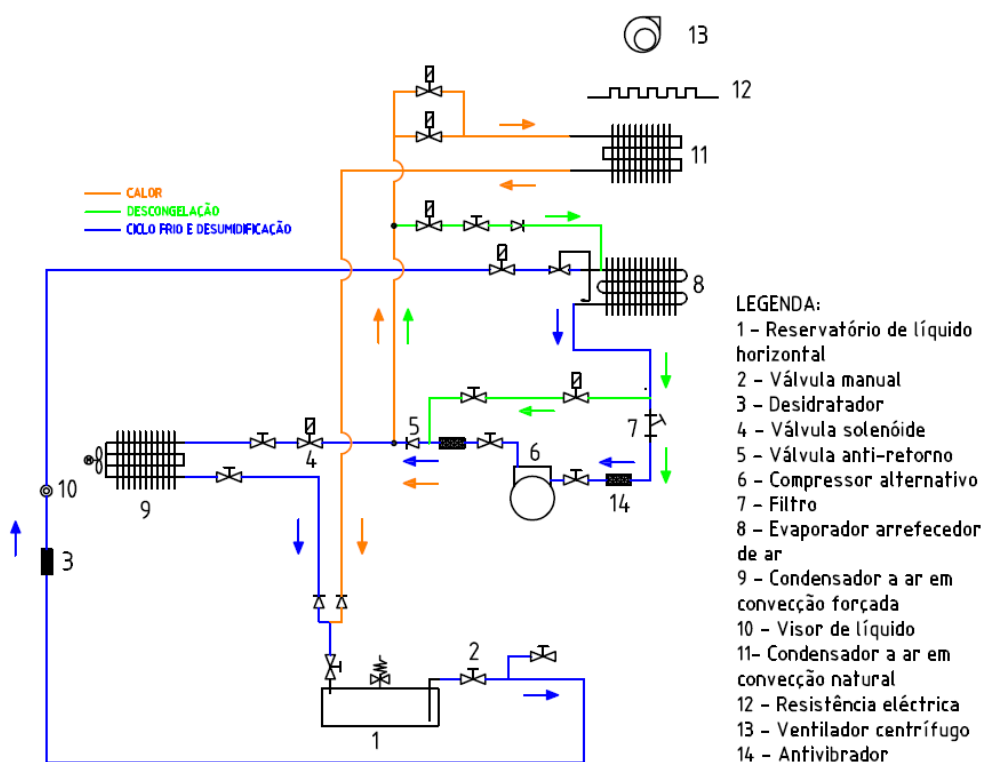


Figura 2.25 - Esquema do circuito frigorífico da unidade de tratamento de ar.

Esta unidade de tratamento de ar também permite que a câmara de secagem possa ser usada para desempenhar funções similares às de uma câmara de refrigeração clássica de conservação de produtos, funções de câmara de secagem e estufagem de produtos.

Na fase de conservação de produtos, a temperatura é baixa (temperatura da câmara entre 0 a 6°C), e decorre durante a fase de salga e pós-salga do presunto e maturação do queijo. As condições ambientais destas fases ocorrem durante o período de tempo que a unidade de tratamento de ar realiza o ciclo de frio. Estas condições de funcionamento são críticas para a

unidade, pois o seu rendimento é baixo quando se verificam estes níveis de temperatura (Batlle, 2004; Ventanas, 2001).

Quando o secador realiza a transformação do produto (secagem e estufagem) a unidade de tratamento de ar realiza um ou mais ciclos ao ar. O tipo e a sequência dos ciclos dependem do tipo de produto e da fase do processo produtivo que se está a realizar no secador.

Por exemplo, a estufagem é a parte inicial do processo de secagem para os enchidos e a parte final da secagem dos presuntos. Nesta operação o ar da câmara de secagem, tem que ser seco e aquecido para realizar a estufagem (26°C), muitas vezes à custa do calor fornecido pelas resistências eléctricas.

Durante o processo de secagem, o método de trabalho geralmente utilizado é o descontínuo, também designado por método de ciclos partidos ou de intermitência térmica conforme representado na figura 2.22, (Gou, 1998). Como já foi referido anteriormente o processo de funcionamento baseia-se em ciclos, constituídos por períodos de tempo com o ar em repouso e outros períodos de tempo mais curtos com uma forte indução do ar. Neste caso, segundo Gou (1998) e Ventanas (2001), o funcionamento da unidade de tratamento do ar é controlado através do valor da humidade relativa que se verifica no interior do secador. Com efeito, controla-se a humidade relativa do ar fixando uma margem de humidades de forma que quando a humidade ambiental do secador ultrapassa a margem superior a unidade começa a funcionar para que a humidade relativa diminua até à margem inferior, momento em que a unidade deixa de funcionar. Os ciclos de trabalho da unidade dependem da velocidade do aumento de humidade relativa do ar da câmara e esta por sua vez depende de factores como da disponibilidade dos produtos em cederem água ao ar e da quantidade de produtos na câmara, entre outros.

Numa perspectiva energética, o consumo da unidade de tratamento do ar assenta exclusivamente em energia eléctrica. Os principais consumidores são o compressor, o ventilador centrífugo, o condensador e as resistências eléctricas. Em geral, as potências eléctricas do compressor são cerca de 2,5 a 3,5 vezes superiores às potências do ventilador centrífugo. Segundo Ventanas e Andrés (2001) o consumo do ventilador centrífugo corresponde a cerca de 30% do consumo global da unidade de tratamento de ar. De acordo com Ventanas e Andrés (2001) e Gou (1998), quando as condições ambientais exteriores o permitem, a utilização parcial ou total do ar exterior é uma boa opção para realização da fase de secagem, e neste caso é uma boa forma para economizar energia.

2.2.4.5.2. Mini-unidades de tratamento de ar

As Mini-unidades são pequenas unidades de tratamento do ar, destinadas para aplicação em secadores ou câmaras de atmosfera controlada com pequenas dimensões. Geralmente são utilizadas em pequenos estabelecimentos alimentares, como por exemplo salsicharias ou queijarias, de menor dimensão.

Estas unidades apresentam uma menor capacidade de secagem e por isso são recomendadas para o processamento de pequenas quantidades de produtos e também produtos de pequena dimensão, tais como, enchidos e queijos.

Estas unidades apresentam-se com configurações em dois blocos tal como as unidades compactas. São constituídas pelo compressor e condensador principal, instalados no bloco de condensação; e pelo evaporador, condensador secundário, válvula de expansão, resistência eléctrica e ventiladores, instalados no bloco de evaporação. O descongelamento realiza-se através do método de gás quente. O compressor é na sua grande maioria das vezes do tipo hermético e o condensador é arrefecido a ar por convecção forçada.

Na figura 2.26 apresentamos um esquema frigorífico típico de uma mini-unidade de tratamento de ar semi-compacta.

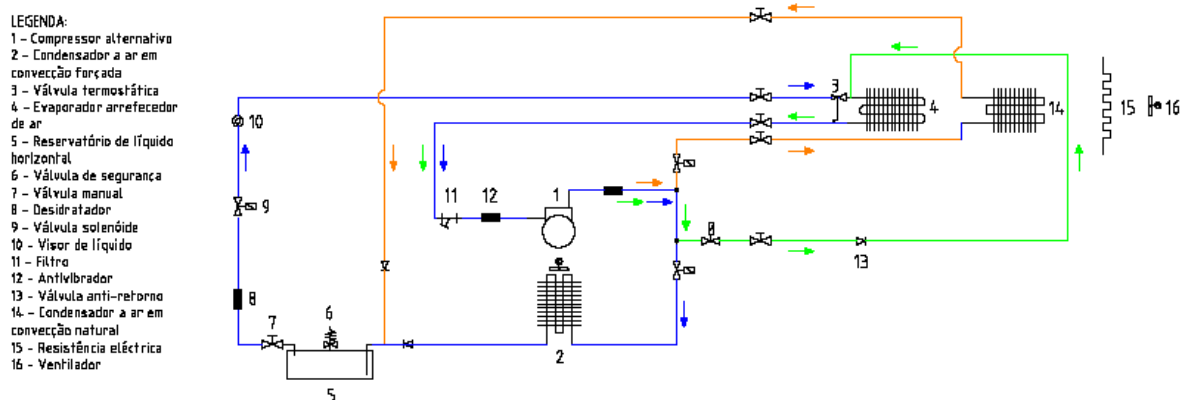


Figura 2.26 - Esquema típico do sistema frigorífico de tratamento de ar semi-compacta.

2.2.4.6. Central de refrigeração de circuito indirecto

As centrais de frio de circuito indirecto são sistemas de refrigeração que utilizam um fluido secundário, por vezes designado por fluido intermédio, para realizar o abaixamento da temperatura do meio que se pretende refrigerar. O fluido secundário é previamente arrefecido através de um sistema de refrigeração principal, é posteriormente movimentado até às unidades de permuta de calor localizadas no meio a refrigerar.

Estas centrais permitem satisfazer as necessidades de refrigeração das instalações de grandes dimensões, com potências frigoríficas superiores a 50 kW, elevado número de pontos de alimentação com níveis de temperatura semelhantes e distribuídos ao longo de grandes distâncias e que apresentam fortes variações das necessidades de refrigeração como acontece no sector comercial (supermercados e hipermercados) e nos estabelecimentos industriais agroalimentares (matadouros, estabelecimentos de lacticínios, de fruta, e entrepostos-frigoríficos) (Filho, 2008).

Acresce ainda que as centrais de refrigeração de circuito indirecto estão especialmente vocacionadas para a gestão das necessidades de refrigeração de acordo com o tarifário da energia eléctrica comprada aos concessionários.

Neste caso a produção do frio tem o intuito da sua produção poder ser obtida em períodos de tempo em que a energia é mais barata e depois poder ser acumulado o frio (tanques de água gelada ou bancos de gelo) para ser utilizado em períodos de tempo em que a energia é mais cara (Ademe, 2000).

O interesse por este tipo de sistema aumentou acentuadamente, nos últimos anos, com vista a limitar a carga do fluido frigorigéneo primário ou para permitir o uso de fluidos designados como perigosos, como seja o amoníaco ou hidrocarbonetos. Com estes sistemas a quantidade de fluido frigorigéneo pode ser reduzida até 40% da carga de fluido, segundo Kazachki e Hinde (2006), ou até 85% da carga do sistema convencional segundo Palm (2007) e UNEP (2003). A quantidade de amoníaco pode ser um décimo da carga normal de fluido frigorigéneo HFC devido às suas propriedades termodinâmicas (calor latente de vaporização e densidade do líquido). Para os HCs, a carga de fluido frigorigéneo é normalmente 25% da carga do sistema directo de HFC (UNEP, 2003). Comparativamente à central de frio de circuito directo, estes sistemas também proporcionam menores volume de condutas, fugas de fluido frigorigéneo primário e trocas de calor entre o fluido e o ambiente, menos válvulas termostáticas (na maioria das vezes existe uma única), podem usar-se sistemas inundados com válvula de flutuação, a temperatura de condensação pode ser ajustada às condições ambientais mais facilmente, não existem perdas de superaquecimento nos arrefecedores de ar e são mais eficientes por se encontrarem com toda a superfície inundada de líquido (Kazachki and Hinde, 2006; Koelet, 2002; Pineda, 2001). Recentes desenvolvimentos tecnológicos possibilitam a construção de unidades compactas de produção de frio, por medida, em fábrica permitindo desta forma a obtenção de sistemas de compressão de vapor com condutas de fluido frigorigéneo muito mais curtas e com alta qualidade de ligações soldadas, contribuindo ainda mais para a redução da carga de fluido frigorigéneo e de fugas para o ambiente e tornando-as mais flexíveis quanto à sua localização e muito mais eficientes energeticamente (menores potencias contratadas) (Kazachki and Hinde, 2006; Pineda, 2001).

Na figura 2.27 apresenta-se esquematicamente uma central de circuito indirecto com os respectivos componentes.

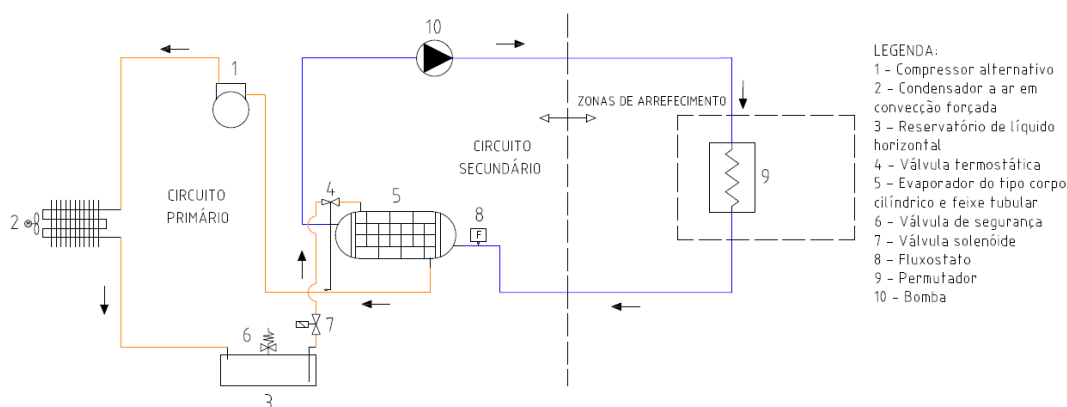


Figura 2.27 - Central de frio indirecto e respectivos componentes

Dependendo da potência frigorífica desejada e da configuração do sistema, o circuito primário (representado a cor laranja na figura) pode corresponder a um sistema individual de produção de frio, a uma central de frio de circuito directo ou a sistemas compactos (Chillers).

O circuito secundário representado a cor azul na figura é constituído pelo conjunto de equipamentos que são responsáveis pela acumulação (caso exista), transporte, distribuição e permuta de calor com o meio a refrigerar. Para além do fluido secundário, os principais equipamentos e acessórios deste circuito são o reservatório de líquido, bombas de circulação, válvulas de segurança e de controlo, condutas de transporte do fluido, permutadores de calor e equipamentos de controlo e segurança. O fluido secundário que é movimentado pelas bombas, circula geralmente em circuito fechado no interior de condutas e passa nos permutadores de calor para arrefecer o meio que se pretende refrigerar.

A temperatura do meio que se pretende refrigerar é determinada pelo caudal e temperatura do fluido que circula através do permutador de calor, não sendo necessário válvulas de expansão termostáticas. A temperatura do fluido secundário é controlada pelo circuito primário e o caudal total de fluido secundário que circula pelo sistema é determinado pelo número e características das bombas que são postas em funcionamento.

As especificações da central de frio de circuito indirecto dependem da capacidade de refrigeração desejada, da variação das cargas térmicas ao longo do tempo e do tipo de fluido secundário utilizado. (Martín, 2005).

Nos estabelecimentos agroalimentares é habitual encontrar duas configurações: instalação de refrigeração com evaporador do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular ou de placas; instalação de refrigeração com evaporador do tipo de serpentina de tubos lisos submersa num líquido ou solução, contida no interior de um tanque isolado, com um agitador de fluido (Alcaraz and Ojer, 1985; Martín, 2005; Pineda, 2001).

A figura 2.28 apresenta o esquema típico do circuito de uma instalação de refrigeração secundário que utiliza um evaporador do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular ou de placas usado para a obtenção e acumulação de água gelada.

O esquema representado na figura 2.29 representa o circuito típico de um sistema de refrigeração secundário com um evaporador do tipo de serpentina ou bateria de tubos lisos, submersa no fluido secundário contido no interior de um tanque, usado na acumulação de gelo, respectivamente.

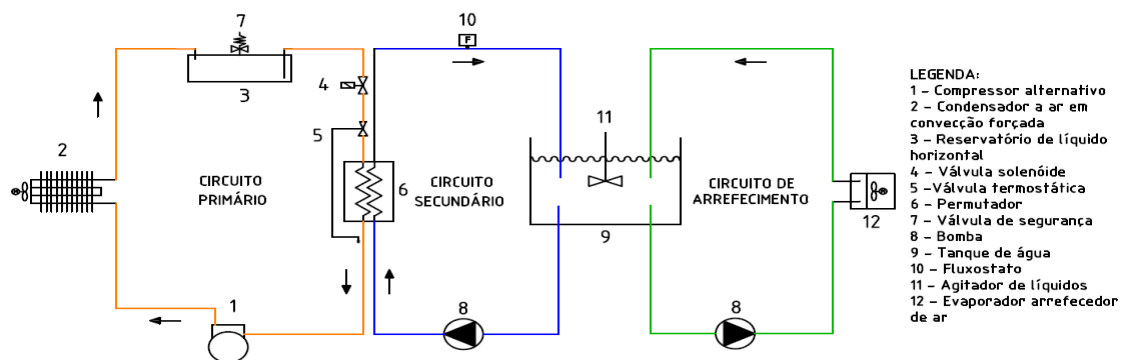


Figura 2.28 - Esquema de uma instalação de refrigeração com acumulação de água. Fonte: (Filho, 2008)-

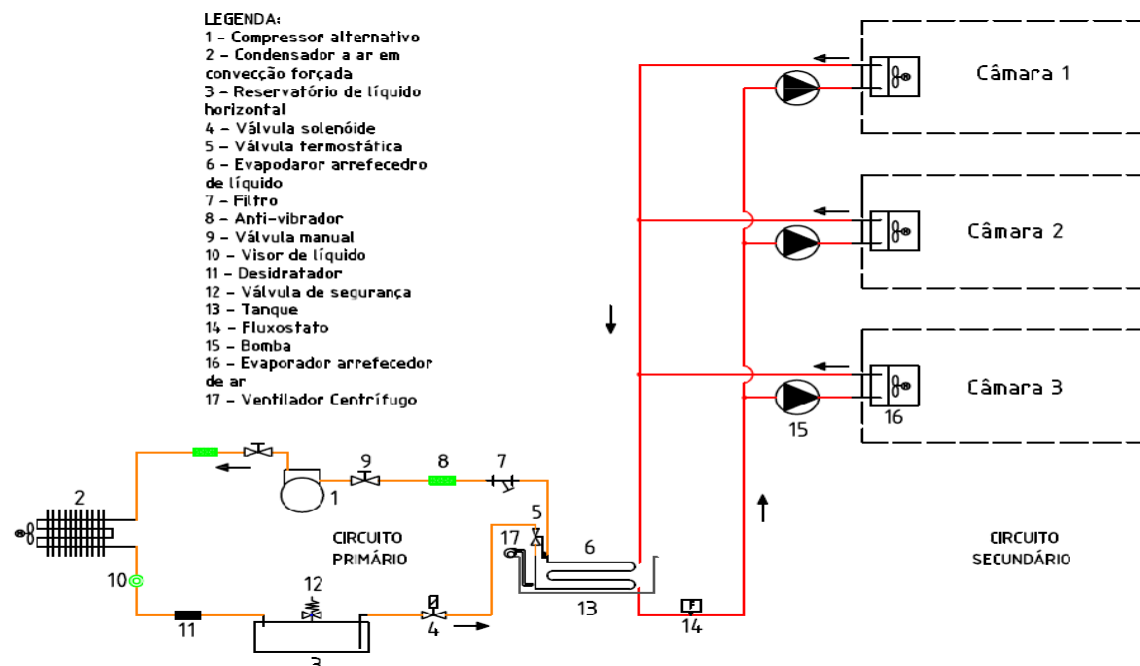


Figura 2.29 - Esquema de uma instalação de refrigeração com um evaporador do tipo serpentina ou bateria de tubos lisos submersa no fluido secundário contido no interior de um tanque. Fonte: (Filho, 2008).

Na instalação representada na figura 2.28 a permuta de calor entre o fluido frigorigéneo primário e uma porção de fluido secundário em circulação, realiza-se no interior evaporador do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular, enquanto na instalação representada na figura 2.29 a troca de calor entre os dois fluidos realiza-se através da superfície externa dos tubos lisos da serpentina que constitui o evaporador e o fluido contido no tanque.

As duas configurações das instalações apresentam diferenças significativas ao nível das características geométricas, físicas, nomeadamente na dimensão do tanque de fluido secundário, quantidade de fluido frigorigéneo primário, coeficiente global de transferência de calor, dimensão e desempenho do evaporador e número de bombas hidráulicas (Filho, 2008).

O coeficiente global de transferência de calor do evaporador do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular, utilizado na instalação representada na figura 2.28 é superior (cerca de 40 a 50 %) ao do evaporador do tipo serpentina de tubos lisos que é usado na instalação representada na figura 2.29, requerendo este último, uma maior superfície de transferência de calor (Filho, 2008).

Consequentemente a instalação que utiliza o evaporador do tipo de serpentina de tubos lisos, requer uma maior disponibilidade de espaço, tanques com maiores dimensões, um agitador de fluido secundário, maior carga de fluido frigorigéneo primário, contribuindo para maior volume da instalação, de custos iniciais de equipamento, de construção e de operação (custos de energia) (Filho, 2008).

Uma alternativa aos permutadores já referidos, são os permutadores de placas. Este género de permutadores apresenta maiores coeficientes globais de transferência de calor comparativamente ao evaporador do tipo corpo cilíndrico e feixe tubular e de serpentina de tubos lisos (Cleto, 2007a, b).

Nas figuras 2.28 e 2.29 o tanque de armazenamento do fluido secundário é considerado aberto, isto é, está em contacto com a atmosfera. No obstante, ele pode ser fechado, ficando o fluido

sem contacto com o ambiente. Neste caso é recomendada a instalação de um vaso de expansão para absorver as dilatações térmicas do fluido. Em qualquer dos casos o tanque deve ser isolado o melhor possível para evitar a troca de calor com o meio ambiente (Alcaraz and Ojer, 1985; Filho, 2008; Martín, 2005).

A distribuição do fluido secundário pelos postos de utilização pode ser efectuada de várias formas, mas segundo (Alcaraz and Ojer, 1985) as configurações mais usuais são: utilização de uma bomba hidráulica por cada um dos postos de abastecimento de frio; utilização de uma única bomba hidráulica ou ponto de alimentação a alimentar todos os postos de utilização de frio.

2.3. NOTA CONCLUSIVA

No presente capítulo descreveu-se a importância da utilização do frio nos estabelecimentos agroalimentares, com especial destaque para as fileiras da carne, lacticínios e hortofrutícolas. Nesta descrição focamos o papel do frio sobre a conservação e a transformação dos alimentos.

Apresentou-se também os principais tipos de sistemas de produção de frio, com especial destaque para o sistema de compressão de vapor e os principais elementos que o constituem. No final damos a conhecer os principais tipos de instalações frigoríficas que são usadas nos estabelecimentos agroalimentares.

No próximo capítulo apresentam-se as metodologias, procedimentos e as ferramentas utilizadas para caracterizar e avaliar o desempenho energético de cada uma das fileiras estudadas na presente tese.

CAPITULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ESTABELECIMENTOS EM ESTUDO

Das diversas fileiras existentes no seio do sector agro-alimentar, e por razões já apontadas na secção 1.3, o presente estudo recai apenas nas fileiras da carne, lacticínios e das hortofrutícolas. Em particular, as empresas estudadas nesta tese situam-se todas na região interior centro do país.

De acordo com a informação contida no Anuário Estatístico de Portugal 2008 (INE, 2009), constatamos que na região Centro se localizavam o maior número de estabelecimentos alimentares, conforme representado na figura 3.1.

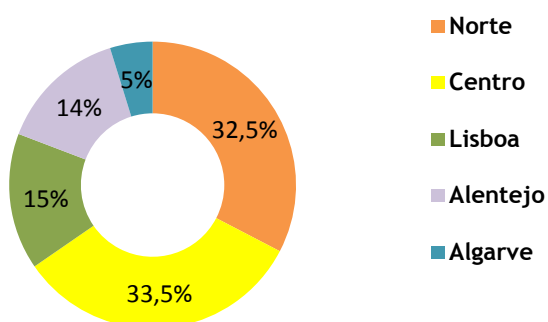


Figura 3.1 - Número de estabelecimentos alimentares nas diferentes regiões. Fonte:(INE, 2009).

Esta região é considerada uma zona do País que apresenta óptimas características climáticas e propriedades de solos e de vegetação que lhe permite desenvolver práticas agrícolas propícias para a obtenção de uma grande variedade de produtos das fileiras seleccionadas. Encontram-se, neste caso, uma grande variedade de produtos regionais que são fabricados na região, de entre os quais se destacam os produtos da fileira da carne (enchidos e presunto), lacticínios (queijos do Rabaçal, Castelo Branco, Serra da Estrela) e frutas (Cereja, Ameixa, Maçã, Pêssego). De facto, trata-se da região do país onde se fabrica mais de 70% do presunto.

Os estabelecimentos que fazem parte deste estudo estão localizados principalmente na região do interior Centro de Portugal, especificamente nos distritos de Santarém, Portalegre, Castelo Branco e Guarda.

Foi utilizada a informação disponibilizada pela Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (DRAPC), para escolher os estabelecimentos das três fileiras legalmente licenciados.

Atendendo à existência de um número elevado de estabelecimentos licenciados, nos termos do Decreto Lei n.º 209/2008 de 29 Agosto (REAI), foram seleccionados todos aqueles que apresentavam média ou grande dimensão e que se mostraram disponíveis para colaborar no

presente estudo. Em geral os estabelecimentos de média e grande dimensão eram aqueles que possuíam câmaras de refrigeração e sistemas de refrigeração para realizar as suas actividades. Após esta fase inicial obtiveram-se 94 estabelecimentos alimentares com o perfil adequado. Contudo, por razões de ordem técnica (tiveram a actividade interrompida durante o ano), deste conjunto reduziu-se a 87 estabelecimentos, distribuídos pelas três fileiras, da seguinte forma: 33 estabelecimentos da fileira da carne, 31 da fileira dos lacticínios e 23 da fileira da hortofrutícolas. Este conjunto de estabelecimentos representa 53,6% dos estabelecimentos existentes na região em estudo.

Na figura 3.2 apresentamos o mapa de Portugal com identificação dos distritos onde se encontram localizados os estabelecimentos (figura da esquerda) e a identificação da localização dos mesmos nos referidos distritos (figura da direita).

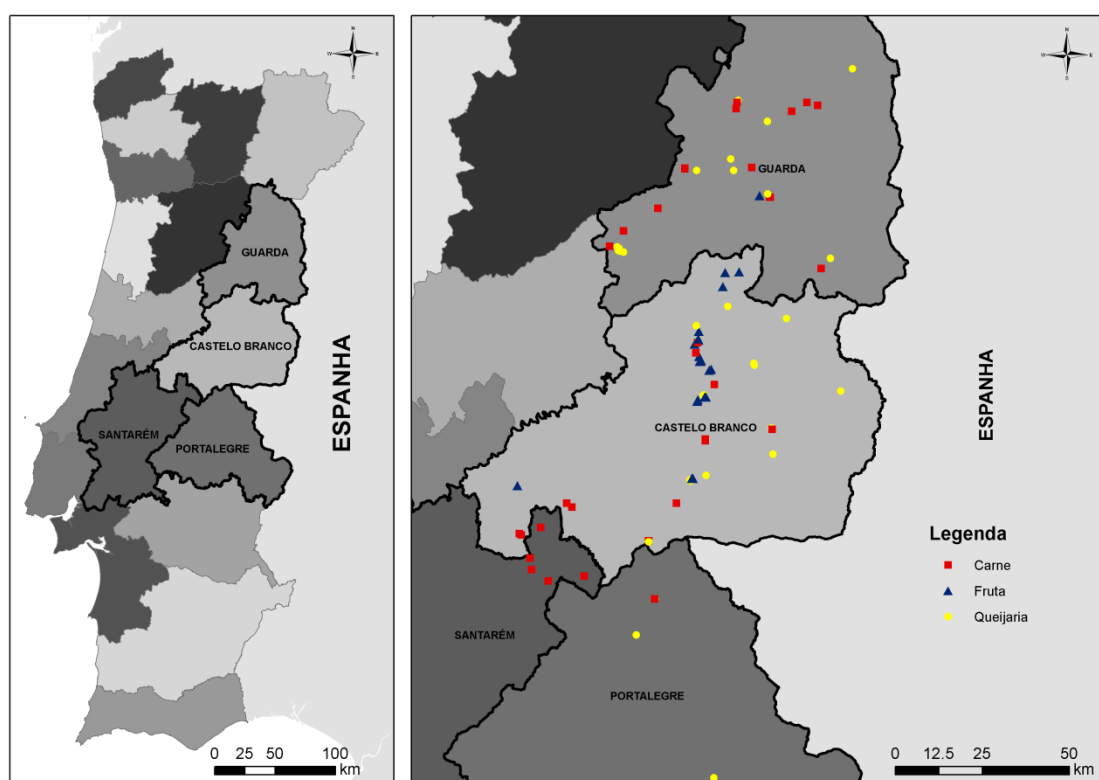


Figura 3.2 - Localização das Agro-indústrias em estudo. Fonte: (IGP, 2012).

A georreferenciação dos estabelecimentos agroalimentares em estudo, bem como o seu registo no mapa foi efectuada, usando a tecnologia SIG móvel, plataforma GPS com Software ArcPad6.

A informação foi recolhida no Sistema de coordenadas Hayford Gauss Militas, e a informação de enquadramento foi obtida da Carta Administrativa Oficial de Portugal (IGP, 2012).

Para identificar as fileiras atribuímos um código a cada uma delas com as seguintes siglas: Fileira da carne- C; fileira dos lacticínios- L e finalmente a fileira das hortofrutícolas- F.

Dentro de cada fileira, criamos grupos com processos produtivos similares, designados da seguinte forma: fileira da carne: matadouros (CM), salsicharias (CS) e estabelecimentos de fabrico de presunto (CP); na fileira dos lacticínios dois grupos: estabelecimentos de fabrico

industrial (L1 a L13) e estabelecimentos de fabrico artesanal (L14 a L31) e finalmente na fileira da hortofrutícolas, também dois grupos: estabelecimentos de revenda (F1 a F7) e estabelecimentos de centrais de fruta (F8 a F23), conforme representado no seguinte esquema:

Fileira da carne

Matadouros																			
CM1	CM2	CM3	CM4																
Salsicharias																			
CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6	CS7	CS8	CS9	CS10	CS11	CS12	CS13	CS14	CS15	CS16	CS17	CS18	CS19	CS20
Estabelecimentos de fabrico de presunto																			
CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9											

Fileira dos lacticínios

Estabelecimentos de fabrico industrial																	
L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13					
Estabelecimentos de fabrico artesanal																	
L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20	L21	L22	L23	L24	L25	L26	L27	L28	L29	L30	L31

Fileira da hortofrutícolas

Estabelecimentos de revenda de produtos															
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7									
Estabelecimentos de centrais de fruta															
F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23

3.2. INQUÉRITO DE RECOLHA DE DADOS

Para recolha de dados nos estabelecimentos, foi elaborado um inquérito para registo da informação relativa às características dos estabelecimentos, características das actividades e

processos produtivos, equipamentos consumidores de energia com especial destaque para os sistemas de refrigeração, câmaras de refrigeração e finalmente os consumos energéticos.

Para além de servir de documento de suporte para registo da informação, o documento elaborado assegurou uma recolha de dados sistemática e fiável. Além disso, ainda desempenhou o papel de guia técnico para a realização das visitas aos estabelecimentos.

O inquérito elaborado permitiu o registo dos seguintes dados:

- i) Identificação e localização dos estabelecimentos;
- ii) Caracterização das infra-estruturas (localização, idade, tipo de materiais, dimensões e localização das câmaras);
- iii) Caracterização das actividades desenvolvidas (tipo e quantidades de matéria-prima, produtos)
- iv) Identificação e caracterização do processo produtivo;
- v) Identificação e quantificação dos tipos de energia;
- vi) Caracterização do tarifário e do consumo de energia eléctrica (tipo tarifário, potência eléctrica contratada, consumos de energia eléctrica, factor de potência);
- vii) Desagregação dos consumos por equipamentos e sectores;
- viii) Caracterização das câmaras de refrigeração (número, tipo de materiais, estado de conservação, estiva);
- ix) Determinação das condições ambientais internas e externas, das instalações e das câmaras de refrigeração (temperatura e humidade relativa);
- x) Identificação e caracterização dos sistemas de refrigeração (idade, localização, tipo de tecnologias e características técnicas, tipo fluido frigorígeno e potências eléctricas nominais dos compressores);
- xi) Avaliação das características dos sistemas de ar comprimido;
- xii) Caracterização dos geradores de fluidos térmicos;
- xiii) Avaliação de melhoria de eficiência energética.

A informação recolhida nos inquéritos foi respeitante à actividade desenvolvida durante o ano de 2008.

No anexo A apresentamos o modelo de inquérito usado para o levantamento da informação nos diferentes estabelecimentos.

3.3. BASE DE DADOS

Com vista a sistematizar e reunir toda a informação recolhida através dos inquéritos em todos os estabelecimentos visitados, construímos uma base de dados informática no Programa Office Access-2007.

Esta ferramenta informática serviu não só para guardar a informação mas também para realizar o tratamento e análise de toda a informação.

O desenho e a construção desta ferramenta, teve por base a organização e a metodologia do inquérito para facilitar a introdução dos dados e permitir em qualquer momento ter acesso não só aos dados dos estabelecimentos individualmente mas também ao de cada fileira. Por outro lado, foi configurada para tratar os dados de cada um dos estabelecimentos e calcular os principais indicadores energéticos usados na caracterização dos estabelecimentos. Os indicadores vão ser apresentados mais à frente, neste capítulo.

A base de dados permite ainda obter um relatório individual por estabelecimento com a informação mais relevante, nomeadamente, os dados recolhidos, os indicadores calculados e a descrição pormenorizada das características do estabelecimento.

Na figura 3.3, apresenta-se uma imagem da página principal da base de dados, com a indicação dos vários itens que fazem parte do respectivo menu.

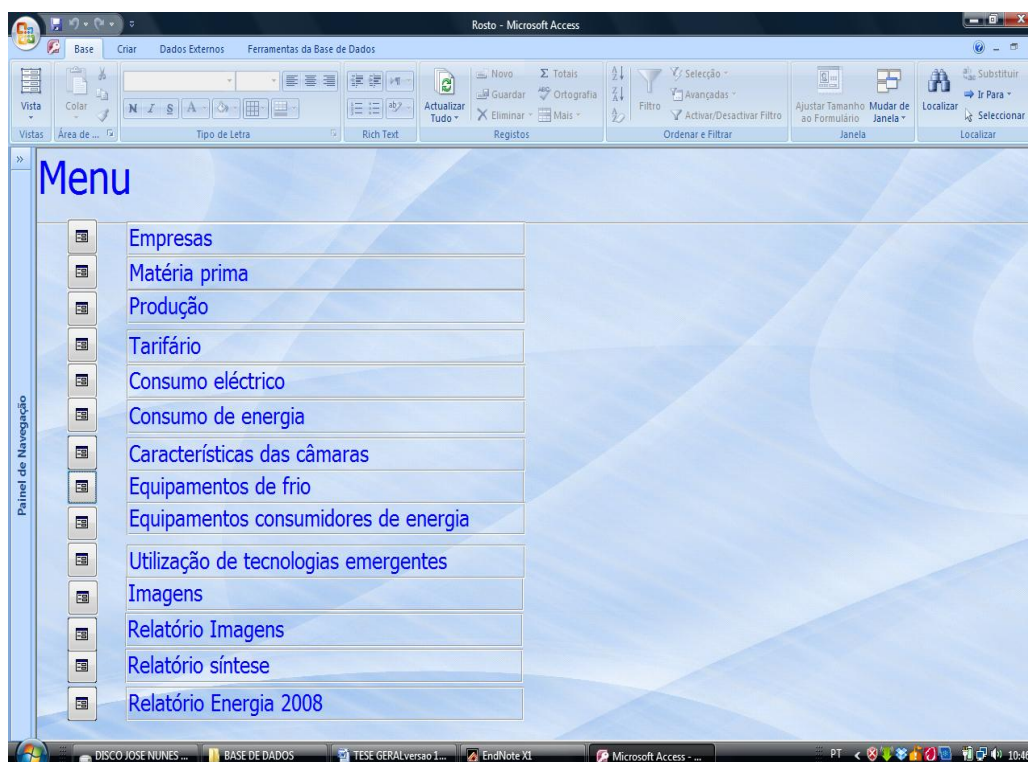


Figura 3.3 - Página principal da base de dados criada em Office Access 2007.

3.4. EQUAÇÕES DO BALANÇO

Na presente secção vamos apresentar os balanços de massa e energia aplicados aos sistemas em análise, neste caso, os estabelecimentos industriais.

O balanço de massa consiste numa análise dos caudais de massa que entram e saem do sistema, descrevendo os caudais de cada um dos tipos de matérias e eventualmente também no interior do sistema. Trata-se portanto de uma lei da conservação da matéria cujo enunciado foi apresentado por Lavoisier. Serve para determinar a quantidade de matéria-prima que entra no sistema e dos produtos fabricados nos estabelecimentos que saem, entre outras grandezas, durante um período de tempo.

Os valores da matéria-prima ou dos produtos vão servir para calcular alguns dos indicadores que usam uma destas grandezas como parâmetro principal.

O balanço de energia diz respeito ao princípio da conservação de energia que estabelece que a energia total de um sistema deve permanecer constante. A energia não pode ser criada nem destruída apenas transformada e pode compreender várias formas, como, energia cinética, energia térmica, energia potencial, a energia interna, eléctrica, química.

Também neste caso, o balanço de energia serve para determinar os consumos energéticos envolvidos no processo produtivo para usar no cálculo dos indicadores específicos.

Para aplicar os dois tipos de balanços é necessário considerar inicialmente uma fronteira do sistema que envolva a parte que interessa estudar.

Para além da diversidade de fronteiras possíveis, duas delas são aplicadas com frequência aos sistemas ou estabelecimentos, que são:

i) Uma fronteira que é constituída pelas paredes físicas do estabelecimento, ou seja que engloba todo o estabelecimento e neste caso serve para medir ou quantificar as grandezas totais que entram e saem do sistema. É um tipo de fronteira que permite realizar as medições globais a todo o sistema. É uma fronteira do tipo C, segundo (USDE, 2009).

Na figura 3.4 apresenta-se uma representação típica da fronteira tipo global.

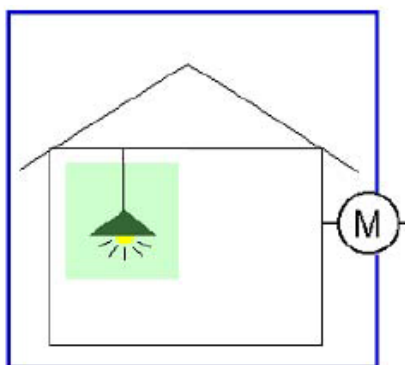


Figura 3.4 - Limites da fronteira do estabelecimento do tipo global. Fonte:(Armando, 2011).

ii) Outro tipo de fronteira envolve só uma porção do estabelecimento ou equipamentos internos dos estabelecimentos. Neste caso estamos perante um método de medição isolada em que

apenas nos preocupamos com equipamentos específicos do estabelecimento ou com os sistemas independentes do resto da instalação, tais como sistemas de refrigeração, ar comprimido, arrefecimento de leite, entre outros. Para estas medições a fronteira do tipo B é a mais adequada segundo (USDE, 2009).

Na figura 3.5 apresenta-se um esquema de uma fronteira do tipo isolado.

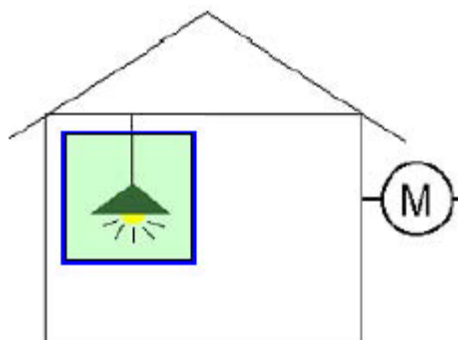


Figura 3.5 - Limites da fronteira do estabelecimento do tipo isolado. Fonte:(Armando, 2011).

3.4.1- Balanço de massa total aos estabelecimentos

Para realizar o balanço de massa global aos estabelecimentos considera-se a existência de uma fronteira que envolve os seus contornos, conforme recomendado por Armando (2011) e Flapper (2009). Na figura 3.6 apresenta-se um esquema geral da fronteira do sistema, sugerida por aqueles autores, com indicação das diferentes parcelas de massa que entram e saem do sistema.

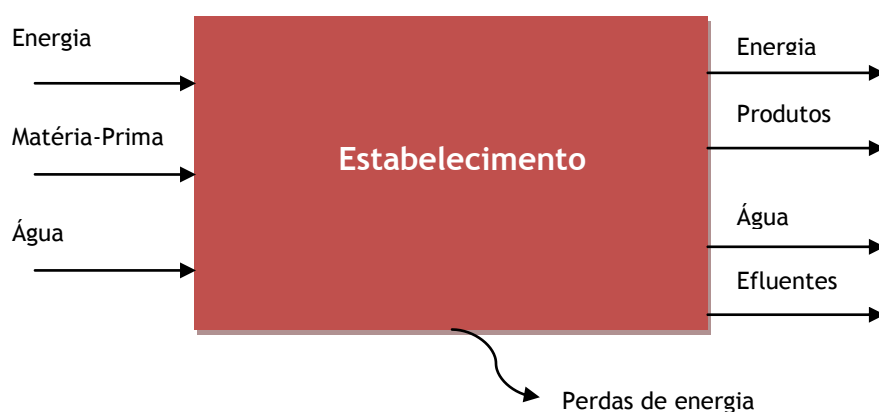


Figura 3.6 - Esquema do modelo da fronteira usada para a avaliação da variação de massa e energia.

As principais matérias-primas que entram nos estabelecimentos da carne estudados nesta tese são os animais, a carne, sal e especiarias. Nos estabelecimentos dos laticínios são o leite cru, sal, coalho e outras culturas em pequenas quantidades. Por último na fileira das hortofrutícolas as matérias-primas são as frutas, hortaliças e outros tipos de produtos vegetais. A água é utilizada

em todas as fileiras para realizar as operações de limpeza ou para integrar os processos produtivos. São ainda utilizados materiais de embalagem (caixas) e rótulos para a rotulagem dos produtos.

Em relação aos produtos, encontramos na fileira da carne, as carcaças, os enchidos e os presuntos e resíduos cárneos, na fileira dos lacticínios temos o queijo curado, queijo fresco, requeijão e o soro e finalmente na fileira da hortofrutícolas encontramos os produtos de hortifruticultura e os desperdícios. Em ambas as fileiras também, encontramos à saída uma quantidade de água que foi utilizada nas operações de limpeza, materiais de embalagem e rotulagem dos produtos e finalmente os efluentes.

Em condições de regime permanente, o balanço de massa ao sistema global traduz-se numa igualdade entre a soma das parcelas de matéria-prima, outros materiais e a água e os produtos a água e os efluentes que saem, de acordo com a equação 3.1.

$$\sum_{i=1}^n MP_{i_{transformada}} + \sum_{k=1}^p MP_{k_{outros}} + Água_{entra} = \sum_{j=1}^m P_j + Água_{sai} + Efluentes \quad (3.1)$$

O primeiro termo da equação 3.1, corresponde à quantidade de matéria-prima (MP) que entra no estabelecimento e que é transformada, podendo ser, para o caso dos nossos estabelecimentos, animais vivos, carne, leite ou hortofrutícolas. Como podem entrar mais do que um tipo de matéria-prima, este termo é igual ao somatório de todos os tipos de matérias-primas MP_i que atravessam a fronteira e entram no estabelecimento. Nestas condições, este termo é determinado com a equação 3.2.

$$MP = \sum_{i=1}^n MP_{i_{transformada}} \quad (3.2)$$

O segundo termo da equação 3.2 corresponde ao conjunto de ingredientes de outros materiais que são indispensáveis para o processo produtivo e também atravessam a fronteira e dão entrada no estabelecimento. O terceiro termo da equação traduz a quantidade de água que atravessa a fronteira e entrou no estabelecimento para realizar as diferentes operações de limpeza e do processo produtivo. Passando agora ao quarto termo da equação, este traduz a quantidade de produtos (Prod) que resultam do processo produtivo e atravessam a fronteira para serem vendidos no mercado. Atendendo a que cada estabelecimento está especializado no fabrico de produtos específicos, cada um deles fabrica um número pouco diversificado de produtos. Nestas condições, os produtos fabricados ou transformados por cada estabelecimento é obtido através da soma dos vários tipos de produtos e é obtida através da equação 3.3.

$$Prod = \sum_{j=1}^m P_j \quad (3.3)$$

O quinto termo da equação traduz a quantidade de água resultante das operações de limpeza e do processo produtivo. Finalmente o último termo corresponde à quantidade de efluentes líquidos ou sólidos que resultam do processo produtivo.

Como se trata de uma equação geral da conservação da massa, válida para um determinado período de tempo ela serve para determinar algum dos seus termos ou para validação dos processos.

No nosso estudo utilizamos a equação 3.2 e 3.3, para determinar o valor da matéria-prima transformada e os produtos obtidos numa base anual para determinar os indicadores específicos. Para a determinação destas grandezas utilizamos a informação recolhida nos estabelecimentos e que constava nos inquéritos.

De entre a matéria-prima (MP) e os produtos (Prod) a grandeza mais fácil de quantificar nos estabelecimentos foi a matéria-prima. A matéria-prima foi quantificada imediatamente após a sua entrada no estabelecimento ao invés dos produtos que, em algumas situações, encontravam-se em stock para venda e noutros casos já tinham sido vendidos mas só existiam registos dos valores monetários das vendas.

Para calcular os indicadores específicos pode-se usar qualquer grandeza física que esteja devidamente quantificada, de acordo com (Reindl, 2005) e por conseguinte no nosso caso escolhemos a matéria-prima anual, dada pela equação 3.2 para calcular os indicadores normalizados dos estabelecimentos.

3.4.2- Balanço de energia

À semelhança do balanço de massa também o balanço de energia necessita da definição de uma fronteira para a realização do balanço. Para o efeito, de acordo com Casqueiro (2010), Flapper (2009) e USDE (2009) para a realização do balanço global de energia ao sistema uma fronteira do tipo global, representada na figura 3.4 e 3.6 são adequadas.

O balanço de energia ao sistema ou volume de controlo (no nosso caso podemos admitir o estabelecimento), estabelece que, para um determinado intervalo de tempo, o somatório dos fluxos de energia que entram no volume de controlo é igual ao somatório dos fluxos de energia que saem do volume de controlo mais a variação da quantidade de energia armazenada pelo mesmo durante o intervalo de tempo considerado. Matematicamente, o balanço de energia, que resulta do Primeiro princípio da Termodinâmica pode traduzir-se na equação 3.4.

$$\sum \dot{E}_{ent} = \sum \dot{E}_{sai} + \frac{\Delta E_{VC}}{\Delta t} \quad (3.4)$$

onde, \dot{E}_{ent} representa qualquer forma de energia por unidade de tempo que entra para dentro do estabelecimento, \dot{E}_{sai} representa qualquer forma de energia por unidade de tempo que sai

do estabelecimento, E_{VC} representa a quantidade total de energia armazenada no interior do estabelecimento e finalmente Δt representa o intervalo de tempo considerado.

Entre as formas de energia que podem atravessar a fronteira do estabelecimento, isto é, entrar ou sair do estabelecimento, estão incluídos os fluxos de calor (\dot{Q}), de trabalho (\dot{W}) e as taxas associados à massa que atravessam a fronteira.

Por outro lado uma quantidade de massa em movimento possui energia cinética, energia potencial e energia térmica. Além disto, como geralmente o caudal mássico (\dot{m}_s) é gerado por uma força motriz, há outra forma de energia associada ao fluxo, a qual está relacionada com a pressão. Esta ultima forma de energia é chamada de trabalho de fluxo, sendo dada pelo produto da pressão pelo volume específico do fluido. Nestes termos, a Primeira Lei da Termodinâmica apresenta a forma da equação 3.5.

$$\sum \dot{Q} + \sum_{ent} \dot{m}_s \left(\frac{V^2}{2} + gz + u + pv \right) = \sum \dot{W} + \sum_{sai} \dot{m}_s \left(\frac{V^2}{2} + gz + u + pv \right) + \frac{\Delta E_{VC}}{\Delta t} \quad (3.5)$$

Esta equação pode ser simplificada uma vez que para sistemas industriais a variação da quantidade de energia armazenada no sistema (ΔE_{VC}) é igual a zero. Trata-se de uma situação em que o regime trabalha em regime permanente e neste caso, considerando também que “u+pv”, corresponde à entalpia h, então a equação anterior apresenta a forma da equação 3.6.

$$\sum \dot{Q} + \sum_{ent} \dot{m}_s \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) = \sum \dot{W} + \sum_{sai} \dot{m}_s \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad (3.6)$$

onde \dot{Q} e \dot{W} representam o calor e de trabalho que atravessam o estabelecimento, respectivamente, com as suas unidades em Watt (W), h é a entalpia específica no volume de controlo (J/kg), \dot{m}_s é o caudal mássico (kg/s), V é a velocidade em metros por segundo (m/s), z é a altura medida em metros (m) e g é a aceleração da gravidade, que pode ser considerada constante, igual a 9,81 m/s².

Se ainda desprezarmos as variações da energia cinética e potencial, a equação da Primeira Lei da Termodinâmica, em relação ao volume de controlo, assume a forma apresentada na equação 3.7.

$$\sum \dot{Q} - \sum_{ent} \dot{W} + \sum_{ent} \dot{m}_s h - \sum_{sai} \dot{m}_s h = 0 \quad (3.7)$$

A equação 3.7 traduz a equação do balanço de energia em regime permanente aplicada ao estabelecimento.

No nosso caso concreto, as quantidades de energia (eléctrica e de combustíveis) que entraram no estabelecimento, foram obtidas através da informação recolhida pelos contadores de energia

eléctrica. Para obtenção dos valores quantitativos utilizamos as facturas de energia eléctrica dos fornecedores de energia e as facturas de combustíveis.

Em relação ao sistema representado na figura 3.4, a energia exterior que é fornecida ao sistema e que atravessa a fronteira ou seja que entram no estabelecimento para realizar a actividade, é dada pelo somatório de todas as parcelas de energia, geralmente a energia eléctrica ($E_{eléctrica}$) e a energia dos combustíveis ($E_{combustíveis}$), conforme apresentado na equação 3.8:

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n E_i = E_{eléctrica} + E_{combustíveis} \quad (3.8)$$

Na equação 3.8 a unidade da energia é a tonelada equivalente de petróleo (tep) e os factores de conversão dos diferentes tipos de energia para energia primária (tep) estão apresentados no Despacho 17313/2008, publicado no D.R. n.º 122, II Série, de 2008.06.26.

Na presente tese também obtivemos a desagregação dos consumos de energia eléctrica em alguns estabelecimentos. Nesta desagregação apuraram-se os consumos de energia dos sistemas de refrigeração, sistemas de arrefecimento de leite, ar comprimido, entre outros e para realizar esta análise tivemos que instalar os analisadores de energia nos quadros parciais que se encontram no interior do estabelecimento. Uma análise deste tipo exige uma abordagem diferente da que foi descrita anteriormente, ou seja, necessita da utilização de uma fronteira do tipo isolado, conforme se encontra representada na figura 3.5.

3.5. AVALIAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA

Os valores registados nas facturas de energia eléctrica foram medidos através dos contadores de energia, pertencentes às empresas distribuidoras de energia eléctrica.

Cada estabelecimento possui um contador geral de energia eléctrica, instalado no quadro eléctrico principal localizado dentro das instalações.

As medições dos consumos de energia foram obtidas numa base mensal. A recolha da informação reportou-se a um ano civil de actividade, neste caso, desde Janeiro a Dezembro de 2008.

A principal informação retirada das facturas de energia eléctrica foi o consumo de energia eléctrica, de acordo com o tarifário do estabelecimento (Vazio, super-vazio, cheia e ponta), medidos em quilowatts-hora (kWh), a potência eléctrica instalada, medida quilowatts (kW), factor de potência ($\cos \varphi$) e os custos da energia quantificado em euros (€). Em relação às facturas de combustíveis obtivemos a quantidade de combustível, medida em tonelada (ton), metros cúbicos (m^3) ou litros (l), consoante o tipo de combustível e os seus custos em euros (€).

Durante a fase de análise das facturas de energia, principalmente a eléctrica, foi necessário ter em atenção nos valores apresentados pelas mesmas: se os valores de consumo diziam respeito a

valores reais ou se correspondiam a valores estimados. No caso de as facturas apresentarem valores de consumo reais, correspondentes ao período a que diziam respeito a leitura foram considerados os valores com precisão, sem necessidade de correcção. Pelo contrário, quando alguma factura apresentava valores estimados, tivemos que realizar uma correcção com base numa avaliação do histórico correspondente a um período idêntico de leitura com dados reais. As correcções foram realizadas com base nos históricos de consumos de energia, de períodos idênticos do ano anterior, cujos dados reais a empresa fornecedora de energia nos forneceu.

Atendendo à zona geográfica de localização dos estabelecimentos (região do Interior Centro) onde o clima apresenta algumas similaridades durante as estações do ano nesta região, o seu efeito sobre o consumo de energia foi considerado similar em todos os estabelecimentos, e por isso não houve necessidade de realizar correcções.

No caso de o clima, através da temperatura e da humidade relativa afectar os consumos de energia dos sistemas de refrigeração, então torna-se necessário considerar o efeito desta variável. Por exemplo Ademe (2003), refere que o consumo de energia para a refrigeração nos países nórdicos (temperaturas mais baixas; Dinamarca, Finlândia e Suécia) é menor do que nos países na Europa Central (por exemplo França e Alemanha) e este por sua vez é menor do que nos países do Sul onde se integram Grécia, Itália, Malta, Portugal e Espanha. Neste caso os consumos de energia eléctrica para a refrigeração devem ser corrigidos com um factor que é igual a 1 para os países do centro da Europa, igual a 0,95 para os países do Norte da Europa e 1.2 para os países do sul da Europa.

3.6. AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA NOMINAL DOS COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO

A potência eléctrica nominal dos compressores afectos à refrigeração foi uma grandeza que utilizamos no presente estudo para efeitos comparativos do peso da refrigeração entre os diferentes estabelecimentos de cada fileira.

Esta grandeza é uma característica energética dos compressores e em muitos casos ela consta na chapa de características dos mesmos (potência eléctrica nominal).

Contudo, na maioria dos casos, a sua leitura foi impossibilitada por inexistência da chapa, por ilegibilidade ou por simplesmente não constar na mesma.

Nestas situações houve a necessidade de estimar o seu valor através da utilização de software específico ou através de catálogos dos fabricantes. Para esta estimativa, admitimos o funcionamento do compressor em condições nominais e ainda nas condições de temperatura de evaporação e de condensação do fluido frigorigéneo, adequadas para obtenção das condições ambientais pretendidas nas câmaras de refrigeração.

Para condições de temperaturas de refrigeração positivas (0 a 4°C), as condições nominais de funcionamento dos compressores que utilizámos nos catálogos e no software foram uma

temperatura de evaporação de -10°C e uma temperatura de condensação de $+45^{\circ}\text{C}$, conforme recomendado por (Trust, 2007).

Já para temperaturas negativas (-25 a -18°C), as temperaturas de evaporação e de condensação utilizadas foram de -35°C ou -30°C e $+45^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Trust, 2007).

Finalmente para temperaturas de climatização (10 a $+12^{\circ}\text{C}$), as temperaturas de evaporação e condensação utilizadas nos catálogos ou software foram de 0°C e $+45^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Langley, 2009).

Para além da estimativa da potência eléctrica dos compressores, também calculamos os valores reais efectivamente utilizados pelos compressores quando estes se encontravam em funcionamento em condições nominais. Para a determinação experimental da potência eléctrica nominal dos motores eléctricos de corrente trifásica, que accionam os compressores (PE), utilizamos a equação geral 3.9 (Domínguez, 2011; Koelet, 2002; Martín, 2005):

$$PE = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varnothing \quad (\text{KW}) \quad (3.9)$$

onde, U corresponde à tensão nominal da corrente eléctrica (Volts), I à Intensidade da corrente eléctrica (Amperes) e $\cos \varnothing$ o factor de potência.

De acordo com (Monteiro, 2005), o valor do factor de potência para motores com potência até 1 CV, encontra-se compreendido no intervalo de 0,6 a 0,8. Para motores com uma potência superior a 1 CV, o factor de potência varia entre 0,75 e 0,95. Quando este valor é desconhecido é comum entrar-se com o valor médio de 0,8.

A medição experimental da tensão (U) e da intensidade (I) da corrente eléctrica que alimenta os compressores foi realizada quando estes se encontravam em funcionamento nas condições normais de trabalho. Neste caso, as condições ambientais internas das câmaras encontravam-se em evolução e o regime de trabalho destes equipamentos considerou-se igual ao ciclo normal da actividade.

Atendendo a que na maioria das vezes os compressores trabalham em regime ligado/desligado, todas as medições foram realizadas após um período longo de funcionamento dos equipamentos de refrigeração para que as condições verificadas durante a realização dos ensaios fossem o mais próximo das condições nominais.

A Medição da tensão U (Volts) e intensidade I (Amperes) da corrente eléctrica foi medida através de uma pinça amperimétrica Escort ECT-620, com capacidade para medição de uma tensão e corrente até 1000 Volts e 1000 Amperes, respectivamente. O erro deste equipamento é inferior a 1,5% da sua leitura, tanto para a tensão como para a intensidade da corrente.

Por exemplo, um compressor da marca Bitzer, semi-hermético, modelo 2CC-4.2Y a funcionar com R404a, para obtenção das condições ambientais do interior de uma câmara de fruta de 2°C , a trabalhar com uma temperatura de evaporação e de condensação de -10°C e $+45^{\circ}\text{C}$, respectivamente, obtivemos através do software do fabricante uma potência eléctrica nominal

pelo motor de 3,82 kW. Na figura 3.7 apresentamos as características técnicas de funcionamento do compressor para estas condições de trabalho.

Por via experimental, baseados nas mesmas condições ambientais descritas anteriormente e através dos valores medidos da tensão entre fases e intensidade da corrente eléctrica que alimenta o motor do compressor, iguais a 397 V e 7,1 A, respectivamente e um factor de potência igual a 0,8, obtivemos através da utilização da eq. 3.9 uma potência eléctrica real do motor do compressor igual a 3,905 kW.

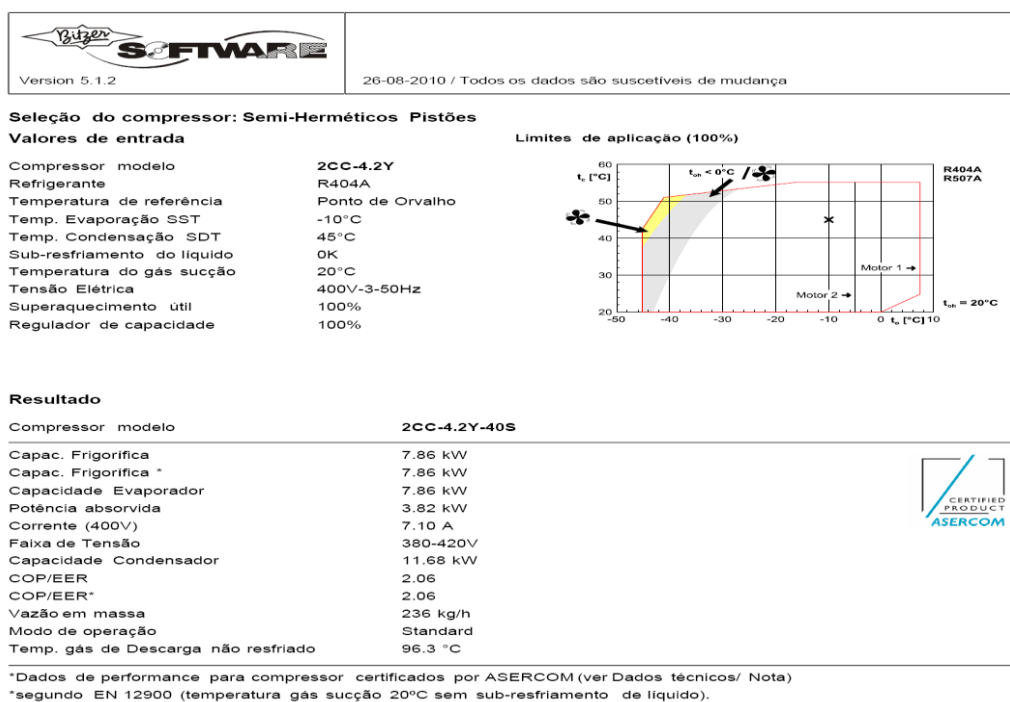


Figura 3.7 - Características de funcionamento de um compressor de marca Bitzer modelo, 2CC-4.2.Y obtidas através do software do fabricante. Fonte: (Bitzer, 2010).

Uma comparação entre o valor estimado e medido da potência eléctrica absorvida pelo compressor em análise, resulta numa diferença de 2,3%.

Para o caso de compressores abertos, a potência eléctrica útil no seu eixo é habitualmente determinada através da expressão do rendimento dos motores eléctricos que nos dá a relação entre a energia efectiva útil produzida na forma de trabalho mecânico e a energia total fornecida ao estator é dada pela equação 3.10.

$$\eta = \frac{P_{util}}{PE_{absorvida}} * 100 \quad (\%) \quad (3.10)$$

Para exemplificar apresentamos, neste caso, um segundo exemplo, agora para um compressor do tipo aberto que pertence a uma central de circuito directo, no estabelecimento F16. O compressor era de marca Bitzer, modelo 4N.2 e funcionava com o fluido frigorígeno R22.

Este compressor encontra-se instalado em paralelo com um segundo compressor (compressor de substituição) através de um colector de aspiração comum, conforme se pode observar na figura 3.8.



Figura 3.8 - Central de frio de circuito directo do estabelecimento F16.

Nestas condições, com vista à obtenção de uma temperatura de 3 a 4 °C no interior das câmaras de refrigeração (2) apresentamos na figura 3.9 as características técnicas do compressor da instalação frigorífica obtidas através da utilização do software do fabricante Bitzer. Conforme se constata do ficheiro com as características técnicas, a potência útil no eixo do compressor é de 12,52 kW.

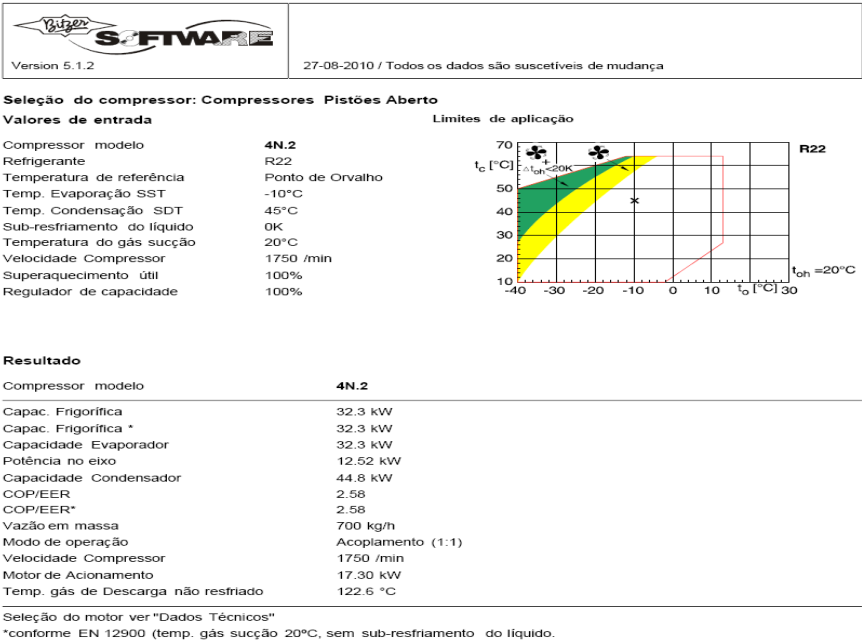


Figura 3.9 - Resultados do software da marca BITZER, para o compressor 4N.2 do estabelecimento F16.
Fonte: (Bitzer, 2010)

Para obtenção do valor desta grandeza pela via experimental realizamos as medições das características da corrente eléctrica que alimenta o motor. Nas figuras 3.10 e 3.11 apresentamos as imagens da medida da tensão e da corrente eléctrica, respectivamente.

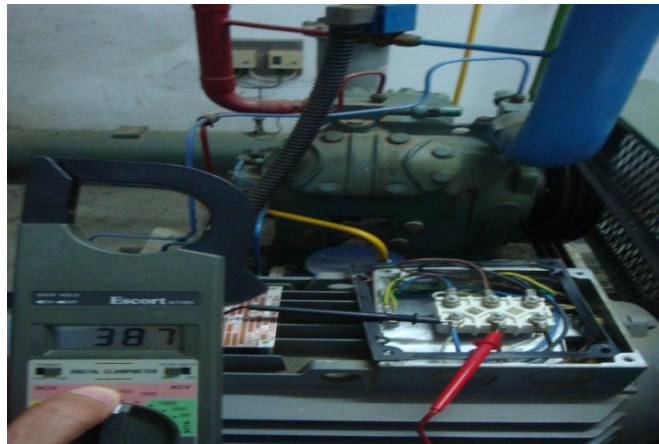


Figura 3.10 - Medição da tensão eléctrica do motor eléctrico que acciona o compressor.



Figura 3.11 - Medição da corrente eléctrica do motor eléctrico que acciona o compressor.

Os principais resultados medidos foram a temperatura interior da câmara de 3°C, a temperatura do ar exterior de 36°C, tensão eléctrica entre fases de 387 V, intensidade de corrente eléctrica de 13,4 A e factor de potência de 0,8. Tratando-se de um motor bi-estrela, então o valor real da potência absorvida é de:

$$\sqrt{3} \times 0,8 \times (2 \times 13,4) \times 389 = 14,45 \quad \text{KW} \quad (3.11)$$

Por fim obtivemos uma potência útil no eixo, admitindo um rendimento do motor de 0,88, igual a 12,72 kW.

Comparando as potências, estimada e medida constatamos que elas diferem entre si de um valor igual a 1,6%.

Para validação do procedimento adoptado para estimar a potência eléctrica dos compressores, realizamos um número elevado de testes e realizamos a respectiva comparação entre a potência estimada teoricamente e a potência calculada experimentalmente. Na Tabela 3.1 apresentamos esses resultados e como se constata a diferença entre os valores calculados pelas duas vias é em média inferior a 10%.

Tabela 3.1 - Resultados da potência eléctrica absorvida dos motores dos compressores do frio, obtida por via teórica e experimental

Estabelecimentos	Marca do compressor	Modelo do compressor	Temperatura interior das câmaras (°C)	Temperatura teórica de evaporação e condensação (°C)	Potência Teórica PE (kW)	Potência Real PE (kW)	Diferença (%)
L14	Bitzer	4EC-6.2Y	7 - 8 °C	-10 °C; +45 °C	5,25	5,73	9,14
L14	Bitzer	2CC-4.2Y	12-14 °C	-10 °C; +45 °C	3,82	4,34	13,60
L14	Bitzer	2DC-2.2Y	6 - 7 °C	-10 °C; +45 °C	2,69	2,86	6,30
L14	Bitzer	2EC-3.2Y	5 - 6 °C	-10 °C; +45 °C	2,70	2,73	3,70
L11	Maneurop	MT50	2 °C	-10 °C; +45 °C	3,10	3,37	8,71
L11	Bitzer	2GC-2.2Y	6 °C	-10 °C; +45 °C	1,81	1,95	7,70
L11	Bitzer	4EC-4.2Y	-17 °C	-35 °C; +45 °C	2,63	2,91	10,60
L11	Bitzer	4DC-7.2Y	14 °C	-6 °C; +50 °C	6,90	7,10	2,90
L11	Maneurop	MTZ64	14 °C	-6 °C; +50 °C	4,96	4,99	0,70
L6	Bock	F16	4 -15 °C	-10 °C; +45 °C	22,00	23,55	7,10
L6	Frascold	V25.71	4 -15 °C	-10 °C; +40 °C	12,95	14,81	14,30
L6	Frascold	V25.71	4 -15 °C	-10 °C; +45 °C	12,95	14,85	14,60
L6	Zanotti	S15	0 °C	-10 °C; +45 °C	11,00	11,70	6,30
L6	Dorin	K750CC	- 10 °C	-30 °C; +45 °C	5,51	5,67	3,00
F1	Bitzer	4V-10.2Y	0 - 1 °C	-10 °C; +45 °C	6,50	6,99	7,50
F1	Bitzer	4FC-5.2	4 - 5 °C	-10 °C; +45 °C	4,20	4,32	2,90
F1	Bitzer	4P-15.2	4 - 5 °C	-10 °C; +45 °C	9,45	10,32	9,20
F4	Frascold	F5.24	1 -12 °C	-10 °C; +40 °C	4,65	4,84	4,00
F4	Frascold	F5.24	1 -12 °C	-10 °C; +40 °C	4,65	4,75	2,10
F21	Bitzer	4NC-20.2Y	1 - 2 °C	-16 °C; +41 °C	10,62	10,86	2,20
F21	Bitzer	4N-20.2Y	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	12,48	12,80	2,60
F21	Bitzer	4N-20.2Y	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	12,48	12,73	2,00
F16	Bitzer	4N.2	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	12,52	12,72	1,60
F18	Bitzer	4CC-4.2Y	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	3,82	3,91	2,30
F18	Bitzer	4CC-4.2Y	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	3,82	3,92	2,60
F10	Bitzer	4P-15.2	1 - 3 °C	-10 °C; +45 °C	9,45	10,16	7,50

O gráfico representado na figura 3.10 destaca a existência de uma elevada aproximação entre os resultados da potência eléctrica absorvida pelos motores eléctricos, determinada pelas duas vias. Uma análise estatística aos resultados fornece-nos o gráfico da figura 3.12, onde constatamos que o coeficiente de correlação R^2 é elevado, neste caso, é igual a 0,994.

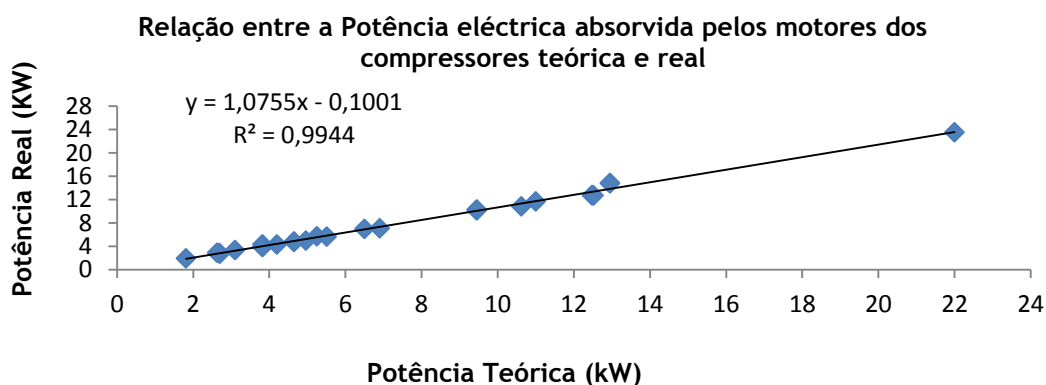


Figura 3.12 - Valores estimados e medidos da potência eléctrica absorvida pelos compressores de refrigeração.

Com os presentes resultados podemos aceitar o método do cálculo da potência eléctrica dos compressores como razoável e assim considerar a presente metodologia para estimar a potência eléctrica absorvida pelos motores eléctricos dos compressores como válida.

3.7. DETERMINAÇÃO DO DIAGRAMA DE CARGA E PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA

A determinação dos diagramas de carga e do perfil de consumo de energia eléctrica num determinado período de tempo foi realizada com recurso a dois analisadores de energia. O primeiro, (Elcontrol - Energy Explorer, permite medir a corrente eléctrica dentro de uma gama de valores entre 15 a 750 V e 20 a 1000 A, com um erro inferior a 0,53 a 2 V e 0,04 a 2 A, respectivamente. O segundo analisador Circutor CIR-e³, permite medir a corrente eléctrica até 690 V e 20000 A com um erro inferior a 0,5, 1%, 2% e 2% para a tensão, corrente, potência e energia, respectivamente.

Estes instrumentos permitem a medição das características eléctricas da corrente monofásica e trifásica.

Consequentemente, mediram-se os consumos de energia (kWh), tensão eléctrica (Volts), potência eléctrica (kW), factor de potência ($\cos \varphi$), entre outras grandezas. Os aparelhos realizavam medições dentro de intervalo pré-definidos que podia ir de 2 minutos, 5 minutos, 15 minutos.

Para a realização destas medições utilizamos uma fronteira do tipo global ou isolado, consoante o objectivo da medição e o período de medição dos aparelhos nas instalações foi geralmente de 1 a 2 semana.

Estes aparelhos eram inicialmente preparados para ser instalados (criação do ficheiro de leitura de dados) e posteriormente eram colocados no quadro eléctrico onde se pretendiam realizar as medições.

3.8. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA

A temperatura do interior e do exterior das câmaras de refrigeração foram medidas através de um equipamento digital testo 435-2, com sonda multifunções, com uma gama de temperatura de -20 a +70 °C. A precisão do equipamento era de ± 0.3 °C.

A temperatura de superfície foi medida com o mesmo equipamento e uma sonda de contacto, com termopar tipo K, com uma precisão de ± 0.5 °C. A sonda de contacto foi usada para medir a temperatura da parede interior e exterior das câmaras para averiguar eventuais pontes térmicas.

Para medição da temperatura no interior de câmaras de refrigeração e no interior do desvão dos estabelecimentos foram utilizados 4 data-loggers (2 Microlite e 2 Lascar electronics). Estes equipamentos permitem medir com uma precisão de $\pm 0,5$ °C.

3.9. DETERMINAÇÃO DA HUMIDADE RELATIVA

A medição da humidade relativa das câmaras de refrigeração foi realizada com os equipamentos que foram usados para a medição da temperatura, cuja sonda era de dupla função. A humidade relativa foi expressa em percentagem (%) e o grau de precisão da humidade relativa foi de ± 2 % RH. Os data-loggers também mediram a humidade relativa.

3.10. DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO

As dimensões das câmaras de frigoríficas das indústrias foram determinadas com recurso a um medidor de distâncias Bosch-DLE 40, que utiliza a técnica de infravermelhos, e permite um alcance de 40 metros (m) com precisão de $\pm 1,5$ mm.

A volumetria das câmaras foi calculada com base nas dimensões e na medição interior das câmaras e é apresentada em m³.

3.11. INSPECÇÃO DA QUALIDADE GERAL DAS CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO

Esta inspecção às câmaras de refrigeração tem como objectivo avaliar os seus aspectos térmicos no que respeita à transferência de calor do exterior para o seu interior.

Na avaliação do estado de conservação das paredes das câmaras, nomeadamente a verificação de existência de pontes térmicas, o estado de vedação das portas das câmaras de refrigeração, o estado de conservação do isolamento das condutas de aspiração do fluido frigorígeno e das condutas de insuflação de ar das unidades de tratamento de ar, utilizou-se uma câmara de termografia, Testo 880.

Este equipamento permite medir temperaturas numa gama de -20 a 100 °C e de 0 a 350 °C. A sua precisão é de ± 2 °C.

A câmara termográfica permite determinar a temperatura em qualquer ponto da imagem e utilizando os histogramas de distribuição com o software, é possível realizar uma distribuição de temperatura numa direcção ou numa determinada área.

O procedimento de utilização e o potencial deste tipo de tecnologia pode ser encontrado em (Nunes, 2008).

3.12. INDICADORES ESPECÍFICOS

Dentro de cada uma das fileiras agroalimentares são produzidos produtos similares. Numa análise energética global ao sistema, a eficiência energética do processo ou da actividade destaca-se nos estabelecimentos através da sua capacidade de produzirem esses produtos com a menor parcela de energia imputada aos mesmos. Isto significa que, numa perspectiva de desenvolvimento sustentado, os estabelecimentos melhor colocados produzem os seus produtos através de um processo que utiliza uma quantidade de energia menor, sem por em causa a qualidade dos produtos, coisa que na actualidade, por causa da concorrência, normas de segurança alimentar e a competitividade, os responsáveis dos estabelecimentos evitam (Reindl, 2005).

Tendo em conta este desígnio, a afectação de energia no fabrico de produtos entre os diferentes estabelecimentos só pode ser dependente de variáveis que dependem de factores internos à fronteira do sistema, já que os factores externos, como por exemplo, o clima, tem em geral uma influência igual em todos eles, embora possam ser aplicadas estratégias para os minimizar (Ademe, 2000).

Neste sentido, o papel dos indicadores específicos é relevante porque os seus resultados fornecem-nos uma informação sobre o desempenho energético e físico dos estabelecimentos e consequentemente de eventuais diferenças em vários níveis que uns apresentam relativamente aos outros (Ramírez et al., 2006b).

Por analogia das desigualdades existentes entre os estabelecimentos, como sejam, diferenças ao nível das infra-estruturas, dos equipamentos, dos procedimentos, da gestão da actividade e da energia, entre outros, com os resultados dos indicadores, pode-se não só avaliar a performance energética de cada um dos estabelecimentos, mas também descobrir as causas principais que estão na origem das ditas divergências.

O nível de eficiência energética pode assim ser avaliada mediante uma análise comparativa dos indicadores específicos obtidos para os diferentes estabelecimentos e simultaneamente podem ser conhecidas as causas que estão por detrás das diferenças de eficiências energéticas que alguns estabelecimentos apresentam relativamente aos outros (Saygin et al., 2011).

Com esse propósito, no presente trabalho utilizam-se um conjunto de indicadores, alguns energéticos outros físicos para avaliação do desempenho energético dos estabelecimentos, para avaliar a contribuição dos sistemas de refrigeração nesse desempenho. Outro objectivo da determinação destes indicadores é o de encontrar os principais factores que influenciam os desempenhos energéticos. Deste modo, os principais indicadores utilizados na presente tese, são:

3.12.1. Consumo específico de energia primária (CEEP)

O consumo específico de energia primária (CEEP) é um indicador energético que quantifica a afectação da energia primária total, numa base anual, por unidade de matéria-prima que entra no sistema ou estabelecimento. Este indicador é determinado com os resultados das equações 3.2 e 3.8, de acordo com a equação 3.11.

$$CEEP = \frac{E_{Total}}{MP} \quad (3.11)$$

A unidade do indicador energético é a tonelada equivalente de petróleo por litro (tep/l), ou por toneladas de matéria-prima (tep/ton_{MP}).

Este indicador fornece a informação sobre a quantidade de energia primária total (eléctrica e térmica) usada para obtenção de uma tonelada de produto. Ele é utilizado para comparação dos consumos energéticos totais de energia entre estabelecimentos com processos produtivos similares que utilizam os dois tipos de energia como referem MLA (2009), Moreno (2006) e Murray (2010). Na tabela 1.5, apresentada no capítulo 1, este indicador aparece com o significado do IEE_{total}.

3.12.2 Indicador específico de energia eléctrica (IEEE)

O indicador específico de energia eléctrica (IEEE) é também um indicador energético e é entre os diversos indicadores, aquele que fornece uma informação que caracteriza o desempenho dos estabelecimentos em relação ao consumo de energia eléctrica.

Ele fornece a relação entre o consumo de energia eléctrica ($E_{eléctrica}$) que foi consumida numa base anual e a matéria-prima (MP) transformada ou trabalhada, ou seja, a matéria-prima que deu entrada no sistema. É obtido de acordo com a equação 3.12.

$$IEEE = \frac{E_{eléctrica}}{MP} \quad (3.12)$$

A unidade deste indicador é o quilowatt-hora por litro ou por quilolitro (kWh/l_{MP}; kWh/kl_{MP}) ou o quilowatt-hora por tonelada de matéria-prima (kWh/ton_{MP}).

Este indicador interessa para realizar a comparação dos consumos específicos de energia eléctrica dos processos produtivos similares dos diferentes estabelecimentos, e através dele avaliar o desempenho dos estabelecimentos e dos sistemas de refrigeração em particular, conforme refere FEI (2002), MLA (2009) e Reindl (2005). As diferenças de valor deste indicador podem servir para encontrar as causas das ineficiências energéticas nos estabelecimentos por meio de comparação de equipamentos, infra-estruturas e processos.

3.12.3-Matéria-prima por unidade de volume de câmara de refrigeração (MPVC)

O indicador matéria-prima por unidade de volume de câmara de refrigeração é um indicador físico que relaciona a matéria-prima que deu entrada no sistema ou estabelecimento (MP), numa

base anual e o volume do conjunto das câmaras de refrigeração do estabelecimento (VC), sendo determinado pela equação 3.13.

$$MPVC = \frac{MP}{VC} \quad (3.13)$$

O volume das câmaras de refrigeração, foi determinado pelo somatório dos volumes individuais de cada câmara de refrigeração, VC_i , conforme apresentado na equação 3.14.

$$VC = \sum_{i=1}^n VC_i \quad (3.14)$$

Nesta equação, o somatório foi estendido ao número de câmaras de refrigeração, n , existentes no estabelecimento. O indicador $MPVC$ expressa-se em toneladas por metro cúbico ($\text{ton}_{MP}/\text{m}^3$) ou litro por metro cúbico (l/m^3), consoante a matéria-prima pertence às fileiras da carne ou hortofrutícolas ou dos lacticínios.

Este indicador tem como objectivo obter informação sobre o nível de ocupação das câmaras de refrigeração ou o grau de movimentação da matéria-prima durante o ano.

3.12.4. Potência eléctrica nominal dos compressores por unidade de volume de câmara de refrigeração ($PECV$)

O indicador potência eléctrica nominal dos compressores por unidade de volume das câmaras de refrigeração é um indicador que nos fornece a relação entre a potência eléctrica absorvida pelo conjunto dos compressores de refrigeração do estabelecimento (PE) e o volume total das câmaras de refrigeração (VC) e foi determinado pela equação 3.15.

$$PECV = \frac{PE}{VC} \quad (3.15)$$

A potência eléctrica nominal dos compressores dos sistemas de refrigeração de cada estabelecimento, foi determinada mediante o somatório das potências eléctricas nominais de cada compressor (PE_i). As potências eléctricas de cada um dos compressores foram estimadas de acordo com a metodologia descrita na secção 3.5. Neste caso, a potência eléctrica nominal total dos compressores de refrigeração foi determinada pela equação 3.16.

$$PE = \sum_{i=1}^n PE_i \quad (3.16)$$

A unidade da potência eléctrica (PE) é o Watt (W) e as unidades do indicador $PECV$ é o Watt por metro cúbico (W/m^3).

Este indicador pretende avaliar a média de potência nominal dos compressores afectos à refrigeração por unidade de volume de câmara. O objectivo é constatar o comportamento da afectação da potência nominal dos compressores à unidade de volume nas diferentes fileiras para constatar eventuais sobredimensionamentos ou subdimensionamentos nos estabelecimentos.

3.12.5 Potência eléctrica nominal total dos compressores por unidade de matéria-prima que entra nas câmaras de refrigeração (PECMP)

A potência eléctrica total nominal dos compressores por unidade de matéria-prima que entra nas câmaras de refrigeração é um indicador que relaciona a potência eléctrica nominal total pelos compressores de refrigeração (PE) e a matéria-prima total (MP) que é transformada ou tratada nos estabelecimentos, e é dada pela equação 3.17.

$$PECMP = \frac{PE}{MP} \quad (3.17)$$

A unidade deste indicador é o Watt por tonelada de matéria-prima (W/ton_{MP}).

O objectivo deste indicador é o de averiguar a quantidade de potência nominal dos compressores que é afectada à unidade de matéria-prima. Fundamentalmente, serve para comparar o indicador dentro de cada fileira para observar o comportamento da utilização da potência nominal com a matéria-prima em cada estabelecimento.

3.12.6 Consumo de energia eléctrica por unidade de volume das câmaras de refrigeração (CEEV)

O indicador consumo de energia eléctrica por unidade de volume das câmaras de refrigeração relaciona o consumo de energia eléctrica ($E_{eléctrica}$) no estabelecimento por unidade de volume das câmaras de refrigeração (VC) e é obtido pela equação 3.18.

$$CEEV = \frac{E_{eléctrica}}{VC} \quad (3.18)$$

A unidade deste indicador é o quilowatt-hora por metro cúbico (kWh/m³).

Este indicador pretende indicar a quantidade de energia eléctrica que é utilizada em cada unidade de volume do estabelecimento. Ele é muito utilizado na fileira do armazenamento de produtos perecíveis, conforme referem Duiven e Binard (2002) e Evans (2007). Trata-se de um indicador utilizado para avaliação da eficiência energética dos sistemas de refrigeração.

3.12.7 Consumo de energia eléctrica por unidade da potência eléctrica nominal dos compressores de refrigeração (CEEPC)

O indicador consumo de energia eléctrica por unidade da potência nominal dos compressores de refrigeração é um indicador que fornece a relação entre o consumo de energia eléctrica ($E_{eléctrica}$) e a potência eléctrica total nominal dos motores dos compressores de refrigeração (PE), e é dado pela equação 3.19.

$$CEEPC = \frac{E_{eléctrica}}{PE} \quad (3.19)$$

A unidade deste indicador é o quilowatt-hora por watt (kWh/W).

Este indicador é utilizado para avaliação da quantidade de energia eléctrica consumida por unidade potência nominal dos compressores de refrigeração.

3.12.8 Produção anual de dióxido de carbono (PDC)

A produção anual de dióxido de carbono é um indicador que fornece a quantidade de dióxido de carbono que é produzido e emitido para a atmosfera como resultado do consumo de energia. Para determinar este indicador realizamos a conversão da produção de CO₂ de cada tipo de energia consumida nos estabelecimentos. Neste caso, depois de se ter realizado a conversão da quantidade de CO₂ correspondente a cada tipo de energia a emissão anual é igual ao somatório de todas as parcelas e é dada pela equação 3.20.

$$PDC = PCO_{2\text{elétrica}} + PCO_{2\text{combustíveis}} \quad (3.20)$$

A unidade deste indicador é a toneladas anuais de CO₂ (ton_{CO2}).

Este indicador fornece informação sobre o impacto dos tipos de combustíveis na produção de CO₂ e permite avaliar ou seleccionar aqueles que produzem menos CO₂ para o meio ambiente.

3.13. TRATAMENTO DE DADOS DAS AMOSTRAS PARA OBTENÇÃO DAS CORRELAÇÕES

A ferramenta utilizada para avaliar a dispersão e calcular as correlações foi o programa de estatística SPSS, versão 18 onde o coeficiente de Pearson pode ser obtido através do menu Analyze / Correlate/ Bivariate.

Na construção do modelo foram retirados os pontos da amostra que apresentavam resultados muito díspares em relação aos restantes pontos. A análise destes pontos, também designados por outliers foi efectuada através do SPSS, e ainda confirmados pelo critério de Chauvenet's (ASHRAE, 1986).

3.14. NOTA CONCLUSIVA

No presente capítulo apresentamos as principais metodologias e ferramentas que foram utilizadas para realizar a presente tese.

Em primeiro lugar descrevemos e apresentamos a metodologia seguida na construção da amostra que serviu de base para a realização do estudo.

De seguida, apresentamos os meios e as ferramentas que usamos para efectuar a recolha da informação no trabalho de campo e o subsequente tratamento.

Posteriormente, damos a conhecer as principais grandezas que foram avaliadas no estudo bem como os equipamentos utilizados.

Descrevem-se ainda as metodologias adoptadas para a estimativa e a determinação das características dos equipamentos de produção de frio, com especial relevo para a potência eléctrica nominal dos motores dos compressores de refrigeração.

Finalmente, apresentamos um conjunto de indicadores para avaliação dos desempenhos energéticos dos estabelecimentos das indústrias agroalimentares estudadas.

No próximo capítulo vamos apresentar os resultados obtidos para as três fileiras e iremos efectuar a sua análise. Os resultados são apresentados individualmente por fileira e indicaremos o potencial de poupança estimada bem como as principais medidas de eficiência energética aplicada particularmente aos sistemas de refrigeração.

CAPITULO 4 - CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FILEIRAS DA CARNE, LACTICÍNIOS E HORTOFRUTÍCOLAS

No presente capítulo apresentamos os resultados para as fileiras alimentares que são objecto de estudo na presente tese: fileira da carne, fileira dos lacticínios e fileira das hortofrutícolas. Para cada uma destas fileiras, apresentamos a informação recolhida em cada um dos estabelecimentos, de acordo com o procedimento indicado no capítulo anterior.

Os resultados são apresentados em separado para cada uma das fileiras e incluem: a classificação dos estabelecimentos; as características das infra-estruturas; a actividade e os processos produtivos; as câmaras de refrigeração; os sistemas de refrigeração; e os consumos de energia.

Também publicamos os indicadores físicos e energéticos, quantificamos o potencial de poupança de energia por via de comparação com os valores médios obtidos para cada fileira e ainda em relação a indicadores de outros países ou de *benchmarking*.

Neste capítulo ainda mostramos os resultados práticos dos consumos de energia e diagramas de carga de alguns estabelecimentos e sistemas de refrigeração em particular e destacamos ainda algumas das principais medidas de eficiência energética adequadas para as fileiras, que foram identificadas durante a realização dos trabalhos de campo, através dos resultados dos trabalhos práticos e ainda através das melhores práticas tecnológicas e produtivas que encontramos nos estabelecimentos, que apresentam os melhores indicadores de consumos específicos de energia.

4.1. FILEIRA DA CARNE

4.1.1. Classificação dos estabelecimentos

Em função das actividades desenvolvidas e dos seus processos produtivos, os estabelecimentos da fileira da carne são classificados em três categorias: matadouros (4), salsicharias (20) e indústrias de fabrico de presunto (9).

Na secção 3.1 apresentamos a metodologia adoptada para a identificação dos estabelecimentos dentro da fileira e adaptou-se a designação CM1 a CM4 para a categoria dos matadouros, CS1 a CS20 para as salsicharias e CP1 até CP9 para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

O gráfico da figura 4.1 apresenta a distribuição dos estabelecimentos pelas três categorias. Conforme se constata deste gráfico, o maior número de estabelecimentos encontra-se na categoria das salsicharias (61%), seguido de estabelecimentos de fabrico de presunto (27%) e finalmente de matadouros (12%).

Os resultados percentuais, estão em sintonia com a realidade nacional onde os estabelecimentos da categoria de salsicharias estão em maior número (DGV, 2013). De um universo de 952 estabelecimentos existentes em 2012, 11% correspondem a matadouros. Os restantes dedicam-se à produção de enchidos e presunto.

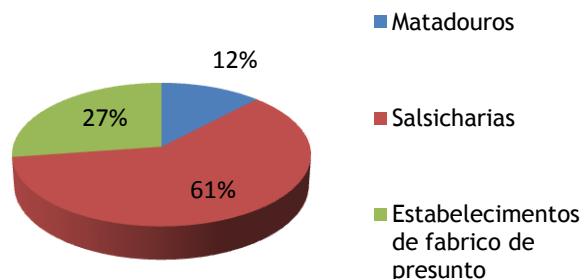


Figura 4.1 - Distribuição percentual dos estabelecimentos da fileira da carne.

Em relação ao licenciamento industrial, de acordo com a descrição realizada na secção 1.1, constatamos que 18 estabelecimentos desta fileira desempenham uma actividade industrial da categoria do tipo 2 e que 13 estabelecimentos desempenham uma actividade da categoria do tipo 3. Conforme foi referido naquela secção, a potência eléctrica contratada e a potência térmica são superiores a 40 KVA e 2222,2 kW, respectivamente, para os estabelecimentos do tipo 2 e inferiores 40 KVA e 2222,2 kW, respectivamente, para estabelecimentos do tipo 3.

A análise aos resultados permite-nos concluir que os estabelecimentos de salsicharias são quase na sua maioria do tipo 3 ao invés dos estabelecimentos de matadouros e de fabrico de presunto que são quase todos do tipo 2.

Em termos económicos, a maioria dos estabelecimentos apresentam um volume de negócios entre 0 e 2 milhões de euros (67%) e os restantes entre 2 a 10 milhões de euros (37%).

Relativamente à empregabilidade, a maioria dos estabelecimentos tem ao serviço entre 10 a 49 trabalhadores (58%) e um número inferior de estabelecimentos, tem entre 1 a 9 trabalhadores (39%).

Com estes resultados, conclui-se que os estabelecimentos enquadram-se na categoria das micro e pequenas empresas, estando por isso em sintonia com os valores que se verificam no contexto nacional (INE, 2011b).

Os resultados da caracterização industrial e económica, apresentados anteriormente para a fileira da carne encontram-se no anexo B.

4.1.2. Infra-estruturas

Os estabelecimentos industriais da fileira da carne estão obrigados a cumprir um conjunto de requisitos de higiene e de segurança alimentar para poderem desempenhar a sua actividade. Para efeitos de aprovação das instalações e do cumprimento das normas de higiene e segurança alimentar os estabelecimentos são obrigados a cumprir a legislação nacional e europeia,

nomeadamente o disposto no Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro, Decreto Lei n.º 209/2008 de 29 Agosto, Decreto-Lei n.º 381/2007 de 14 Novembro, Portaria n.º 584/2007 de 9 de Maio, Decreto-Lei n.º 173/2008 de 26 Agosto, Regulamentos (CE) n.º 178/2002 de 28 Janeiro, n.º 852/2004, n.º 853/2004 e n.º 854, do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril.

As características das infra-estruturas dos estabelecimentos industriais, nomeadamente as envolventes, a orientação externa das paredes, a localização dos espaços no seu interior e as propriedades térmicas dos materiais, desempenham uma função importante no isolamento térmico em relação ao meio exterior. Neste tipo de estabelecimentos a capacidade isolante dos materiais deve ser boa para evitar ao mínimo a entrada de calor para o interior das câmaras de refrigeração.

Os matadouros são estabelecimentos de média ou grande volumetria, compostos por três zonas distintas: zona de receção de animais, zona de operações (linhas de abate de animais) e finalmente a zona limpa constituída pelo conjunto de câmaras de refrigeração, congelação e às vezes tuneis de arrefecimento rápido e de congelação. Possuem ainda um ou mais depósitos de combustível (Gás Propano, Fuel-óleo, Nafta, Gasóleo), uma central térmica, equipada com uma caldeira para produção de água quente até 90°C, uma ou mais centrais frigoríficas ou unidades individuais de produção de frio. A sua capacidade e volumetria depende da quantidade diária de abate de espécies animais (Bovinos, Suínos e Pequenos Ruminantes). No anexo C apresentamos a planta ou layout típico de um matadouro.

Já as salsicharias, são habitualmente, pequenos estabelecimentos servidos com um cais e zona de receção de carnes, dotados internamente com um conjunto de câmaras de refrigeração para conservação de carnes frescas, sala de fabrico, câmaras de maturação, fumeiros e câmaras de cura e de estabelização final dos produtos. À semelhança dos matadouros estes estabelecimentos comportam ainda um reservatório de combustível, uma pequena central térmica e uma casa de máquinas para acolher os sistemas de produção de frio. No anexo D apresentamos a planta ou layout típico de um estabelecimento de uma salsicharia.

Finalmente os estabelecimentos de fabrico de presunto são de média e grande volumetria, constituídos com um grande número de câmaras de atmosfera controlada ou de cura para realizar as operações inerentes ao processo tecnológico do fabrico do presunto que é descrito mais adiante. Estes estabelecimentos necessitam também de zonas de receção e câmaras de conservação das matérias primas e de conservação dos produtos finais. Também necessitam de reservatório de combustível, central térmica e sala de máquinas. No anexo E apresentamos a planta típica de um estabelecimento de fabrico de presunto.

Ambas as categorias de estabelecimentos possuem um conjunto de espaços físicos destinados aos serviços de aprovisionamento, venda de produtos, serviços administrativos e sala de pessoal.

Durante o trabalho de campo tivemos a oportunidade de observar as instalações dos diferentes estabelecimentos e constatar-mos que as infraestruturas das salsicharias são aquelas que apresentam maior estado de degradação e as que têm envolventes menos bem isoladas. A título de exemplo encontramos algumas delas, com as salas de fabrico refrigeradas (12°C), dotadas de janelas de vidro simples (estabelecimento CS1), outras com as portas das câmaras de

refrigeração muito danificadas e as respectivas câmaras construídas em alvenaria com grandes fissuras nas suas paredes (CS13).

O gráfico da Figura 4.2, apresenta a distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos da fileira da carne. Conforme se constata neste gráfico, cerca de 70% dos estabelecimentos possuem uma área coberta inferior a 2000 m². Esta característica justifica-se pelo facto que os estabelecimentos das salsicharias serem dos que têm uma maior representatividade dentro da amostra e também daqueles que apresentam as menores áreas cobertas. Ao invés, os matadouros e os estabelecimentos de fabrico de presunto, apresentam maior área coberta. Estes estabelecimentos correspondem em média a 18% do total e são aqueles que na Figura 4.2 correspondem à área coberta superior a 3000 m².

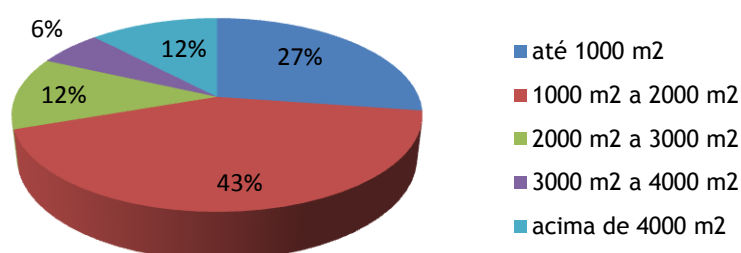


Figura 4.2 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos da fileira da carne.

De uma maneira geral, as infraestruturas destes estabelecimentos são constituídas por paredes exteriores em alvenaria de tijolo vazado, assente com argamassa de cimento e areia e estão rebocadas, areadas e impermeabilizadas. Estas paredes estão pintadas em geral com tinta plástica de cor branca.

As paredes interiores dos estabelecimentos mais antigos são constituídas em tijolo vazado de menor dimensão assente com argamassa e rebocadas e pintadas também de cor branca, enquanto nas mais novas, nas zonas de laboração estão revestidas ou construídas com painéis de poliuretano com espessuras de 40 a 60 mm. Por sua vez, os pavimentos são construídos de argamassa de betão magro com brita batida e revestido com uma massa resinosa antiderrapante, resistente e impermeável, inclinado a 2%, para os ralos de escoamento, que são providos de caixas sifonadas de construção em aço.

As coberturas dos estabelecimentos são constituídas por vários tipos de materiais, tais como, estruturas em ferro com placas de fibrocimento, vigotas de betão pré-esforçado e ripas, com telha de barro do tipo “Lusa”, ou com telha autoportante de cor vermelha, em isotelha da blocotelha, e chapas metálicas.

Também encontramos construções de estabelecimentos com as suas infraestruturas em painéis de poliuretano (100 e 120 mm) e com a cobertura, também em placas de poliuretano de 40 mm de espessura.

Os painéis isotérmicos do tipo “sandwich”, possuem um núcleo isolante em espuma rígida de poliuretano expandido e revestimento em ambas as faces com chapa metálica. As características

isolantes da espuma são identificadas pelo valor prático do coeficiente de condutibilidade térmica, que em regra geral é de cerca 0,0267 W/m°K.

A chapa metálica de revestimento dos painéis é em chapa galvanizada nas faces ocultas (face superior dos tectos e faces que encostem à alvenaria do edifício) ou, em chapa termolacada nas faces visíveis (faces interiores das instalações e faces exteriores visíveis) e é nervurada longitudinalmente para conferir melhor resistência mecânica aos painéis. Estes estão ligados entre si por um sistema de encaixe simples macho/fêmea do tipo “junta-seca”, selada com mastique de silicone.

O gráfico da figura 4.3 apresenta o tipo de materiais mais usados nas envolventes e como se pode constatar as paredes de alvenaria são predominantes, com cerca de 82% , seguindo-se em muito menor quantidade, os painéis de poliuretano e paredes de alvenaria revestidas com painéis de poliuretano, com 9% cada uma delas.

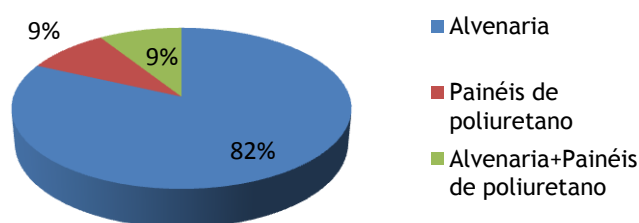


Figura 4.3 - Tipo de materiais utilizados nas envolventes dos estabelecimentos da fileira da carne.

O gráfico da figura 4.4 apresenta o valor percentual do tipo de materiais usados nas coberturas. Conforme se constata neste gráfico, as chapas de fibrocimento são as mais utilizadas (76%), seguindo-se depois a telha do tipo marselha e as chapas metálicas com (9%), cada uma, e finalmente os painéis de poliuretano 40mm (6%).

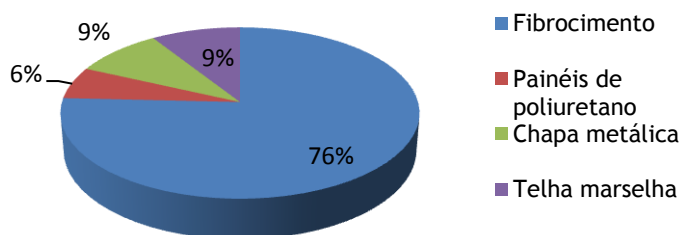


Figura 4.4 - Tipo de materiais usados nas coberturas dos estabelecimentos da fileira da carne.

Em relação ao número de pisos dos estabelecimentos desta fileira, constatamos que a maioria deles têm as instalações concentradas num único piso (67%), principalmente os matadouros e as salsicharias, mas também existem alguns que têm as suas infraestruturas distribuídas por 2 pisos

(24%) e 3 pisos (9%), principalmente os estabelecimentos de fabrico de presunto e algumas salsicharias.

As infra-estruturas utilizam vários tipos de portas, nomeadamente portas isotérmicas do tipo deslizante manual com aro, de accionamento manual, de uma só folha, incluindo fecho de segurança pessoal com abertura pelo interior. Nas zonas onde existe via aérea, estão dotadas com golas para passagem da referida via, portas de vai-vem de duas folhas, portas isoplanas de serviço do tipo pivotante, portas isotérmicas seccionadas verticais elevatórias e portas com foles de cais.

A ventilação do desvão é importante para que as temperaturas não aumentem muito em relação às condições exteriores. No trabalho de campo encontramos desvão pouco ventilado porque tinha as paredes das envolventes só com pequenas aberturas ao contrário do desvão bem ventilado que possuía aberturas grandes ou janelas com grelhas para o ar exterior circular no seu interior. O gráfico da figura 4.5 apresenta as características de ventilação do desvão. Conforme se observa neste gráfico só 33% dos estabelecimentos é que apresentam o desvão ventilado e 67% possuem-no pouco ventilado ou mesmo não ventilado. Trata-se de uma característica técnica da maior importância uma vez que as temperaturas observadas no interior deste espaço dependem da ventilação. Por vezes, atingem temperaturas muito altas quando este se encontra não ventilado. Estas condições são muito desfavoráveis termicamente porque proporcionam um aumento das cargas térmicas por condução pelos tectos das câmaras, para além de outros efeitos negativos, resultantes das trocas térmicas nas condutas que se encontram localizadas no interior do desvão.

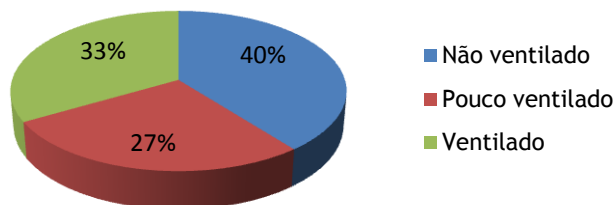


Figura 4.5 - Características da ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira da carne.

A figura 4.6 apresenta a distribuição percentual da idade dos estabelecimentos. Deste gráfico, e da informação contida no anexo B, constatamos que mais de 30% dos estabelecimentos têm uma idade entre os 21 e 30 anos de idade e que 9 % têm mais de 31 anos. Estes resultados mostram que uma grande percentagem dos estabelecimentos têm uma idade elevada, com consequências para a qualidade das suas infraestruturas. A longevidade dos estabelecimentos deixa antever um forte uso das mesmas e uma perda de qualidade dos materiais usados, com consequência negativas para o consumo de energia.

A elevada idade destes estabelecimentos justifica-se porque a região onde se realiza o presente estudo tem uma forte tradição de fabrico de produtos à base de carne. A maioria dos

estabelecimentos fabricam produtos regionais e são de cariz familiar, proporcionando a sua transferência pelas sucessivas gerações familiares.

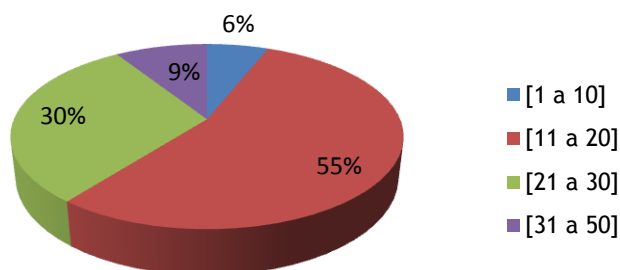


Figura 4.6 - Distribuição percentual da idade dos estabelecimentos da fileira da carne.

A figura 4.7 apresenta o gráfico com a distribuição percentual do tipo materiais usados nas câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira da carne. O material usado na construção de 195 câmaras são os painéis de poliuretano (55%) e em 162 câmaras são materiais de alvenaria, algumas delas revestidas com poliuretano (45%).

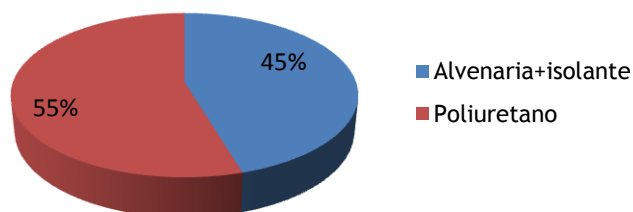


Figura 4.7 - Tipo de materiais usados nas câmaras dos estabelecimentos da fileira da carne.

As câmaras construídas em alvenaria existem nos estabelecimentos mais antigos. Na sua grande maioria estão revestidas com isolamento térmico do tipo aglomerado negro de cortiça, aplicado sobre as paredes, pavimentos e tectos.

Por sua vez, as câmaras de refrigeração construídas em painéis de poliuretano são utilizadas nas indústrias mais novas. Em geral, os painéis de poliuretano têm uma densidade de 40 kg/m³.

De acordo com a informação recolhida, verificamos que as espessuras das paredes das câmaras de alvenaria variam entre 180 a 200 mm para aplicações em temperaturas positivas e entre 250 a 300 mm para temperaturas negativas. Já para paredes em painéis de poliuretano as espessuras mais comuns variam entre 60 a 80 mm para temperaturas positivas e 80 a 100 mm para temperaturas negativas. As paredes da sala de fabrico climatizada têm geralmente 40 mm de espessura.

Dos trabalhos de campo, podemos constatar que o tipo de actividade desenvolvida nos estabelecimentos e as características dos processos produtivos tem uma forte influência nas características físicas das câmaras de refrigeração, nomeadamente no tocante à quantidade e às suas dimensões.

No gráfico da figura 4.8 apresenta-se o número de câmaras de refrigeração que são utilizadas nos 33 estabelecimentos estudados e ainda a quantidade média de câmaras e o volume médio das mesmas. Conforme se observa no gráfico, os estabelecimentos pertencentes à categoria das salsicharias e de fabrico de presunto são os que apresentam o menor e o maior numero de câmaras, ou seja, uma média de 7 e 18 câmaras, respectivamente. Resultado idêntico verifica-se para o volume médio destas câmaras, com valores de 67 e 277 m³, respectivamente.

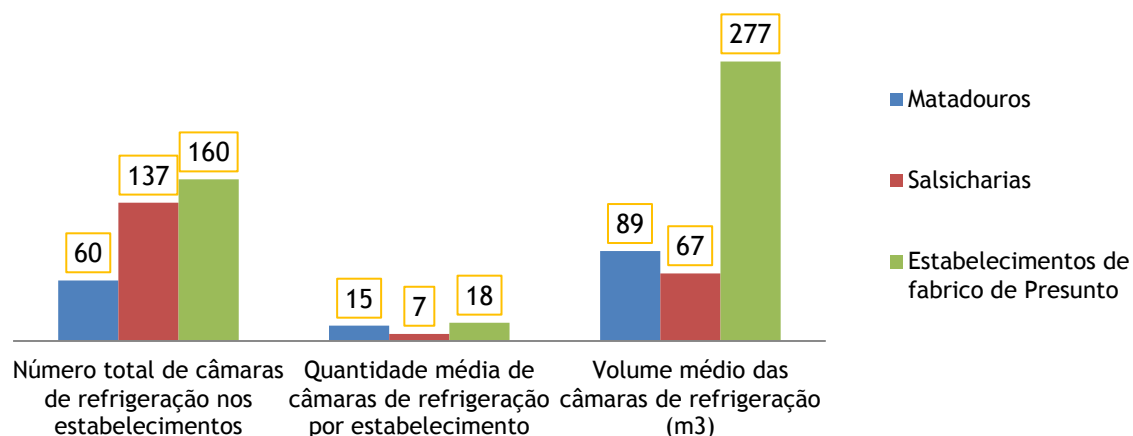


Figura 4.8 - Características das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira da carne.

4.1.3. Actividade e processos produtivos

Com base na informação recolhida nos estabelecimentos da fileira da carne e recolhida nos inquéritos, nesta secção apresentamos a actividade, o diagrama do processo produtivo típico de cada uma das categorias e efectuamos a descrição das diferentes etapas que integram o mesmo. Também damos a conhecer as operações e os equipamentos mais usados em conjunto com os tipos de energia que são utilizados em cada uma das operações dos processos que integram os processos produtivos.

4.1.3.1. Matadouros

Os matadouros são estabelecimento que têm por finalidade obter a carne para consumo humano a partir do abate de animais. Nestes estabelecimentos obtêm-se carcaças ou meias carcaças ou ainda carne desmanchada.

Estes estabelecimentos trabalham todos os dias da semana entre as 9:00 e 18:00 horas com excepção do sábado e Domingo, sendo o abate realizado quase sempre no período da manhã.

Os resultados da actividade desenvolvida pelos matadouros em estudo, durante o ano 2008, apresentam-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resultados da actividade dos matadouros durante o ano de 2008

Unidade	Espécies animais	Produtos obtidos	Matéria-prima (Kg)	Produção (Kg)	Tempo de fabrico (horas)
CM1	Bovinos, Suínos ovinos e caprinos	Carne refrigerada	1473734	1473734	24-48
CM2	Suínos	Carne refrigerada	1751111	1751111	24-48
CM3	Bovinos, Suínos ovinos e caprinos	Carne refrigerada e congelada	4723081	4723081	24-48
CM4	Suínos	Carne refrigerada e congelada	4402807	4402807	24-48

Conforme se constata desta tabela, a produção dos matadouros é bastante diversificada e depende da dimensão do estabelecimento e em alguns casos da localização geográfica.

O tempo de permanência do produto no interior do estabelecimento é muito curto, neste caso, aproximadamente entre as 24 e as 48 horas.

De acordo com os resultados da tabela anterior, a produção de matéria-prima destes quatro estabelecimentos é de aproximadamente 12351 toneladas de carne, por ano. Atendendo a estes resultados e de acordo com a capacidade dos respectivos estabelecimentos, constata-se que os matadouros de maior capacidade produzem uma média anual de 4500 toneladas anuais, enquanto os matadouros de pequena capacidade produzem cerca de 1610 toneladas anuais, de carne fresca.

Segundo os técnicos de produção dos estabelecimentos visitados as perdas de peso das carcaças estão compreendidas entre 1 a 2%, e dependem do método e do processo utilizado na aplicação do frio.

O gráfico da Figura 4.9 apresenta a actividade mensal dos quatro matadouros, ao longo do ano de 2008. Apesar de existirem diferenças mensais da produção nos diferentes estabelecimentos, observa-se que em todos eles existe uma certa uniformidade da mesma ao longo do ano.

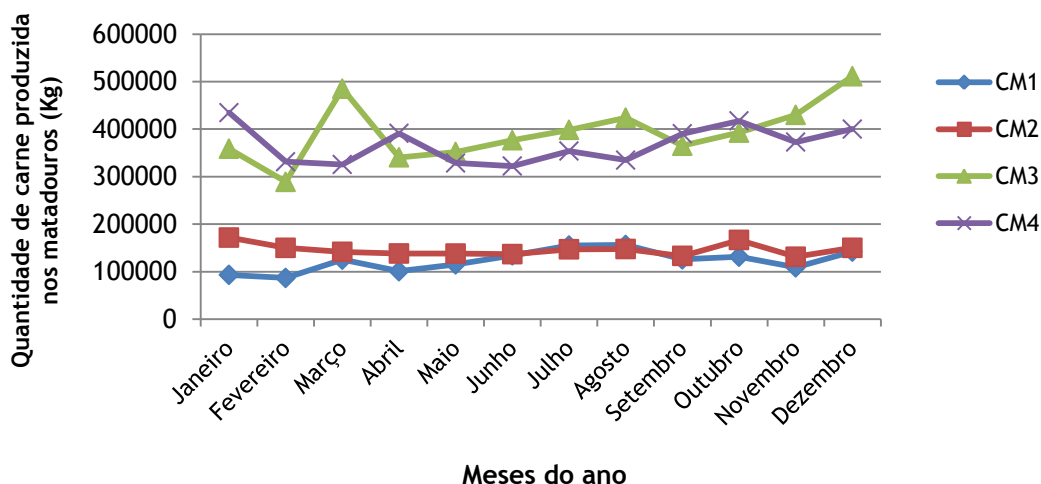


Figura 4.9 - Actividade mensal dos matadouros.

A Figura 4.10 apresenta o diagrama típico do processo produtivo dos matadouros de abate das espécies de bovinos, equídeos, suínos, ovinos e caprinos.

Após a chegada dos animais à unidade de abate, realiza-se a recepção e a descarga dos animais para a abegoaria, pocilga ou curral, consoante a espécie. Antes do início do processo de abate realiza-se a inspeção ante-mortem, por inspeção sanitária.

Os animais são depois encaminhados pela linha respectiva de cada espécie e inicia-se o processo de abate que termina com a obtenção das carcaças.

Para a preparação e a limpeza das carcaças, estas são suspensas em linhas aéreas e afastadas umas das outras e das paredes circundantes para evitar a contaminação microbiana.

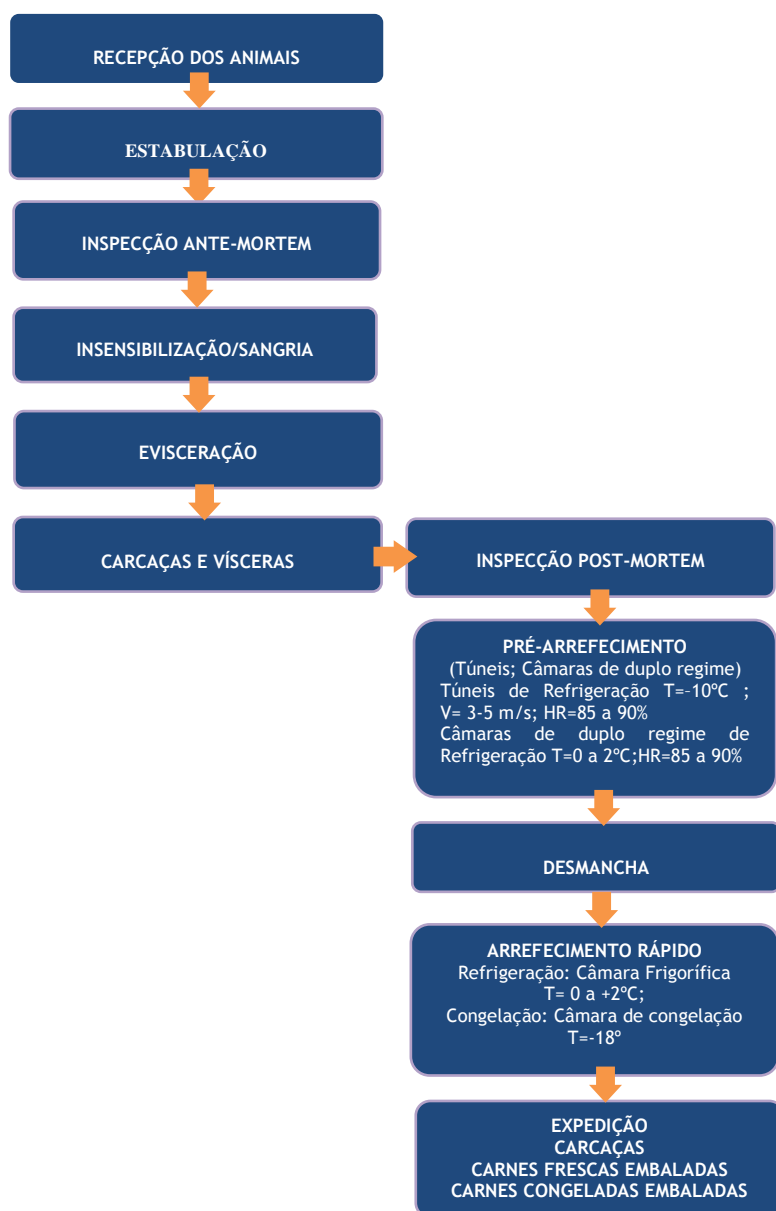


Figura 4.10 - Diagrama esquemático do processo produtivo dos matadouros.

Em relação à preparação das espécies de bovinos e equídeos realiza-se a descorna e a esfola (remoção completa da pele do corpo do animal abatido), manualmente ou mecanicamente consoante a dimensão do animal, em plataformas, estrategicamente posicionadas nas respectivas linhas de abate.

Os suínos passam por um processo de escaldão com água quente a uma temperatura máxima de 61°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante um período aproximado de seis minutos ou num túnel por aspersão de água quente a uma temperatura de 62 a 64°C durante 4 minutos. As carcaças desta espécie, também passam na operação de chamusco para realizar o acabamento da depilação e esterilização da pele.

A entrada das carcaças na cadeia do frio nos matadouros analisados é feita de três métodos diferentes.

O primeiro método, observado num único matadouro, consiste no arrefecimento lento das carcaças, mediante a sua manutenção num ambiente natural arejado durante 2 a 4 horas até a sua temperatura descer para próximo de 25 a 30°C e posteriormente a sua introdução nas câmaras de refrigeração a uma temperatura de 0 a 2°C, onde permanecem até atingirem a temperatura legal de 7°C, no centro térmico. Este método apresenta algumas desvantagens, nomeadamente, elevado tempo de arrefecimento com possível prejuízo para a qualidade do produto, maiores perdas de peso, mas apresenta a vantagem do processo ser mais eficiente energeticamente. Pelos problemas que apresenta é um método muito pouco usado e que o estabelecimento em questão prevê alterar a curto prazo de tempo.

O segundo método consiste no arrefecimento em duas etapas complementares, isto é, uma primeira etapa para o arrefecimento inicial em túnel ou câmara frigorífica de duplo regime e posteriormente uma segunda etapa, para estabilização em câmara de refrigeração, que pode ocorrer de forma sequencial ou intercaladas pela desmancha e desossa das carcaças em peças menores conforme descrito por James e James (2002), Marvillet (2001) e Ordóñez (1998).

Neste método, o arrefecimento inicial da carcaça realiza-se mediante a passagem das carcaças no túnel de arrefecimento rápido onde as temperaturas podem chegar a atingir valores da ordem dos -10°C (suínos) e velocidades do ar entre 3 a 5 m/s ou em câmara de refrigeração de duas fases (evaporadores com 2 velocidades de arrefecimento) com uma temperatura de -1 a 2°C, combinada com uma ventilação elevada que permite a existência de uma corrente de ar frio com uma humidade relativa próxima dos 85-95%. Nesta fase, efectua-se o arrefecimento uniforme das carcaças de uma temperatura pós-abate de cerca de 38 a 40°C, dependendo da espécie, para uma temperatura final de 20 a 25°C. O tempo de permanência no interior do túnel ou câmara frigorífica e o número de ventiladores em funcionamento é variável e depende fundamentalmente da dimensão das carcaças e da quantidade de carcaças abatidas diariamente. A segunda etapa, ou estabilização final da temperatura das carcaças ou carne desmanchada, é feita em câmara de refrigeração normal com uma temperatura variável entre 0 a 2°C até a carne atingir uma temperatura de 7°C, altura em que a mesma é preparada para expedição.

O terceiro método, que é o mais usado nos matadouros, consiste no arrefecimento rápido através da introdução das carcaças imediatamente após o abate em câmaras com uma temperatura do ar entre os -1°C a 2°C, com uma velocidade de ar elevada, geralmente entre 0.5 e 2 m/s sobre as carcaças, e com uma humidade relativa muito elevada, normalmente entre 90 e 95%. Com esta técnica consegue-se arrefecer as carcaças de bovinos num período de tempo de 18 a 24 horas e é descrito por Marvillet (2001) e Ordóñez (1998).

A congelação das carcaças é feita em câmaras de congelação onde as temperaturas mantidas são inferiores a -18°C .

Toda a operação de expedição decorre numa área devidamente refrigerada (temperatura ambiente igual a 12°C).

Para além das câmaras de refrigeração das carcaças referidas anteriormente os matadouros também possuem câmaras de refrigeração para conservação das carcaças que necessitam de observação, carcaças rejeitadas, tripas, sangue, vísceras e os vários outros subprodutos (0 a 2°C).

Na execução do processo de fabrico, é usada a energia eléctrica para o funcionamento dos sistemas de refrigeração, motores eléctricos responsáveis pela movimentação das linhas aéreas, bombas, insensibilização, iluminação e equipamentos de escritório, e ainda combustíveis fósseis (Gás natural, Gás propano, Fuelóleo e Nafta) para produção de água quente e vapor através da sua queima nas caldeiras e ainda no maçarico para efectuar o chamusco.

4.1.3.2. Salsicharias

As salsicharias são estabelecimentos destinados ao fabrico de enchidos. Eles são obtidos de pequenos fragmentos de carne fresca aos quais se juntam vários ingredientes de origem cárnica e diferentes aditivos e condimentos, submetidos posteriormente a um processo de maturação, cozimento (alguns enchidos) e cura com ou sem fumagem.

Na

Tabela 4.2 apresentam-se os resultados da actividade das salsicharias que foram objecto de estudo, durante o ano de 2008.

Conforme se pode observar nesta tabela, os principais produtos são a morcela, morcela de sangue, linguiça, chouriço de carne, chouriço de sangue, salpicão, farinheira, paio. O tempo de fabrico destes produtos oscila entre os 5 a 7 dias dependendo do seu tamanho.

O conjunto dos estabelecimentos em análise transformou aproximadamente 5108 toneladas de matéria-prima (carne) em 4377 toneladas de produtos. Com estes resultados, a média de transformação de matéria-prima por estabelecimento é da ordem de 255,4 ton. Acresce realçar que nesta actividade existe uma perda de peso (rendimento) que oscila entre os 16 a 22%, dependendo do tipo de produto. Para o caso em estudo os resultados apontam para uma perda próxima dos 16%.

O gráfico da figura 4.11 apresenta a actividade mensal ao longo do ano de 2008. Conforme se constata neste gráfico, observam-se variações mensais de transformação de matéria-prima ao longo do ano. A variabilidade mensal de produção está relacionada com a capacidade de vendas dos produtos ao longo do ano, constatando-se que existem épocas do ano de maior aumento comparativamente a outras. Neste caso a maior descida ocorre nos períodos de verão e aumenta nas épocas festivas. Esta característica reflecte o tipo de mercado destes estabelecimentos, que neste caso é a nível nacional e muitas vezes regional.

Tabela 4.2 - Resultados da actividade das salsicharias durante o ano de 2008

Estabelecimentos	Tipo de matérias-primas	Produtos obtidos	Matéria-prima (Kg)	Produção (Kg)	Tempo de fabrico (dias)
CS1	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	38500	32769	5 a 7
CS2	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Paínho, Salpição, Moiras e Farinheira	45300	36797	5 a 7
CS3	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Chouriço, Paio e Farinheira	104625	78625	5 a 7
CS4	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Carne fresca, Morcela, Moiras, Chouriço e Farinheira	877161	698369	5 a 7
CS5	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	76531	66161	5 a 7
CS6	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Carne fresca e congelada, Morcela, Linguiça, Chouriço e Farinheira	450370	400212	5 a 7
CS7	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Farinheira e Maranhão	149943	117179	5 a 7
CS8	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Farinheira e Maranhão	78516	62023	5 a 7
CS9	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Farinheira e Maranhão	197986	136257	5 a 7
CS10	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Paínho e Farinheira	315800	280561	5 a 7
CS11	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Carne fresca, Morcela, Linguiça, Chouriço e Farinheira	55550	53050	5 a 7
CS12	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Carne fresca e congelada, Linguiça, Chouriço e Farinheira	1040940	990670	5 a 7
CS13	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	178342	159513	5 a 7
CS14	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	31100	29220	5 a 7
CS15	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	178081	134207	5 a 7
CS16	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	80298	69565	5 a 7
CS17	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	45529	37932	5 a 7
CS18	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho e Farinheira	67968	53596	5 a 7
CS19	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paio, Entremeada, Paínho e Farinheira	1002977	866519	5 a 7
CS20	Carne de suíno, sal, condimentos e especiarias	Morcela, Linguiça, Chouriço, Paínho, Maranhão e Farinheira	92297	73916	5 a 7

O processo de fabrico dos enchidos engloba as fases de recepção da matéria-prima, conservação da carne em câmaras de refrigeração, desmancha e desossa, corte, preparação da massa, maturação, condimentação, enchimento, cura e secagem, estabilização final e embalagem e expedição.

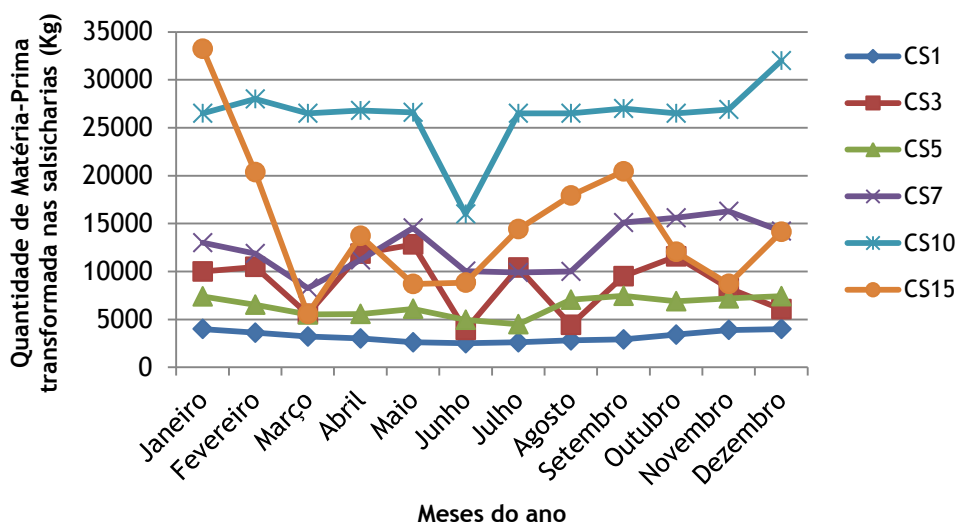


Figura 4.11 - Actividade mensal dos estabelecimentos das salsicharias.

De acordo com a informação recolhida e inscrita nos inquéritos, os estabelecimentos fabricam dois tipos de enchidos distintos: os cozidos (morcelas, morcelas de sangue, farinheiras) e os curados secos (linguiça, chouriço de carne, painho, chouriço, paio). A diferença entre eles é que os primeiros, depois de confeccionados são colocados num recipiente ou marmita de água quente durante alguns minutos e posteriormente sofrem uma secagem em câmaras de atmosfera controlada. Quanto aos segundos, depois de confeccionados são submetidos ao processo de cura que engloba duas fases: uma primeira de estufagem e uma segunda de secagem.

Na figura 4.12 apresenta-se o diagrama de fabrico tradicional dos enchidos de Portugal.

O processo de fabrico dos produtos curados secos pode ser realizado por dois métodos distintos. O primeiro método é mais utilizado, consiste na realização da estufagem e a cura dos enchidos em fumeiros e depois sofrem uma afinação final em câmaras de atmosfera controlada. Neste método, utiliza-se o calor e o fumo da queima de lenha de azinho para realizar a estufagem através do aumento lento da temperatura até atingir os 50 a 60°C e depois a secagem, a temperaturas mais baixas, sendo o controlo da temperatura efectuado manualmente. Em geral o tempo de permanência dos enchidos nos fumeiros depende do tamanho dos produtos, sendo em média, entre 24 a 48 horas para os mais finos e cerca de 3 a 5 dias para os mais grossos.

Posteriormente os enchidos são colocados em câmaras de atmosfera controlada dotadas de unidades de secagem ou mini-unidades de tratamento do ar onde sofrem uma última fase de secagem ou afinação a uma temperatura compreendida entre 12 a 14°C e uma humidade relativa entre 60 a 70%, durante 2 a 3 dias.

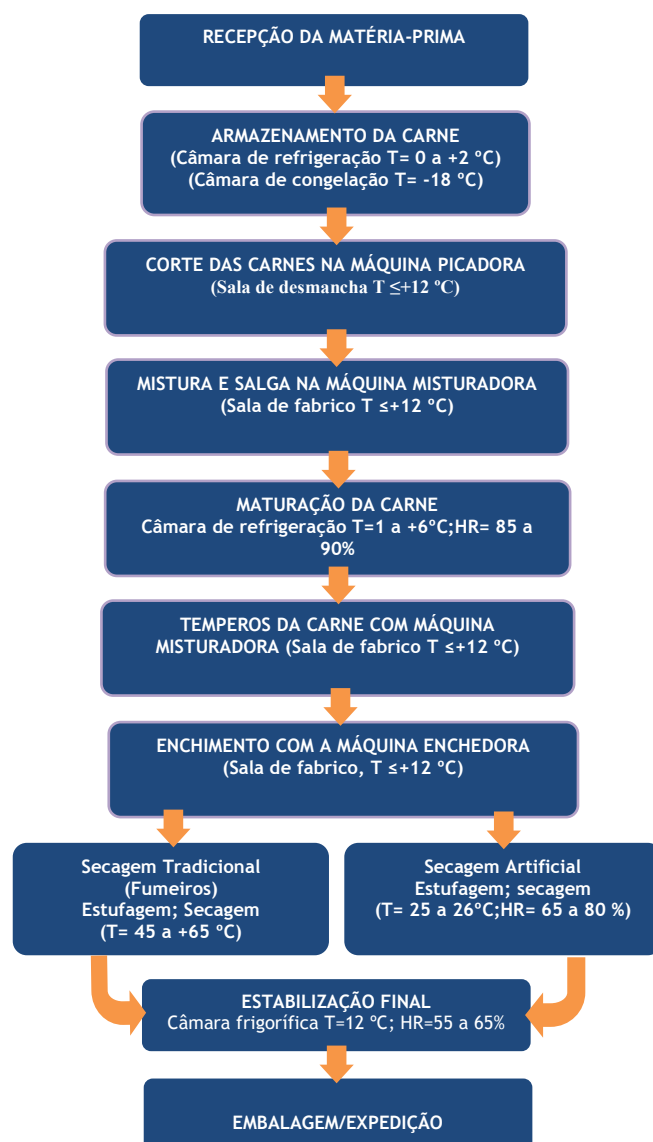


Figura 4.12 - Diagrama esquemático do processo produtivo das salsicharias.

O segundo método consiste no processo de cura artificial dos produtos, no interior de câmaras frigoríficas com controlo de temperatura, humidade relativa e circulação do ar, onde se realizam as mesmas operações que são realizadas nos fumeiros, ou seja, uma primeira fase a estufagem (25/26 °C) durante períodos de tempo, variável em função das dimensões dos produtos, normalmente entre 1 a 3 dias, e posteriormente cerca de 10 a 15 dias em secagem para os produtos finos e 30 a 60 dias para os produtos mais grossos (Arnau et al., 2007; Fadda et al., 2004; Price and Schweigert, 1994).

Em ambos os casos, depois da secagem, os enchidos são colocados nas câmaras frigoríficas para a estabilização final que se encontra a uma temperatura aproximada de 12 °C.

4.1.3.3. Estabelecimentos de fabrico de presunto

Os estabelecimentos de fabrico de presunto fabricam um tipo de enchido muito especial resultante da cura da perna de suíno. Este produto é geralmente obtido de pernas de suíno de porco branco que são transformadas mediante a adição de sal e outros ingredientes, durante um determinado período de tempo, após o qual se mantêm estáveis às condições ambiente e apresentam óptimas características organolépticas.

Na Tabela 4.3 apresentam-se os resultados da actividades dos estabelecimentos de fabrico de presunto durante o ano de 2008. Observa-se nesta tabela que o tempo médio de fabrico de presunto dos estabelecimentos é aproximadamente de 6 meses.

Tabela 4.3 - Resultados da actividade dos estabelecimentos de fabrico de presunto durante o ano de 2008

Estabelecimentos	Tipo de matérias-primas	Produtos	Matéria-prima (Kg)	Produção (Kg)	Tempo de fabrico (mês)
CP1	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	268331	208500	4 a 6
CP2	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	1968547	1194943	4 a 6
CP3	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	1753731	1467074	4 a 6
CP4	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	2116000	1360804	4 a 6
CP5	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	152623	114467	4 a 6
CP6	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	585898	405422	4 a 6
CP7	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	1139006	996958	4 a 6
CP8	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	889254	589974	4 a 6
CP9	Pernas de suíno branco, sal e nitrificantes	Presunto	404500	306285	4 a 6

De acordo com os resultados da tabela 4.3, a matéria-prima total transformada pelos estabelecimentos de fabrico de presunto é de 9278 toneladas e os produtos obtidos são 6645 toneladas. Este valor permite-nos registar que a média anual de matéria-prima transformada por estabelecimento de fabrico de presunto é aproximadamente de 1030 toneladas.

Outro dado relevante a retirar destes resultados é o valor das perdas de peso das pernas de suíno durante a sua transformação que é cerca de 28,5%. Este valor está em concordância com os valores médios de perdas que segundo Ventanas e Andrés (2001) ronda um valor entre 27 a 30%.

Na figura 4.13 apresenta-se a actividade mensal de alguns dos estabelecimentos de fabrico de presunto, relativo ao ano de 2008. Conforme se observa neste gráfico, existe uma variação na transformação de matéria-prima, ao longo do ano, devido ao facto do tempo médio de fabrico deste tipo de produto ser de aproximadamente seis meses. Durante este período de tempo, as câmaras de atmosfera controlada ou secadores estão ocupadas e só ficam livres após o término do ciclo de cura. Só depois da venda do produto é que as câmaras voltam a ser cheias para iniciar novo ciclo de produção.

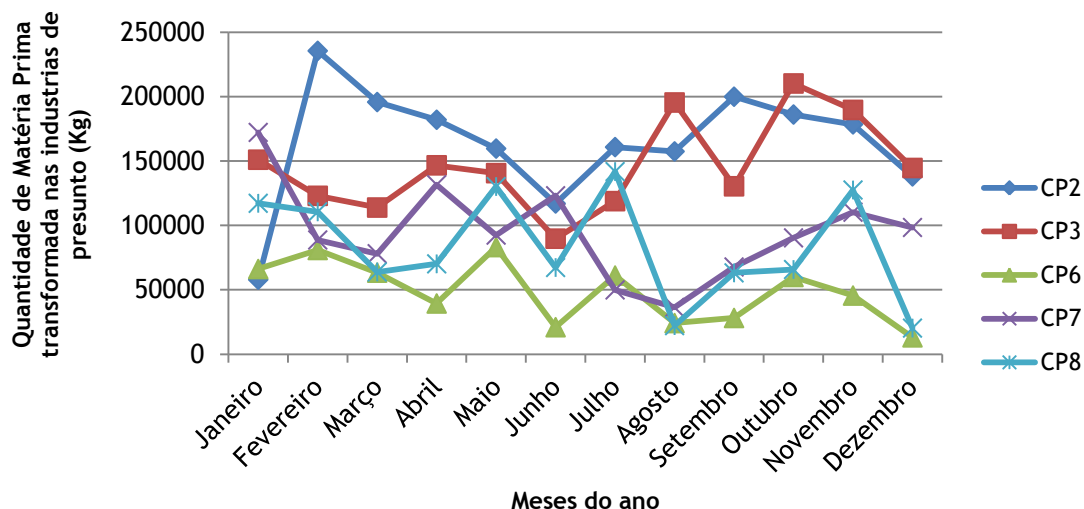


Figura 4.13 - Actividade mensal dos estabelecimentos de fabrico de presunto.

O processo artificial de fabrico de presunto é muito exigente no que diz respeito ao controlo da temperatura, humidade relativa e velocidade do ar no interior das câmaras de atmosfera controlada ou secadores. O principal objectivo destas câmaras é reproduzir artificialmente as condições ideais para a eliminação da água do interior das pernas de suínos (secagem), controlar o desenvolvimento dos microorganismos e favorecer os fenómenos precursores da cor, aroma e sabor, características *sui generis* tão apreciadas neste produto.

O processo de fabrico é contínuo e compreende diversas fases, destacando-se entre elas, pela sua importância a salga, pós-salga, secagem e estufagem. Cada uma destas fases realiza-se no interior dos secadores em ambientes com temperatura e humidade relativa distintos, durante um determinado período de tempo.

Por motivos económicos, os estabelecimentos estudados utilizam o processo de cura rápida que apesar de ser variável apresenta um limite de tempo aproximado de 6 meses.

Na figura 4.14, apresentamos o diagrama esquemático do processo de fabrico de presunto que é utilizado na generalidade das indústrias da Região do Interior do Centro de Portugal.

As pernas de porco refrigeradas ou congeladas, ao chegarem ao estabelecimento em veículos frigoríficos e são descarregadas na zona de recepção e calibragem, que se encontra climatizada a 12°C. A matéria-prima é encaminhada para a calibradora, se for refrigerada ou para a câmara de descongelação ou manutenção de congelados, no caso de se tratar de congelada.

A descongelação é feita com as pernas suspensa em espaldares, durante cerca de 2 a 2,5 dias, a uma temperatura a oscilar entre 3 a 7°C, em função da temperatura interior da perna.

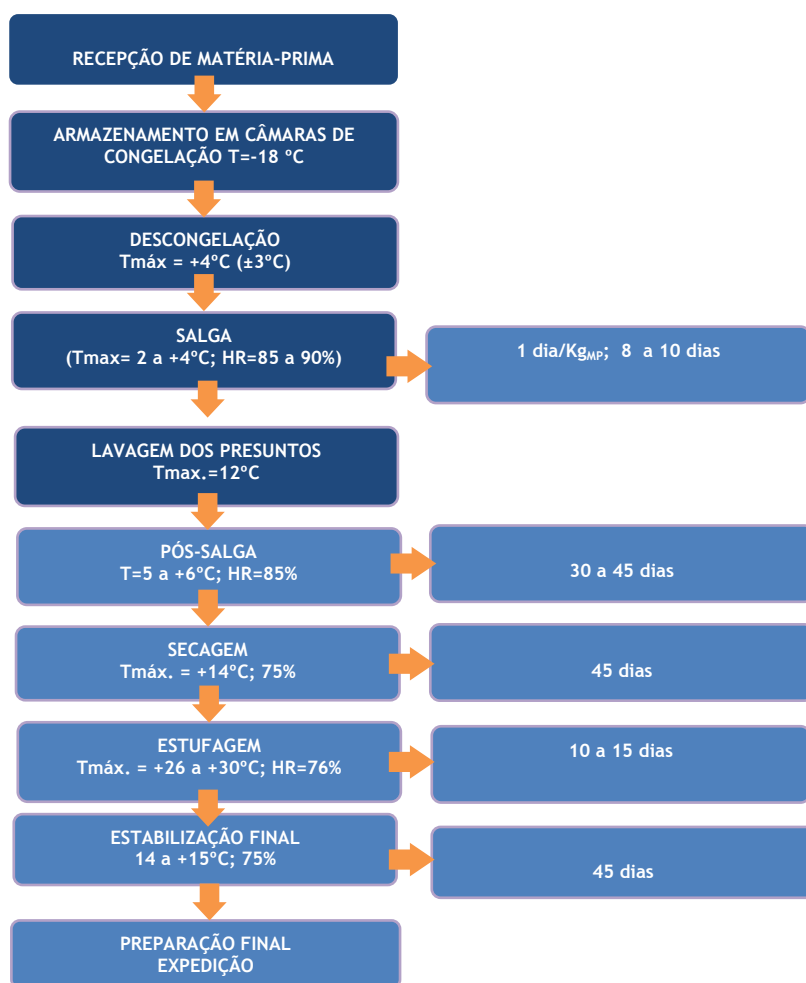


Figura 4.14 - Esquema do processo produtivo do presunto.

Na sala de salga, que se encontra climatizada à temperatura de 12°C, as pernas são colocadas dentro de contentores de polietileno, em camadas cobertas de sal marinho, ou então são empilhadas na câmara de salga em camadas alternadas com colocação de sal entre camadas.

Na câmara de salga, os contentores são empilhados e guardados a uma temperatura compreendida entre 2 a 4°C e uma humidade elevada entre 85 a 95%, (para o efeito estas câmaras podem estar dotadas de evaporadores estáticos), entre 8 a 10 dias.

No final deste período os contentores são esvaziados sobre a máquina recuperadora de sal, que através dos seus movimentos vibratórios retira o excesso de sal. Posteriormente, as pernas são suspensas em estantes em aço inox, e lavadas durante 3 minutos com água sob pressão de modo a retirar o sal aderente às pernas.

Segue-se a fase de pós-salga (1ª fase) que se realiza aproximadamente durante 30 a 45 dias, em câmaras de atmosfera controlada ou secadores a funcionar entre 5 a 6°C, com humidade relativa de 75% a 80% nos 2 primeiros dias, a fim de retirar a água residual e secar a perna superficialmente, passando depois para uma humidade relativa entre 80 a 85%. As estantes de aço são colocadas no interior das câmaras de forma que o ar circule longitudinalmente às pernas,

isto é, de forma que as pernas não impeçam a progressão do escoamento de ar que é proveniente da unidade de tratamento de ar. Estas câmaras são dotadas de potências frigoríficas elevadas que permitem tempos de funcionamento curtos alternando com paragens prolongadas de modo que a humidade do interior das pernas possa rehumidificar a sua superfície evitando a formação de crosta e permitindo uma secagem homogénea, conforme descrito na secção 2.2.4.5. Após esta fase, tem início a fase de secagem (2ª fase), através do aumento gradual da temperatura do interior das câmaras, até se atingir a temperatura máxima de 14°C e uma humidade relativa próxima dos 75%, ao fim de aproximadamente 45 dias.

Durante a realização destes processos é fundamental controlar o processo de cura, por forma a garantir que não ocorram fenómenos que prejudiquem a qualidade final do produto. São exemplos destes fenómenos causados pela concentração de humidade à superfície dos produtos ou pela secagem levada dessa mesma superfície (Arnau et al., 2007; Ventanas and Andrés, 2001). Estes fenómenos são controlados mediante o controlo rigoroso dos limites inferior e superior de humidade relativa.

Para obtenção das características organolépticas especiais do presunto, executa-se a fase de estufagem (3ª fase) que consiste no aumento gradual da temperatura interior das câmaras até uma temperatura máxima que varia ligeiramente de estabelecimento para estabelecimento e que se encontra compreendida entre os limites de 26 a 30°C e uma humidade relativa compreendida entre os limites de 65 a 75%, por um período de tempo variável.

No final do processo (cerca de 180 dias) os presuntos têm a cura terminada e são colocados em câmaras de afinação final (12 a 14°C), para posteriormente entrarem na fase de desossa ou para serem expedidos inteiros.

4.1.4. Condições ambientais das câmaras de refrigeração

Nos gráficos da figura 4.15, apresentamos os resultados da humidade relativa (gráfico a)) e da temperatura (gráfico b)) que obtivemos nas 60 câmaras de refrigeração dos quatro estabelecimentos da categoria dos matadouros. Da análise dos gráficos constatamos que a temperatura e a humidade relativa do interior das câmaras encontram-se compreendidas entre -1 e 4°C e 75% a 92%, respectivamente. Destaca-se ainda em dois matadouros a existência de câmaras de congelação com temperaturas de -21 e -18°C e salas climatizadas a 12 °C. Observamos que a humidade relativa apresenta um perfil uniforme à semelhança das temperaturas positivas.

A figura 4.16 apresenta-se os gráficos da humidade relativa (gráfico a)) e da temperatura (gráfico b)) que registamos no interior das 137 câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da categoria das salsicharias.

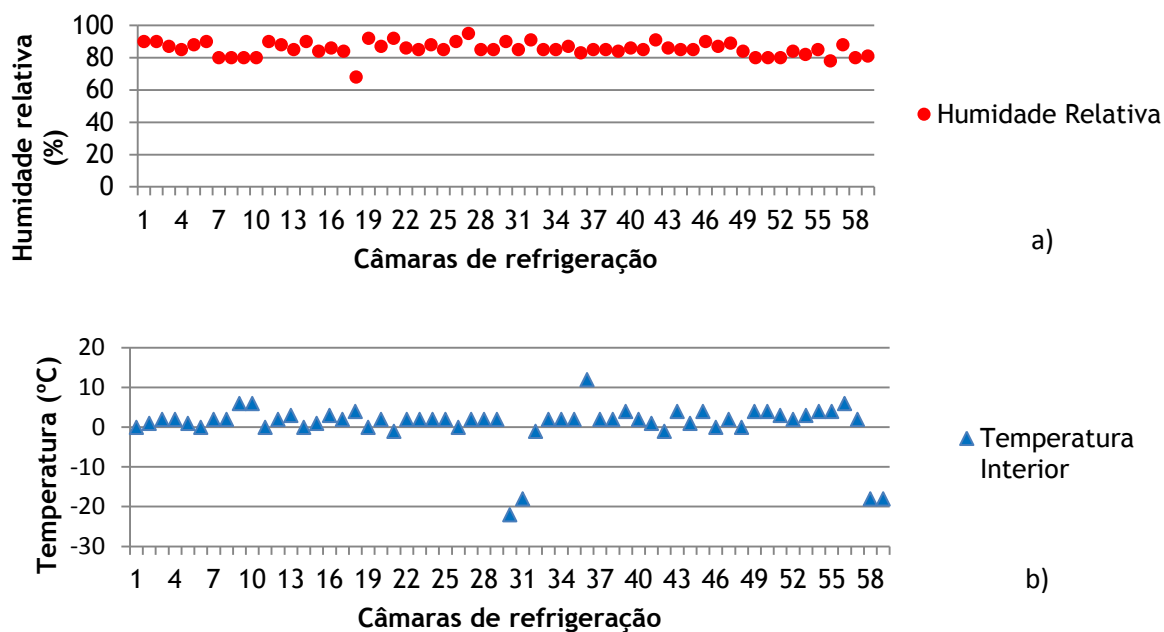


Figura 4.15 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria dos matadouros: a) Humidade relativa, b) Temperatura.

Da análise dos gráficos observa-se que o perfil da temperatura e da humidade relativa apresenta temperaturas compreendidas entre 2 a 26°C e 60 a 85 %, respectivamente. Também nesta categoria existem temperaturas de -18°C nas câmaras de congelação, temperaturas de 12°C nas salas de fabrico e 26°C, nas operações de estufagem e secagem dos enchidos com as unidades de tratamento de ar. Neste caso o perfil das temperaturas do interior das câmaras de refrigeração já não é uniforme.

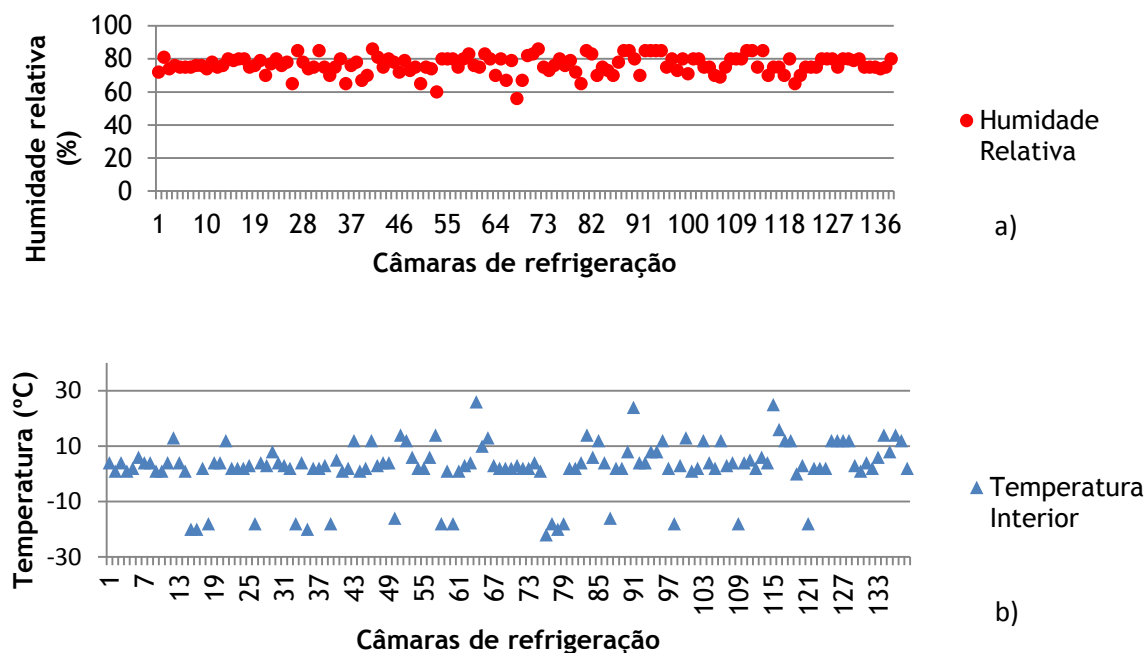


Figura 4.16- Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria das salsicharias: a) Humidade relativa, b) Temperatura.

Os gráficos da figura 4.17 correspondem ao perfil da humidade relativa (gráfico a)) e da temperatura (gráfico b)) que obtivemos no interior das 160 câmaras de refrigeração pertencentes aos estabelecimentos de fabrico de presunto. Da análise destes gráficos constatamos que o perfil da temperatura compreende valores compreendidos entre os -18°C e os 28°C. Neste perfil predominam as temperaturas entre os 2°C e os 26°C. No tocante à humidade relativa observa-se que os valores estão compreendidos entre 45 a 90%.

No processo de fabrico de presuntos é onde o perfil de temperaturas é mais oscilante em virtude das fases de cura do presunto (salga, pós-salga, secagem e estufagem) e onde os valores da humidade relativa são mais baixos.

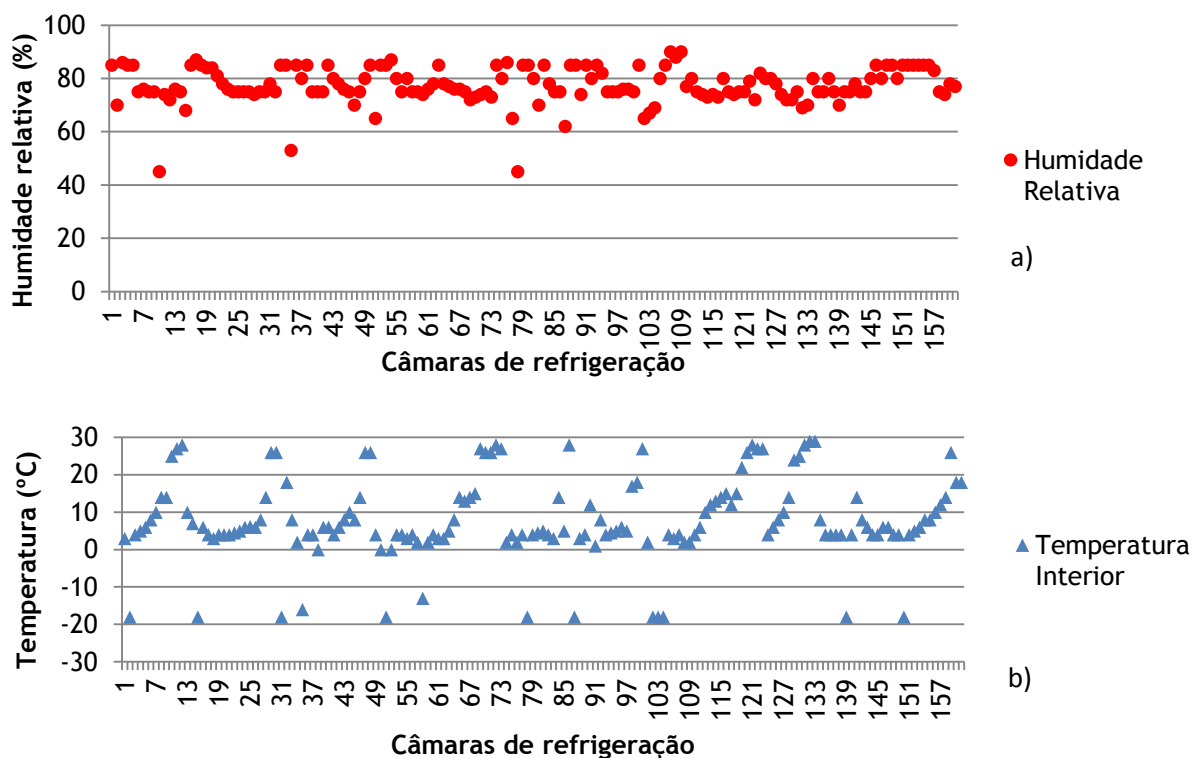


Figura 4.17- Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da categoria dos estabelecimentos de fabrico de presunto: a) Humidade relativa, b) Temperatura.

4.1.5. Características dos sistemas de refrigeração

A utilização do frio na fileira da carne é transversal em todas as categorias de estabelecimentos. Para realizar os processos produtivos descritos na secção 4.1.3, utilizam-se diferentes níveis de temperatura conforme apresentamos na secção anterior e realiza-se também o tratamento do ar interno da câmara de atmosfera controlada (variação da temperatura e humidade relativa do ar). Por outras palavras, nesta fileira trabalha-se com processos de congelação, refrigeração, climatização, tratamento do ar interno das câmaras de cura de produtos e ainda com a fumagem. As características dos sistemas de refrigeração e do frio usado dependem muito do tipo de processo produtivo, ou seja, dos produtos que fabricam.

O gráfico da figura 4.18 apresenta os valores percentuais do tipo de operações de frio e de fumagem que são aplicados nos estabelecimentos da fileira da carne.

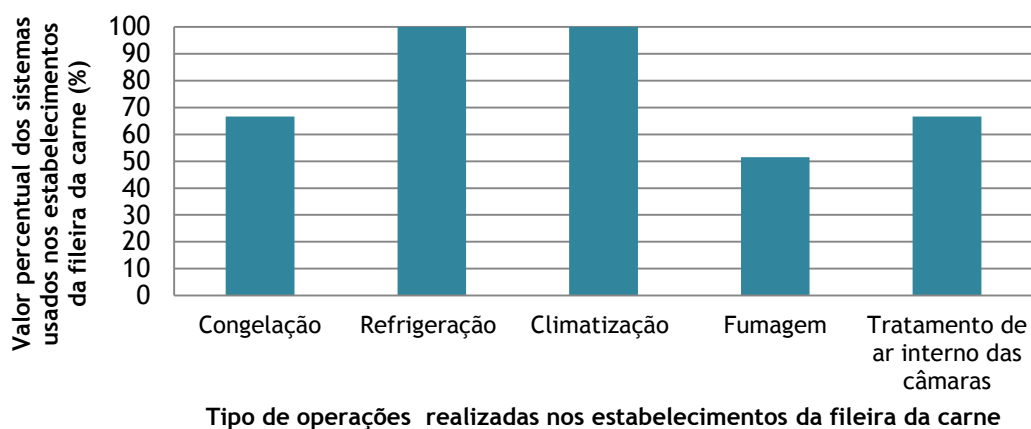


Figura 4.18 - Valores percentuais das operações de frio e de fumagem que são aplicados nos estabelecimentos.

Conforme se constata nesta figura as operações de refrigeração e de climatização realizam-se em todos os estabelecimentos industriais da carne, por imposição das exigências impostas pelos regulamentos do controlo de qualidade das matérias primas e dos produtos. As restantes operações já só se aplicam em alguns processos, de acordo com as necessidades e exigências específicas do ciclo de fabrico dos produtos, nomeadamente, tratamento do ar interno das câmaras (22 estabelecimentos) e a fumagem (17 estabelecimentos).

Nos matadouros são requeridos geralmente três níveis de temperatura: congelação, refrigeração e climatização. Estes três níveis de temperatura visam obter o arrefecimento rápido das carcaças, a estabilização da temperatura para conservação das mesmas por períodos curtos (refrigeração) ou períodos longos (congelação) e ainda a climatização corredores e salas onde se realizam as operações de corte e desmancha, fabrico de produtos ou circulação da carne.

Os principais tipos de sistemas de produção de frio encontrados nos matadouros são:

- i) Centrais de frio de circuito directo com 4 ou 5 compressores, tipo alternativo, semi-herméticos, instalados em paralelo, ligados a um condensador arrefecido a ar, com convecção forçada que abastece o conjunto de evaporadores instalados nas câmaras de refrigeração. O fluido frigorigéneo usado é o R22 e R404a. Constatamos este tipo de sistemas de refrigeração nos estabelecimentos CM1 e CM2.
- ii) Sistemas individuais de produção de frio constituídos por compressores do tipo alternativo, semi-herméticos e condensadores arrefecidos a ar por convecção forçada, ligados aos evaporadores de cada uma das câmaras de refrigeração e congelação e túnel de congelação. Possuem ainda sistemas individuais de produção de frio constituídos com compressor do tipo alternativo, semi-hermético, de dois estágios de compressão e condensador arrefecido a ar, ligado aos evaporadores das

câmaras de congelação. O fluido frigorigéneo usado é o R22 e R404a. Este tipo de sistemas foram observados nos estabelecimentos CM2, CM3 e CM4).

Como se pode constatar encontramos mais do que uma solução para satisfazer as necessidades de frio dos estabelecimentos da categoria dos matadouros. Pode dizer-se que o tipo de equipamentos e design da instalação de frio destes estabelecimentos está muito relacionada com a capacidade instalada (capacidade do estabelecimento) e com as gamas de frio que são utilizadas nos mesmos.

Quanto aos estabelecimentos das salsicharias, por se tratarem de indústrias de média e pequena capacidade e volumetria, utilizam com pouca frequência centrais de frio quer de circuito directo ou indirecto. Em geral, estes estabelecimentos usam o frio para os processos de conservação de matérias primas e produtos, secagem dos enchidos e climatização de salas de fabrico e corredores.

Os principais sistemas de produção de frio encontrados nestes estabelecimentos são:

- i) Sistemas individuais de produção de frio, constituídos por um compressor de compressão de vapor, do tipo alternativo, semi-hermético e condensador arrefecido a ar por convecção forçada, ligado aos evaporadores das câmaras de refrigeração e congelação (ver subsecção 2.2.4.1), unidades de condensação (ver subsecção 2.2.4.2), sistemas compactos (ver subsecção 2.2.4.4) e unidades ou mini-unidades de tratamento do ar (ver subsecção 2.2.4.5). O fluido frigorigéneo usado é o R22 e R404a. Estes equipamentos são usados nos estabelecimentos CS2, CS3, CS6, CS9, CS11, CS14, CS15, CS18, CS20;
- ii) Centrais de frio de circuito directo (ver subsecção 2.2.4.6), unidades de condensação a funcionar com R22 ou R404a e unidades ou mini-unidades de tratamento do ar, usados nos estabelecimentos CS1, CS4, CS5, CS7, CS8, CS10, CS12, CS13, CS16, CS17 e CS19 .

Como nestes estabelecimentos as capacidades de refrigeração exigidas são menores em virtude de existirem menores quantidades de produtos a refrigerar e espaços a climatizar o tipo de instalação preferida é de menores capacidades de refrigeração e individualizada por espaços a refrigerar (unidades de condensação).

Finalmente, os estabelecimentos de fabrico de presunto, utilizam uma maior variedade de sistemas de produção de frio e utilizam também unidades de tratamento do ar no interior de câmaras de atmosfera controlada. Os estabelecimentos visitados possuem os seguintes conjuntos de equipamentos:

- i) Sistemas individuais de produção de frio, a funcionar com R22 e R404a constituídos por compressor do tipo alternativo, semi-hermético e condensador arrefecido a ar por convecção forçada, ligado aos evaporadores das câmaras de refrigeração e congelação (ver subsecção 2.2.4.1) e unidades de tratamento do ar (ver subsecção 2.2.4.5), são utilizados nos estabelecimentos CP2, CP4, CP5;

- ii) Centrais de frio de circuito indirecto a funcionar a água e a água mais glicol para os processos de climatização e de arrefecimento de câmaras de refrigeração, respectivamente (ver subsecção 2.2.4.6), unidades de tratamento do ar (ver subsecção 2.2.4.5), sistema individual de produção de frio a funcionar com R404a constituído por compressor do tipo alternativo de duas etapas de compressão, semi-hermético, arrefecido com condensador ar por convecção forçada e ligado aos evaporadores da câmara de congelação são usados no estabelecimento CP8;
- iii) Centrais de frio de circuito directo com 2 ou mais compressores do tipo alternativo, a funcionar a R22, semi-herméticos, arrefecidos com condensadores a ar por convecção forçada e ligadas aos evaporadores das câmaras de refrigeração, climatização (ver subsecção 2.2.4.3). Também usam unidades de produção de frio individual, grupos de condensação (ver subsecção 2,2,4,2) e unidades de tratamento do ar, são usados nos estabelecimentos CP1, CP3, CP7, CP9 e CP6.

Como se tratam de estabelecimentos de grande dimensão com um número elevado de câmaras de atmosfera controlada para além dos sistemas de refrigeração típicos, aqui predomina as unidades de de secagem, autónomas, instaladas individualmente em cada uma das câmaras.

A figura 4.19 apresenta a distribuição percentual dos tipos de sistemas de refrigeração pelos estabelecimentos em estudo.

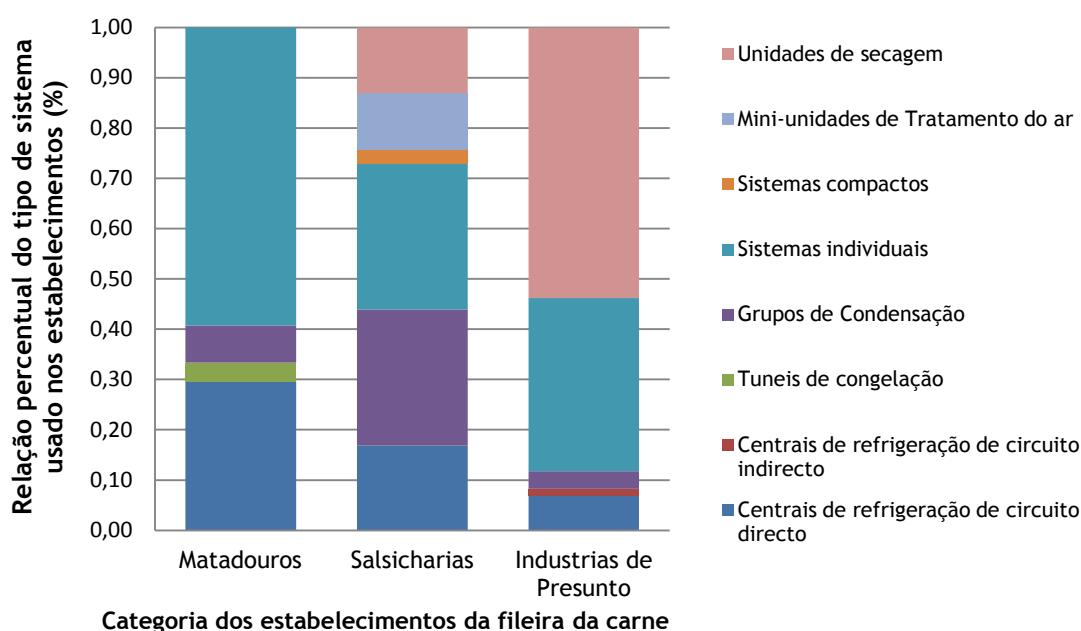


Figura 4.19 - Sistemas de refrigeração usados nos estabelecimentos da fileira da carne.

Conforme se constata na figura 4.19, os equipamentos usados nas diferentes actividades ou processos produtivos é bastante diversificado. Para os matadouros os equipamentos utilizados nos estabelecimentos são 27 e estão distribuídos da seguinte forma: 8 centrais de refrigeração de circuito directo (29,6%), 16 sistemas individuais (59,3%), 2 unidades de condensação (7,5%) e finalmente 1 túnel de congelação (3,6%).

Quanto às salsicharias observa-se que os tipos de equipamentos de frio são ainda mais deversificados por causa das características dos processos de fabrico praticados. Em função destas características os equipamento utilizados por estes estabelecimentos, são 107 sistemas de refrigeração distribuidos da seguinte modo: 31 sistemas individuais (29%), 29 unidades de condensação (27%), 18 centrais de refrigeração de circuito directo (17%), 14 unidades de secagem (13%), 12 mini-unidades de tratamento do ar (11%) e finalmente 3 sistemas compactos (3%). Para além destes equipamentos ainda possuem as estufas que podem ser eléctricas ou a lenha (fumeiros).

Finalmente, os estabelecimentos de fabrico de presunto da nossa amostra, possuem 145 sistemas de refrigeração, repartidos da seguinte forma: 78 unidades de secagem (54%), 50 sistemas individuais (34%), 10 centrais de produção de refrigeração de circuito directo (6,9%), 5 unidades de condensação (3%) e 2 centrais de refrigeração de circuito indirecto (1%).

O conjunto dos sistemas de refrigeração usados pelas indústrias da fileira da carne utilizam 332 compressores. Estes equipamentos são todos de compressão mecânica de vapor, alternativos e são utilizados maioritariamente em sistemas de expansão directa.

O gráfico da figura 4.20 apresenta a distribuição percentual do tipo de compressor usado nos estabelecimentos da fileira da carne. Conforme se observa neste gráfico, os sistemas de refrigeração utilizam maioritariamente compressores semi-herméticos, pois encontramos 271 compressores deste tipo (82%), 36 compressores herméticos (11%) e finalmente 25 compressores abertos (7%). A elevada utilização dos compressores semi-herméticos deve-se em parte à sua capacidade em satisfazer as capacidades de refrigeração pretendidas, apresentam bom desempenho (eficiência), fácil reparação e uma boa relação de custo/qualidade. Estes resultados também nos indicam uma baixa percentagem de utilização de compressores abertos apesar de, segundo Cai (2008) serem os que apresentam os melhores rendimentos isentrópicos.

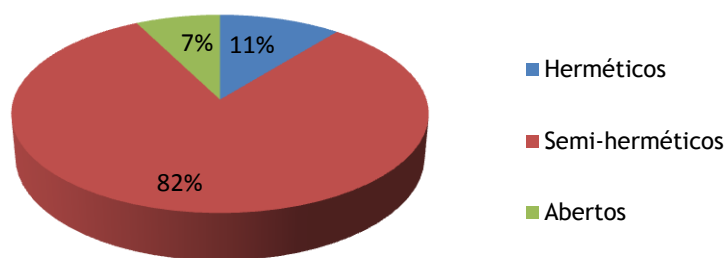
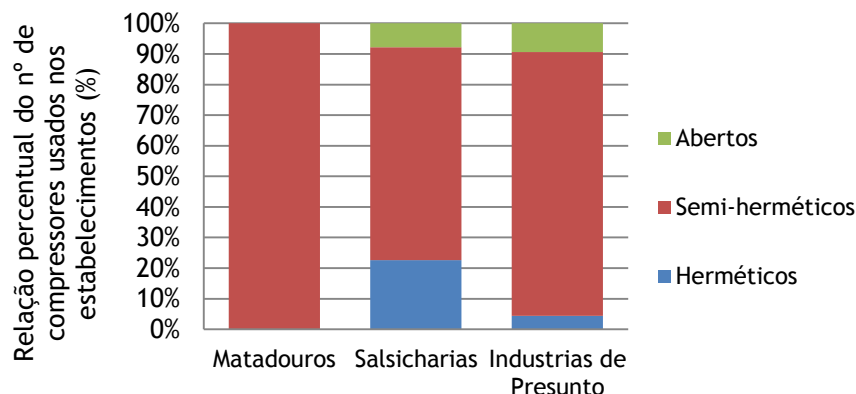


Figura 4.20 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados na fileira da carne.

Numa análise por tipo de actividades na fileira da carne, constatamos que os sistemas de refrigeração dos matadouros usam 44 compressores, todos do tipo semi-hermético (100%), as salsicharias usam 128 compressores, dos quais 89 são do tipo semi-herméticos (69%), 29 do tipo

herméticos (23%) e 10 do tipo aberto (8%) e os estabelecimentos de fabrico de presunto utilizam 160 compressores sendo 7 herméticos (4%), 138 semi-herméticos (86%) e 15 abertos(10%).

A figura 4.21 apresenta o gráfico com a distribuição percentual dos varios tipos de compressores por cada uma das categorias de estabelecimentos.



Categoria dos estabelecimentos da fileira da carne

Figura 4.21 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados nas três categorias de estabelecimentos da fileira da carne.

O gráfico representado na figura 4.22 apresenta a distribuição percentual do tempo de operação dos compressores usados na fileira da carne. Conforme se constata nesta figura só 43% dos compressores (143 compressores) é que têm um tempo de operação inferior a 10 anos e os restantes 57% (189 compressores) têm mais de 10 anos.

Segundo Coquinot e Chapon (1992), a duração média de vida da maioria dos equipamentos utilizados nos sistemas de produção de frio está compreendida entre 15 a 20 anos (compressores, ventiladores, central de tratamento de ar, bombas de circulação) comprometendo a eficiência energética dos sistemas.

A utilização intensiva dos equipamentos não acompanhada por uma adequada manutenção eleva os custos de funcionamento e os gastos com a energia. De facto, ao longo do trabalho de campo encontram-se muitos compressores com perdas de óleo, vibrações, falta de refrigerante e isolamentos deficientes, que no seu conjunto proporcionam a diminuição da eficiência energética dos sistemas de produção de frio.

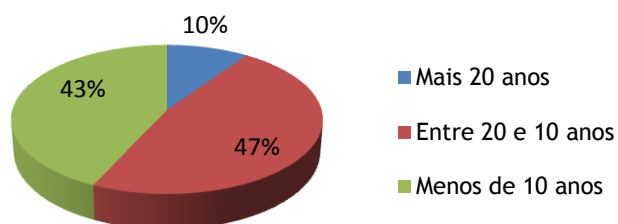


Figura 4.22- Tempo de operação dos compressores usados na fileira da carne.

No tocante aos fluidos utilizados, verificamos que o R22 ainda é o fluido mais usado nos sistemas de refrigeração. Na figura 4.23 apresenta-se o gráfico com o tipo de fluidos usados nos vários sistemas e conforme se constata o R22 domina as aplicações com 76%, seguido do R404a com 23% e finalmente de uma forma marginal, os fluidos secundários água e água glicolada com 1%.

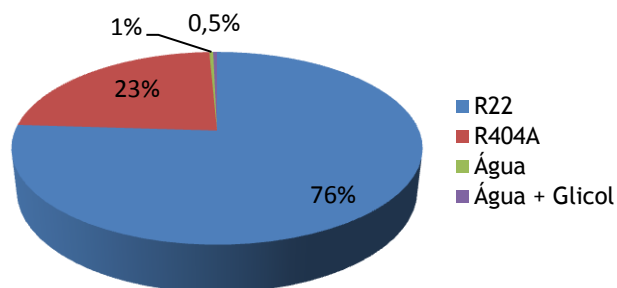


Figura 4.23 - Tipos de fluidos usados na fileira da carne.

Constata-se que neste campo ainda há um enorme trabalho a realizar por parte dos responsáveis dos estabelecimentos para que cumpram a legislação que impõe a substituição do R22 até um de Janeiro de dois mil e quinze.

Outro dado relevante a retirar desta informação, é a reduzida utilização de centrais de circuito indirecto que conforme referido na secção 2.4.6, estão actualmente a merecer grande atenção por causa da sua melhor eficiência e pelo facto de usarem fluidos naturais como o amoníaco no circuito primário.

Apesar de não se ter encontrado sistemas de refrigeração a usar o amoníaco, segundo UNEP (2011), ele é muito utilizado nas grandes instalações, em particular nas indústrias agroalimentares.

Na figura 4.24 aparece discriminado o tipo de condensadores usados nos sistemas de refrigeração. Constata-se que são usados 279 condensadores, dos quais 99% são do tipo de arrefecimento a ar por convecção forçada (275 condensadores) enquanto 1% são condensadores evaporativos (4 condensadores)

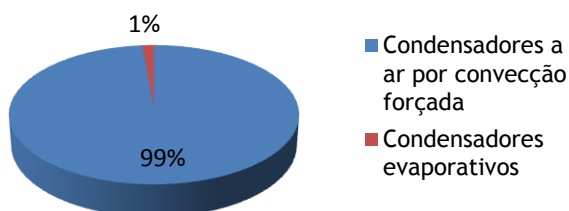


Figura 4.24 - Tipo de condensadores usados na fileira da carne.

Os condensadores de tubos e alhetas arrefecidos a ar por convecção forçada dominam quase completamente as aplicações dos sistemas de refrigeração da fileira da carne. São escassos os condensadores evaporativos mesmo sendo mais eficientes que os condensadores arrefecidos a ar.

Detectaram-se várias situações inadequadas: localização de condensadores próximos de fontes de calor, muito expostos à radiação solar; colocação destas unidades em locais fechados e com curto-circuito do ar aspirado; alhetas obtruídas por sujidade, impossibilitando a passagem do ar. Estes factores contribuem para a elevação da pressão de condensação e por conseguinte para uma diminuição da eficiência energética dos sistemas, com o consequente aumento do consumo de energia eléctrica.

A utilização de condensadores evaporativos seria uma boa opção porque contribuem para diminuir a temperatura de condensação e neste caso beneficiariam positivamente a eficiência energética do sistema.

Outro aspecto apurado durante o trabalho de campo foi a utilização de condensadores munidos com ventiladores com duas velocidades, ou com velocidade variável, por forma a permitir uma adequação da variação da temperatura de condensação com as condições ambientais.

4.1.6. Consumos de energia

Mediante a análise dos processos produtivos executados nesta fileira constatamos que são usados vários sistemas e equipamentos que funcionam à base do consumo de energia eléctrica. Estes equipamentos são maioritariamente accionados por motores eléctricos, nomeadamente os sistemas de produção de frio, unidades de tratamento de ar, serra eléctricas, picadoras, misturadoras, enchedoras, sistemas de ar comprimido, iluminação, linhas aéreas e equipamentos de escritório.

Por outro lado, para a obtenção de águas quentes para realizar as operações de limpeza das instalações e realizar algumas operações dos processos de fabrico também são usados combustíveis de natureza fóssil e ainda lenha, particularmente de azinho para produção de calor e fumo para realizar as operações de estufagem e secagem, nos fumeiros.

Na Tabela 4.4 apresentamos os resultados do consumo de energia eléctrica e outros combustíveis (em tep) para os 4 estabelecimentos de matadouros.

Tabela 4.4 - Tipos e consumos anuais de energia nos estabelecimentos de matadouros

Estabelecimentos	Tipos energia de	Consumo de energia eléctrica (tep*)	Consumo de combustíveis (tep*)	Consumo anual de energia (tep*)	PDC (tonCO ₂)
CM1	Electricidade Gás natural	45,0	24,3	69,3	163,4
CM2	Electricidade Gás natural	44,8	18,8	63,6	148,4
CM3	Electricidade Gasóleo	252,9	144,2	397,1	995,0
CM4	Electricidade Gás propano	79,7	39,2	118,9	163,4

*Tep – Toneladas equivalente de petróleo. Para as conversões de unidades de energia foram utilizados os factores de conversão constantes do Despacho 17313/2008, publicado no D.R. n.º 122, II Série, de 2008.06.26;

Conforme se observa nesta tabela todos os estabelecimentos consomem electricidade e os principais combustíveis usados são o gás natural, gás propano e o gasóleo.

Na figura 4.25 apresentam-se os valores percentuais dos consumos de energia eléctrica e de outros combustíveis para os estabelecimentos dos matadouros, bem como os valores médios do consumo da energia eléctrica e dos combustíveis, obtidos para cada tipo de energia. Destes resultados constatamos que a **energia eléctrica representa 65,2%** do consumo de energia nos matadouros, **tendo os restantes combustíveis um peso de 34,8 %**. Os combustíveis são usados para realizar as operações dos processos produtivos tais como o chamusco dos suínos e as águas quentes para o escaldão dos suínos e as operações de limpezas.

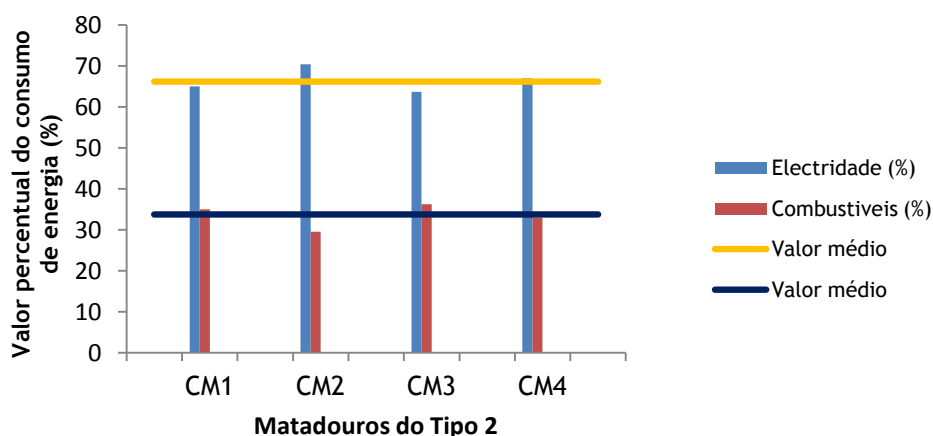


Figura 4.25 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis nos matadouros.

Para efeitos comparativos, apresentam-se na figura 4.26 os valores do consumo anual de energia eléctrica e de combustíveis nos matadouros licenciados da categoria do tipo 1 (APA, 2012).

Conforme se constata desta figura, os valores médios do consumo de energia eléctrica e de combustíveis para estes matadouros são de 66,5% e 33,5%, respectivamente, apresentando uma distribuição não muito diferente da obtida no presente estudo.

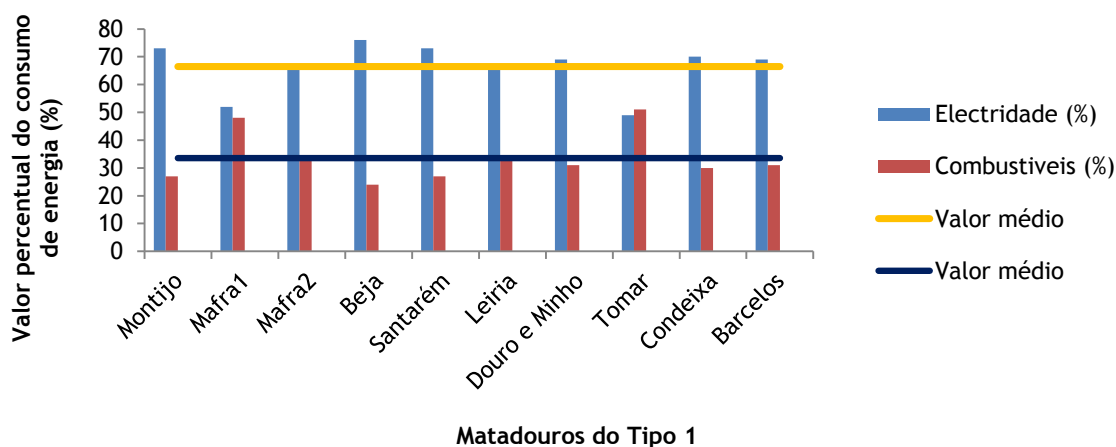


Figura 4.26 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis nos matadouros da categoria 1.

Em termos nacionais, pode avançar-se com valores de 66,4% e de 33,6%, como sendo os representativos do peso da energia eléctrica e de outros combustíveis nestes estabelecimentos. Apesar da proporção de consumos de energia eléctrica e de combustíveis serem semelhantes nas duas categorias de matadouros, os consumos em cada categoria é bastante diferente dada a diferente dimensão dos estabelecimentos. Para os matadouros do presente estudo o consumo médio anual está compreendido entre 63,6 a 397 tep, enquanto para os matadouros da categoria 1 o consumo médio anual encontra-se situado entre 408 a 2253 tep.

Os matadouros da categoria 1 possuem uma capacidade instalada de equipamentos de refrigeração e caldeira de combustão superiores aos do nosso estudo porque abatem diariamente uma quantidade de animais mais elevada.

A quantidade de CO₂ produzida, pelos matadouros do nosso estudo apresentam-se na tabela 4.4. Conforme se constata os valores encontram-se entre 148,4 ton. e 995 ton. O matadouro que maior quantidade de CO₂ produz é o CM3 devido ao tipo de combustível que utiliza, neste caso, o gasóleo.

Na Tabela 4.5 apresentamos os resultados do consumo de energia eléctrica e outros combustíveis para os estabelecimentos da categoria das salsicharias.

À semelhança dos matadouros, constatamos que a energia eléctrica é o tipo de energia mais utilizada neste tipo de estabelecimentos, comparativamente aos combustíveis.

Os combustíveis mais usados são o gás Propano e o gasóleo, especificamente em caldeiras para o aquecimento de água, para lavagens e limpezas das infraestruturas, salas de fabrico e utensílios. Da análise das tabelas 4.4 e 4.5 concluímos que as salsicharias são estabelecimentos industriais que consomem anualmente uma quantidade de energia inferior à dos matadouros. Isto tem uma razão de ser, porque tipicamente estes estabelecimentos são de pequena dimensão e possuem uma capacidade instalada mais reduzida.

Nos estabelecimentos das salsicharias, a energia eléctrica é consumida pelos motores eléctricos dos equipamentos que são usados para efectuar as várias fases do processo produtivo apresentado na secção 4.2.3.2, e dos quais se destacam as máquinas picadoras, misturadoras e enchedoras que geralmente possuem motores eléctricos de pequena potência eléctrica e trabalham só durante determinados periodos da semana. Para além destes equipamentos, aparecem depois os sistemas de refrigeração usados na produção de frio para criar as condições ambientais adequadas para efectuar a conservação e maturação da carne, climatização da sala de fabrico e corredores e unidades ou semi-unidades de tratamento do ar para executar a cura dos enchidos. Estes sistemas possuem motores eléctricos com maiores potências eléctricas e trabalham diariamente, quase sempre continuamente.

Tabela 4.5 - Tipo e consumo anual de energia nas salsicharias

Estabelecimentos	Tipos de energia	Consumo de energia eléctrica (tep)	Consumo de combustíveis (tep)	Consumo anual de energia (tep)	PDC (tonCO ₂)
CS1	Electricidade Gás propano	5,1	1,1	6,2	14,1
CS2	Electricidade Gasóleo	8,2	3,4	11,6	27,7
CS3	Electricidade Gás propano	9,5	4,5	14	32,6
CS4	Electricidade Gás propano	52,7	1,4	54,1	118,7
CS5	Electricidade Gás propano	14,7	2,1	16,8	37,8
CS6	Electricidade	14,9	0	14,9	109,2
CS7	Electricidade Gasóleo	10,1	0,6	10,7	24,1
CS8	Electricidade Gás propano	31,1	4,1	35,2	78,6
CS9	Electricidade Gás propano	14,2	11,8	26	62,1
CS10	Electricidade Gasóleo	17,8	5,5	23,3	55,9
CS11	Electricidade Gás propano	5,8	1,3	7,1	16
CS12	Electricidade	55,5	0	55,5	121,3
CS13	Electricidade Gás propano	41,7	1,7	43,4	95,6
CS14	Electricidade	2,7	0	2,7	5,9
CS15	Electricidade	31,3	0	31,3	68,5
CS16	Electricidade Gás propano	8,5	1,2	9,7	21,8
CS17	Electricidade Gás propano	5,5	2,1	7,6	17,7
CS18	Electricidade Gás propano	7,2	1,2	8,4	19
CS19	Electricidade Gás propano	144,8	74,2	219	512
CS20	Electricidade Gasóleo	32	2,6	34,6	77,8

O perfil de consumo de energia nas salsicharias apresenta-se na figura 4.27. Desta figura constata-se que o consumo médio anual de energia eléctrica comparativamente ao dos combustíveis é bastante superior, sendo de 84,8% e 15,2 %, respectivamente.

Algumas salsicharias só consomem electricidade porque utilizam cilindros eléctricos para aquecimento de águas (CS6, CS12, CS14 e CS15).

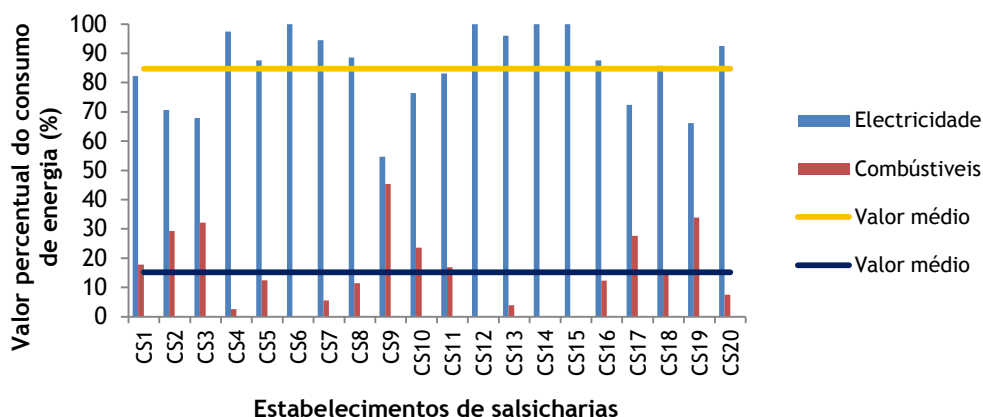


Figura 4.27 - Consumo anual de energia eléctrica e de combustíveis nas salsicharias.

Na Tabela 4.6 apresenta-se o consumo de energia dos estabelecimentos de fabrico de presunto. Nestes estabelecimentos os principais combustíveis utilizados são o gás propano, gasóleo e a nafta. Da tabela 4.6 observa-se que esta categoria de estabelecimento consome uma pequena parcela de combustíveis, essencialmente para obter água quente para realizar as limpezas dos equipamentos e infra-estruturas.

Tabela 4.6 - Tipo e consumo de energia dos estabelecimentos de fabrico de presunto

Estabelecimentos	Tipos de energia	Consumo de energia eléctrica (tep*)	Consumo de combustíveis (tep*)	Consumo anual de energia (tep*)	PDC (tonCO ₂)
CP1	Electricidade	87,3	8,4	95,7	212,9
CP2	Gás propano				
CP2	Electricidade	348	31,7	379,8	858,3
CP3	Gasóleo				
CP4	Gás propano	116,8	12,4	129,1	293,5
CP5	Gasóleo				
CP6	Electricidade	551,6	0	551,6	1206
CP7	Electricidade	72,3	5,7	78	173
CP8	Gás propano				
CP9	Electricidade	110,9	0	110,9	242,4
CP9	Nafta	303	95,7	398,6	955,8
CP9	Electricidade	323,8	9,7	332	733,5
CP9	Gás propano				
CP9	Electricidade	87,1	6,2	93,3	206,7

Conforme se constata desta tabela existe uma grande diferença entre os consumos de energia eléctrica e a de combustíveis. Esta diferença elevada explica-se pela natureza do processo produtivo deste produto que faz uso maioritariamente de equipamentos utilizadores de energia eléctrica, tais como os sistemas de refrigeração e as unidades de secagem que foram descritas na subsecção 4.2.5.

Na figura 4.28 apresenta-se o perfil de consumo de energia das indústrias de fabrico de presunto. Conforme se constata nesta figura o conjunto destas indústrias consomem maioritariamente a energia eléctrica, existindo inclusivé dois estabelecimentos que consomem unicamente este tipo de energia (CP4 e CP6). Como se pode verificar do gráfico da Figura 4.28, o consumo de energia eléctrica é muito similar em todos os estabelecimentos, com excepção de um estabelecimento (CP7) que apresenta um valor inferior. O motivo para este resultado está relacionado com o facto de este estabelecimento efectuar o aquecimento de algumas câmaras de secagem de presunto com permutadores de calor que utilizam o calor da queima de combustíveis. Para os estabelecimentos de fabrico de presunto, o consumo anual médio de energia eléctrica e de combustíveis é de 92% e 8 %, respectivamente, conforme se observa na figura 4.28.

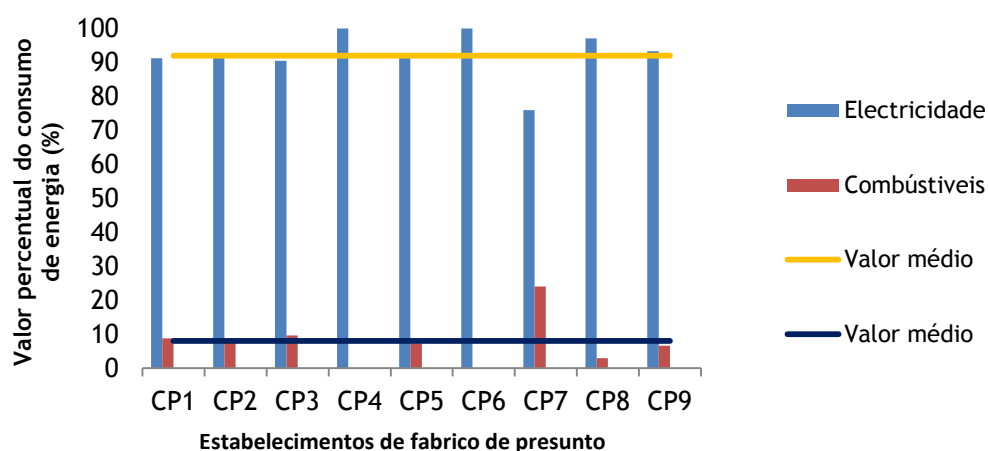


Figura 4.16 - Consumo anual de energia eléctrica e de combustíveis dos estabelecimentos de fabrico de presunto.

Na figura 4.29 apresenta-se o valor percentual dos diferentes tipos de energia que é consumida nos estabelecimentos das três categorias desta fileira. Conforme se constata desta figura o contributo da energia eléctrica aumenta dos matadouros para os estabelecimentos de fabrico de presunto e os combustíveis apresentam um comportamento inverso.

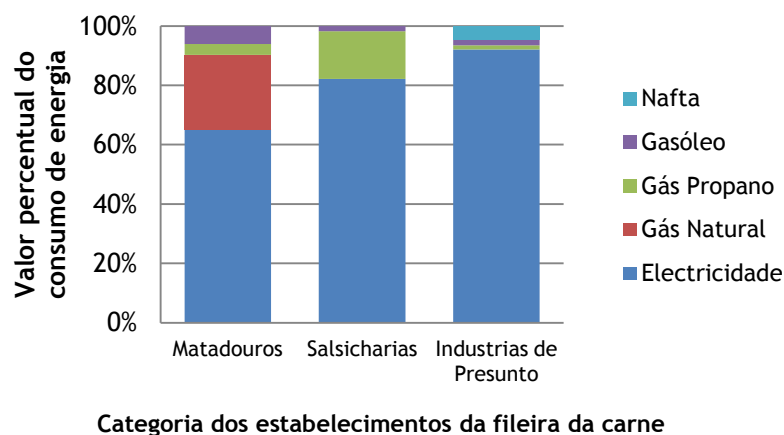


Figura 4.29 - Consumos anuais de energia eléctrica e de combustíveis dos estabelecimentos da fileira da carne.

Em relação à fileira da carne como um todo, cujos resultados dos consumos anuais de energia se apresentam nas tabelas 4.4, 4.5 e 4.6, o consumo global de energia é de 3450 tep, distribuído da seguinte forma: 2935 tep de energia eléctrica (85%) e 515,06 tep de outros combustíveis (15%).

A figura 4.30 apresenta a distribuição dos tipos de energia usados pelos estabelecimentos da fileira da carne em estudo na presente tese.

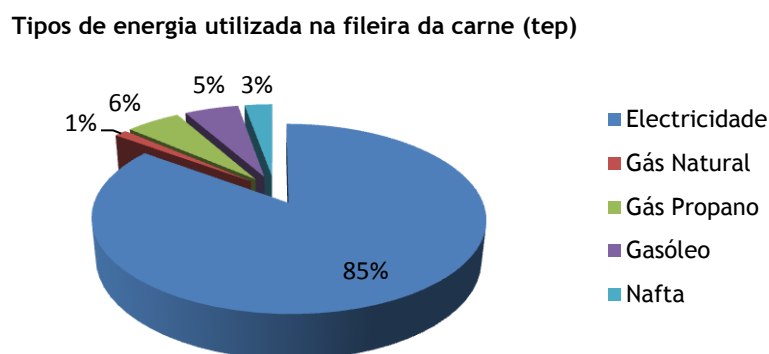
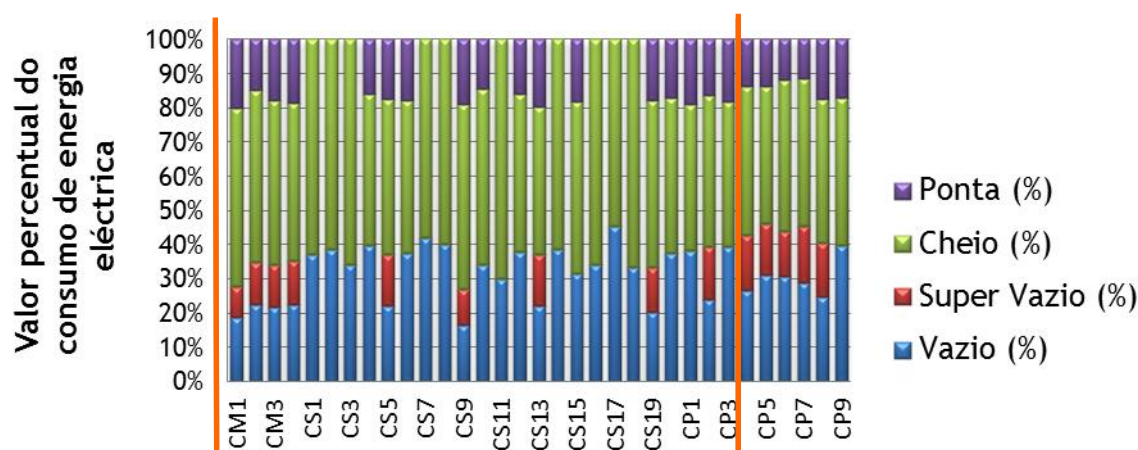


Figura 4.30 - Distribuição dos tipos de energia usados pelos estabelecimentos da fileira da carne.

Como a figura 4.30 ilustra, a energia eléctrica é a principal energia usada pelos estabelecimentos. Como realizam actividades diferentes, utilizam tecnologias diferentes, usam a energia eléctrica em momentos temporais diferentes ao longo do dia, em termos de estratégia de consumo, o tarifário e a potência contratada têm influência nos custos finais da factura mensal.

A figura 4.31 apresenta o perfil do tarifário do consumo anual médio de energia eléctrica dos diferentes estabelecimentos industriais. Da análise deste perfil constata-se que os estabelecimentos da categoria de matadouro e de fabrico de presunto possuem um perfil de tarifário maioritariamente do tipo tetra-horário (estabelecimentos CM1 até CM4 e CP1 até CP9). Da figura observamos igualmente que o perfil dos quatro estabelecimentos de matadouros é muito similar, sendo um tarifário tetra-horário, com o consumo correspondente às horas de ponta muito semelhante. O mesmo se passa com os estabelecimentos de fabrico de presunto (estabelecimentos CP1 até CP9). A energia consumida em hora de ponta tem um custo mais elevado em oposição à energia consumida nas restantes horas do tarifário. Isto significa portanto, que os estabelecimentos realizam as suas actividades tendo presente estas condições, manifestando assim preocupação com os consumos da energia.

Da análise do tarifário dos estabelecimentos das outras categorias, as salsicharias utilizam tarifário bi-horário e são talvez as que dão menos atenção à importância do tarifário.



Estabelecimentos da fileira da carne

Figura 4.31 – Perfil do tarifário de energia eléctrica na fileira da carne.

A figura 4.32 apresenta o gráfico com os consumos anuais de energia eléctrica referentes aos estabelecimentos desta fileira. Os matadouros consomem uma quantidade de energia eléctrica compreendida entre 208,4 MWh e 1176 MWh, as salsicharias entre 12,6 a 673,3 MWh e finalmente os estabelecimentos de fabrico de presunto entre 336,1 MWh a 2565,6 MWh. Neste gráfico também se representam os valores médios do consumo de energia para estas três categorias de estabelecimentos. Os valores médios obtidos são 491,1 MWh, 127,1 MWh e 1034 MWh, para os matadouros, salsicharias e estabelecimentos de fabrico de presunto, respectivamente.

O consumo de energia eléctrica é menor nas salsicharias porque é a fileira que utiliza menos equipamentos eléctricos com especial destaque para os sistemas de refrigeração, comparativamente aos matadouros e estabelecimentos de fabrico de presunto. Estes últimos são os que possuem mais sistemas de refrigeração e de maior potência eléctrica nominal.

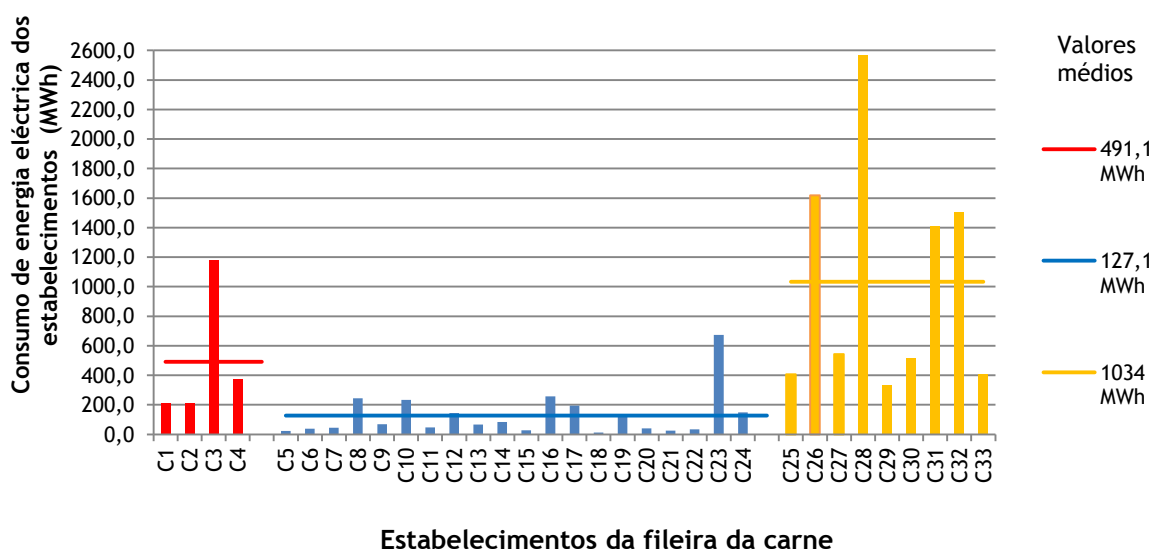


Figura 4.32 - Consumo anual de energia eléctrica dos estabelecimentos das três categorias da fileira da carne.

A potência contratada de cada estabelecimento é pré-definida através da soma das potências individuais dos diferentes equipamentos que a cada momento é necessário utilizar para poder satisfazer as suas necessidades. Todavia, nem sempre todos os equipamentos se encontram em funcionamento pelo que a potência contratada é muitas vezes superior à potência usada da rede em cada instante. Nestes casos, a factura eléctrica possui uma rubrica relativa ao facturamento da potência contratada que por ser superior à usada acaba por ser penalizadora para o estabelecimento.

Tendo em conta a relevância dos sistemas de refrigeração para o funcionamento destes estabelecimentos, e atendendo que o compressor é o principal elemento consumidor de energia e aquele que apresenta a maior potência eléctrica, o conhecimento do valor total da potência para cada estabelecimento é relevante.

A figura 4.33 mostra o gráfico com a relação existente entre a potência contratada, a potência eléctrica dos compressores de refrigeração e ainda com o consumo de energia eléctrica de todos os estabelecimentos. Conforme se observa na figura, existe uma relação muito estreita entre os dois tipos de potências e ainda com o consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos.

Esta relação permite-nos concluir que a potência eléctrica dos compressores assume um papel preponderante quer na escolha da potência contratada como no valor posteriormente registado para o consumo de energia.

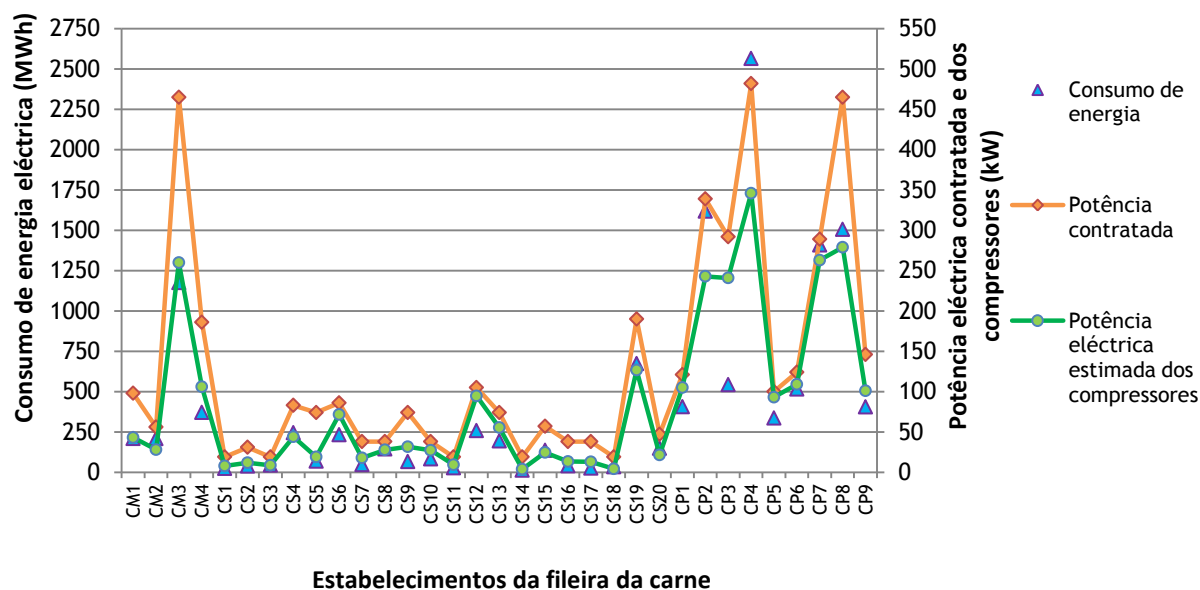


Figura 4.33 - Relação entre o consumo de energia eléctrica, a potência eléctrica contratada e a potência dos compressores dos sistemas de refrigeração dos estabelecimentos da fileira da carne.

4.1.7. Indicadores energéticos e físicos

Na Tabela 4.7 apresentamos os resultados de algumas das características dos estabelecimentos da categoria dos matadouros e os resultados dos indicadores consumo específico de energia primária (CEEP), indicador específico de energia eléctrica (IEEE), matéria-prima por unidade de

câmara de refrigeração (MPVC) e da potência eléctrica nominal dos compressores por unidade de volume de câmara de refrigeração (PECV), apresentados na secção 3.12.

Tabela 4.7 - Resultados dos matadouros com base da informação dos inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq. 3.15.

Estabelecimentos	Consumo de Energia eléctrica (MWh)	Potência contratada (KW)	Potência eléctrica dos compressores (kW)	Volume das câmaras (m ³)	CEEP (Tep/ton _{MP})	IEEE (kWh/ton _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (kW/m ³)
CM1	209,2	233	43	638	0,047	142	2,31	0,067
CM2	208,4	56	28	517	0,036	119	3.39	0.054
CM3	1176,1	465	260	2499	0,084	249	1.89	0.104
CM4	370,8	186	106	1646	0,027	84.3	2.67	0.064
Valor Médio	491,1	235	109,25	1325	0,049	148,5	2,57	0,07

Conforme se observa nesta tabela constatamos que a potência contratada se encontra compreendida entre 56 e 465 kW e a potência eléctrica dos compressores afectos à refrigeração está compreendida entre os limites de 28 e 260 kW.

O consumo específico de energia primária (CEEP) que quantifica a quantidade de energia total primária utilizada por unidade de matéria-prima obtida, situa-se entre 0,027 e 0,087 tep/ton_{MP}, com o valor médio igual a 0,049 tep/ton_{MP}.

Os resultados obtidos para o indicador específico de energia eléctrica (IEEE), para esta categoria, são apresentados no gráfico da figura 4.34.

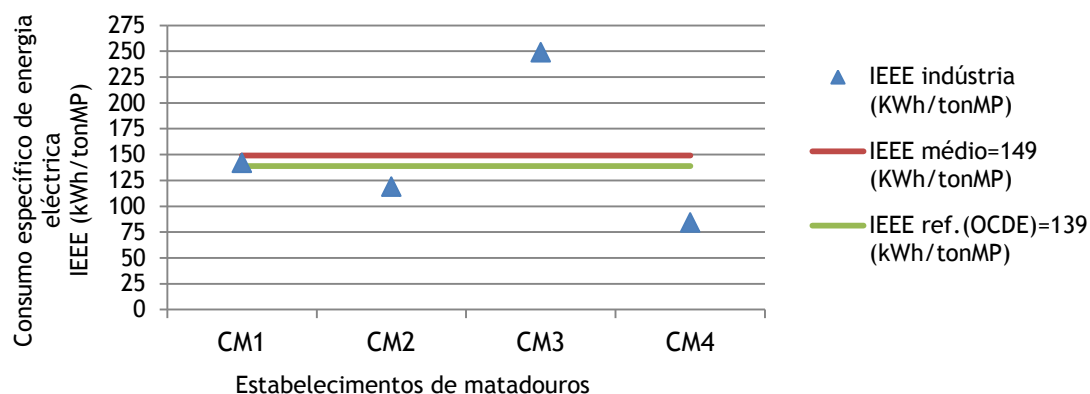


Figura 4.34 - Valores do consumo específico de energia eléctrica nos estabelecimentos de matadouros.

Os resultados indicam uma variação do consumo específico de energia eléctrica (IEEE) entre 84,3 a 249 kWh/ton_{MP}, sendo o seu valor médio de 149 kWh/ton_{MP}.

A maior diferença do IEEE, verifica-se entre os estabelecimentos CM3 e o CM1, com o CM3 a apresentar um valor deste indicador superior em cerca de 75,4%, em relação ao CM1. O CM3 é um matadouro com instalações antigas, com uma grande volumetria e que trabalha a carga parcial proporcionando grandes desperdícios de energia.

Da análise do IEEE, e atendendo à semelhança dos processos produtivos entre os estabelecimentos, constata-se que existe um potencial de redução do consumo de energia simplesmente fazendo com que os estabelecimentos que apresentam consumos específicos superiores à média apliquem algumas das boas práticas adoptadas pelos estabelecimentos que apresentam melhores desempenhos energéticos. Na prática, o potencial de poupança de um determinado estabelecimento corresponde à diferença entre o valor do consumo desse estabelecimento e o valor médio do consumo de energia registado nessa categoria.

Aplicando este procedimento aos estabelecimentos de matadouros estima-se uma poupança no consumo de energia eléctrica em cerca de 17% dos consumos actuais o que corresponde a cerca de 199937 kWh.

No entanto, se tomarmos como referência os consumos médios de energia dos países da OCDE, com um consumo médio de energia de 139 kWh/ton_{HSCW} para o abate de suínos (Unido, 2010), a poupança estimada seria maior, neste caso de 21%.

Os valores do IEEE médio dos estabelecimentos portugueses e de *benchmarking* para os países da OCDE, encontram-se representados na figura 4.34.

Relativamente aos estabelecimentos das salsicharias, na Tabela 4.8, apresentam-se os resultados para os diferentes indicadores.

Tabela 4.8 - Resultados das salsicharias com base da informação dos inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq.3.15.

Estabelecimentos	Consumo de Energia eléctrica (MWh)	Potência contratada (KW)	Potência eléctrica dos compressores (kW)	Volume das câmaras (m ³)	CEEP (Tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/ton _{MP})	MPVC (tonMP/m ³)	PECV (kW/m ³)
CS1	23,7	19	7,8	80	0,161	616,0	0,48	0,10
CS2	38,2	31	11,8	188	0,256	844,2	0,24	0,06
CS3	44,1	19	8,6	172,7	0,134	421,0	0,61	0,05
CS4	245,0	83	44	675	0,062	279,3	1,30	0,07
CS5	68,7	74	19	248,6	0,220	897,6	0,31	0,08
CS6	232,4	86	71,6	679	0,033	516,1	0,66	0,11
CS7	47,3	38	17,8	126	0,071	315,8	1,19	0,14
CS8	144,5	38	27,8	516	0,448	1839,8	0,15	0,05
CS9	66,1	74	31,6	547	0,131	333,7	0,36	0,06
CS10	82,8	38	27,2	321	0,074	262,1	0,98	0,08
CS11	27,3	19	9,3	26	0,128	490,7	2,14	0,36
CS12	258,0	105	94,6	850	0,053	247,8	1,22	0,11
CS13	194,0	74	55,4	866	0,243	1087,9	0,21	0,06
CS14	12,6	19	3,8	14	0,087	405,3	2,22	0,27
CS15	145,8	57	24,5	764	0,176	818,5	0,23	0,03
CS16	39,5	38	13,3	173	0,121	491,4	0,46	0,08
CS17	25,5	38	12,9	175	0,167	559,6	0,26	0,07
CS18	33,5	19	4,2	122	0,124	493,6	0,56	0,03
CS19	673,4	190	126,7	2077	0,218	671,4	0,48	0,06
CS20	148,7	47	21,4	510	0,375	1611,5	0,18	0,04
Valor médio	127,1	55,30	31,67	456,52	0,16	660,17	0,71	0,10

Desta tabela constata-se que a potência eléctrica contratada e a dos compressores de frio encontram-se compreendidas entre os limites de 19 a 190 kW e 3,8 a 126,7 kW, respectivamente. Ainda referentes a estas potências eléctricas, os seus valores médios são de 55,3 kW e 31,67 kW, respectivamente. Estes resultados permitem-nos constatar que a potência contratada aumenta quase que proporcionalmente à medida que aumenta a potência dos compressores de refrigeração

Para esta categoria de estabelecimentos, o consumo específico de energia primária (CEEP) situa-se entre os limites de 0,053 e 0,448 tep/ton_{MP}, e o valor médio é de 0,16 tep/ton_{MP}. Os resultados apresentados na Tabela 4.8, mostram que existe uma variação dos consumos de energia entre os diferentes estabelecimentos, mas não se encontram diferenças significativas com excepção das situações relativas aos estabelecimentos CS8 e CS20. Estes dois estabelecimentos apresentam um valor elevado de CEEP porque consomem mais energia eléctrica em relação à média dos outros estabelecimentos. Por outro lado também constatamos que o valor médio deste indicador (0,16 tep/ton_{MP}) é superior ao apresentado pelos estabelecimentos dos matadouros (0,049 tep/ton_{MP}).

Para esta categoria de estabelecimentos, o consumo específico de energia eléctrica (IEEE) situa-se entre 248 a 1840 kWh/ton_{MP}. Também se observa a existência de uma grande variação no valor do consumo específico de energia eléctrica entre os diferentes estabelecimentos. Por exemplo o estabelecimento CS8 com um consumo específico de energia de 1840 kWh/ton_{MP}, o valor mais alto registado, encontra-se francamente acima do valor médio destes estabelecimentos, neste caso 660 kWh/t_{MP}, conforme representado na figura 4.35. As causas para um valor elevado do IEEE do estabelecimento CS8 são devidas a má localização dos sistemas de refrigeração (existem condensadores instalados no interior do estabelecimento) e à utilização de temperaturas baixas nas salas climatizadas, nomeadamente sala de fabrico, expedição e recepção. Neste caso verifica-se um desajustamento efectivo entre as temperaturas reais e aquelas que deveriam ser praticadas.

Estendendo a análise a todas as indústrias e considerando procedimento idêntico ao adoptado para as indústrias dos matadouros, o potencial esperado para a redução do consumo global de energia eléctrica seria cerca de 24 %. Mais uma vez, salienta-se que este procedimento pressupõe a partilha de algumas das boas práticas da utilização da energia no sector.

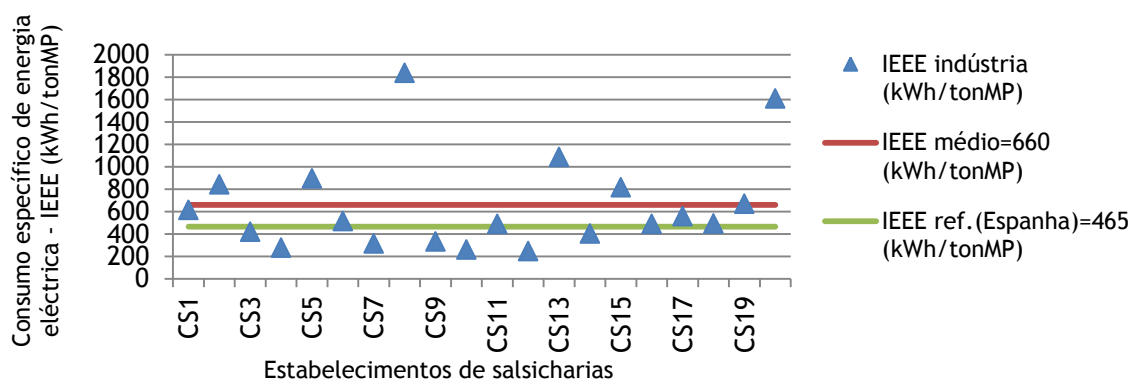


Figura 4.35 - Valores do consumo específico de energia eléctrica dos estabelecimentos das salsicharias.

Se tomarmos como referência o valor médio de consumo específico de energia eléctrica para as indústrias de carne de Espanha, neste caso de 465 kWh/ton_{MP} (EREN, 2008), um dos poucos valores encontrado na literatura, o potencial de energia estimado é da ordem de 53%. O valor de referência da indústria da carne encontra-se igualmente representado na figura 4.35.

Importa salientar que as indústrias de Espanha incorporam no processo produtivo cerca de 55% de energia de outros combustíveis (EREN, 2008), enquanto em Portugal utilizamos cerca de 15% deste tipo de energia. Esta característica justifica a menor utilização da energia eléctrica em Espanha, comparativamente a Portugal.

Da Tabela 4.8, constata-se ainda que o valor médio do indicador MPVC apresenta um valor de 0,71 ton_{MP}/m³, portanto inferior ao valor obtido para os matadouros que é de 2,57 ton_{MP}/m³. Isto significa que na categoria dos matadouros existe uma maior rotatividade, ou quantidade de carne que é tratada pelo frio, e que dentro da mesma categoria existem estabelecimentos com uma utilização diferenciada.

Em relação ao indicador PECV verificamos que o resultado do valor médio obtido para as salsicharias é de 0,10 kW/m³, um pouco superior ao obtido para os matadouros que é de 0,07 kW/m³. Apesar do valor deste indicador ser inferior para os matadouros é importante notar que as câmaras de refrigeração destes estabelecimentos só são ocupadas cerca de 20 a 30% com carcaças (IIF, 2008).

Passando finalmente para os estabelecimentos de fabrico de presunto, os principais resultados são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Resultados dos estabelecimentos de fabrico de presunto com base da informação os inquéritos e dos indicadores calculados através das eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13 e eq.3.15.

Estabelecimentos	Consumo de Energia eléctrica (MWh)	Potência contratada (KW)	Potência eléctrica dos compressores (kW)	Volume das câmaras (m ³)	CEEP (Tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/ton _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (kW/m ³)
CP1	406,0	121	105	2852	0,357	1513,2	0,09	0,04
CP2	1618,8	339	243	6958	0,193	822,3	0,28	0,03
CP3	543,0	292	241	4555	0,074	309,6	0,39	0,05
CP4	2565,6	482	346	10394	0,261	1212,5	0,20	0,03
CP5	336,1	100	93	3016	0,511	2202,3	0,05	0,03
CP6	515,8	124	109	2676	0,189	880,4	0,22	0,04
CP7	1409,1	289	263	5174	0,350	1237,1	0,22	0,05
CP8	1506,0	465	279	6938	0,373	1693,5	0,13	0,04
CP9	405,1	146	101	1699	0,231	1001,4	0,24	0,06
Valores Médios	1034	262	198	4918	0,28	1208,03	0,20	0,04

A potência contratada e a potência nominal dos compressores de frio, para estes estabelecimentos, encontram-se compreendidas entre os limites de 100 a 482 kW e 93 a 346 kW, e os seus valores médios são 262 kW e 198 kW, respectivamente.

Para este tipo de estabelecimentos o consumo específico de energia primária (CEEP) é de 0,28 tep/ton_{MP}, que é o valor mais elevado das três categorias desta fileira. Este resultado significa que estes estabelecimentos são os que gastam mais energia para transformarem uma tonelada de matéria-prima.

Conforme se constata da Tabela 4.9, o valor do indicador MPVC obtido para estes estabelecimentos situa-se entre os limites de 0,05 e 0,39 ton/m³, sendo o seu valor médio de 0,2 ton/m³. Este valor é o mais baixo das três categorias de estabelecimentos da fileira. Este resultado significa que nas câmaras de atmosfera controlada usadas nos estabelecimentos de fabrico de presunto é onde circula anualmente menos quantidade de produtos. Este resultado está, pois de acordo com o tipo de processo produtivo do fabrico de presunto que em média demora 6 meses, correspondendo assim a uma baixa rotatividade de matéria-prima nas câmaras. No tocante à potência eléctrica dos compressores por unidade de volume das câmaras (PECV), os valores obtidos estão compreendidos entre 0,03 e 0,06 kW/m³, com um valor médio de 0,04 kW/m³. Este valor é o mais baixo das três categorias de estabelecimentos, em resultado da grande volumetria das câmaras de atmosfera controlada onde decorrem os processos de cura do presunto e de não ser necessário realizar arrefecimento da matéria-prima.

Na figura 4.36 apresentamos os valores individuais e a média do consumo específico de energia eléctrica (IEEE), obtido pela equação. 3.12.

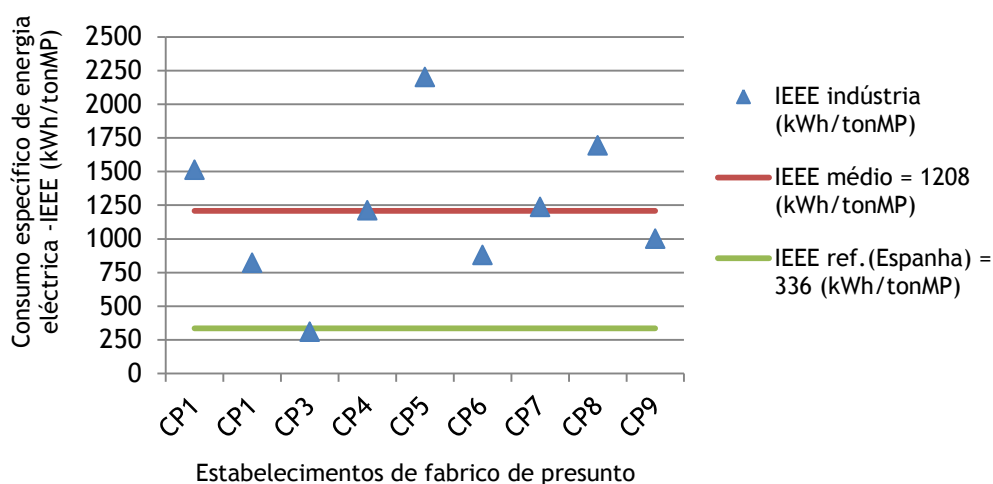


Figura 4.36 - Valores do consumo específico de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico de presunto.

O valor do IEEE destas indústrias encontra-se compreendido entre 310 kWh/ton_{MP} e 2202 kWh/ton_{MP}, com um valor médio de 1208 kWh/ton_{MP}.

Apesar de se verificar uma semelhança dos processos produtivos, de equipamentos de frio (são todos de compressão mecânica, apresentam as mesmas características e vida útil) e de tempo de fabrico, constatamos uma grande diferença no consumo de energia nos diferentes estabelecimentos, pelo que se depreende que alguns deles estão a consumir mais energia do que aquela que é necessária para realizar as suas actividades.

Nestes estabelecimentos o potencial de redução de consumo de energia estimou-se em cerca de 16,7%.

No gráfico da figura 4.36 também apresentamos o valor médio do consumo específico de energia eléctrica para as indústrias de fabrico de presunto de Espanha, que é de 336 kWh/ton_{MP} (EREN, 2008). Este valor encontra-se bastante abaixo do valor médio encontrado para a indústria portuguesa de fabrico de presunto, neste caso de 1208 kWh/ton_{MP}.

A grande diferença dos valores entre os dois países deve-se à diferença de metodologias na obtenção das condições ambientais utilizadas em algumas fases do processo produtivo, nomeadamente na fase de secagem e de estufagem do presunto. Em Espanha estas fases são realizadas em ambientes físicos com um forte aproveitamento das condições climáticas naturais. Em Portugal todas as fases do processo produtivo são realizadas em ambientes artificiais. De salientar que uma das indústrias estudadas (CP3) apresenta um valor de IEEE bastante inferior às restantes, pois as características das suas infra-estruturas permitem-lhe realizar as fases de secagem e estufagem em câmaras climáticas sem recurso a unidades de tratamento de ar e de executar o aquecimento das câmaras climáticas com energia térmica proveniente da queima de combustíveis.

A figura 4.37 apresenta a representação gráfica da matéria-prima por unidade de volume das câmaras de refrigeração em cada uma das categorias de estabelecimentos da fileira da carne.

Apesar de em cada categoria se praticarem estivas diferentes, dentro de cada uma delas são similares. Do gráfico da figura 4.37, constata-se que dentro da categoria dos estabelecimentos dos matadouros e das salsicharias existe uma grande amplitude dos valores deste indicador. A amplitude de MPVC resulta de vários factores, nomeadamente, deficiência na utilização das câmaras frigoríficas (verificamos várias câmaras a trabalhar a carga parcial), má gestão da produção e deficiente dimensionamento das infra-estruturas na fase de projecto (encontrando-se estas sobredimensionadas). Em qualquer dos casos, as consequências acarretam uma diminuição da eficiência energética das indústrias e em particular dos sistemas de refrigeração.

Analisando a ocupação do volume das câmaras (MPVC) para os diferentes estabelecimentos verifica-se que o valor médio deste indicador é de 2.57 ton_{MP}/m³ para os matadouros, 0.712 ton_{MP}/m³ para as salsicharias e finalmente 0.2 ton_{MP}/m³ para as indústrias de fabrico de presunto.

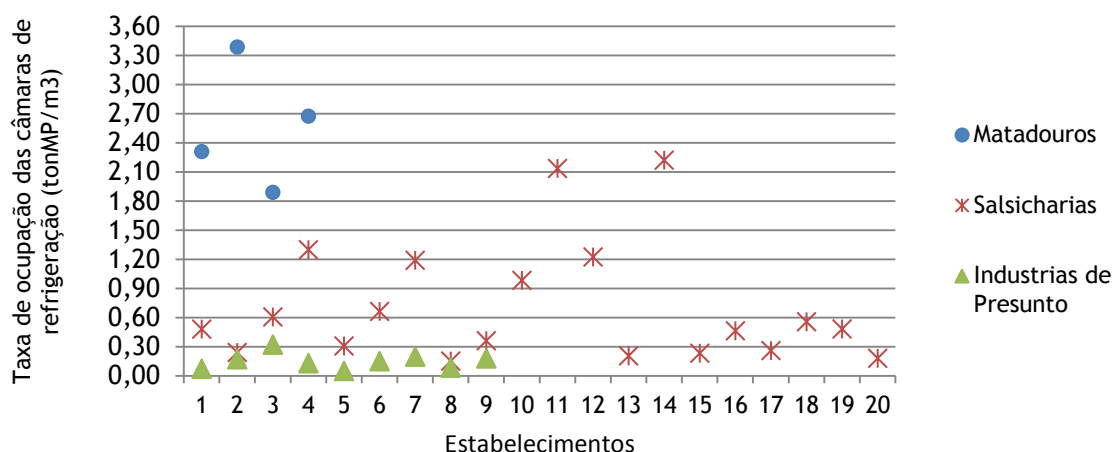


Figura 4.37 - Matéria-prima por unidade de volume das câmaras de refrigeração em cada uma das categorias de estabelecimentos da fileira da carne.

Também a potência eléctrica absorvida pelos compressores de refrigeração por unidade de volume (PECV), depende do tipo de actividade. Na Figura 4.38 apresentamos o gráfico com os resultados deste indicador, para cada uma das três categorias de indústrias de produtos cárneos.

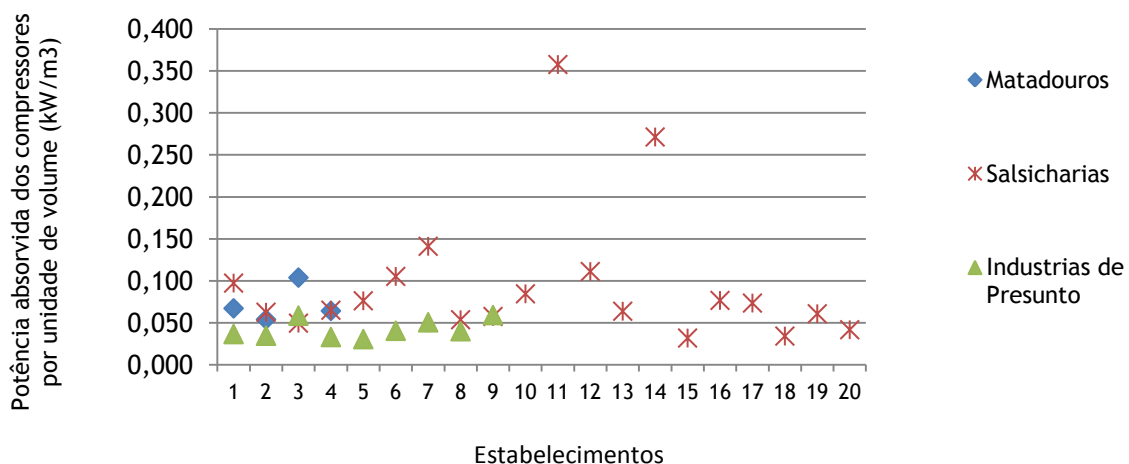


Figura 4.38 - Potência nominal dos compressores por unidade de volume das câmaras dos estabelecimentos.

Desta figura verificamos que a relação da potência eléctrica nominal dos compressores por unidade de volume das câmaras de refrigeração (PECV) é ligeiramente superior para os vários estabelecimentos industriais das categorias de matadouros relativamente aos de fabrico de presunto, sendo os seus valores médios de $0,072 \text{ kW/m}^3$ e $0,043 \text{ kW/m}^3$, respectivamente.

No entanto para a maioria dos estabelecimentos da categoria de salsicharias observa-se também uma certa similaridade nos valores de PECV, mas constata-se uma maior amplitude na variação deste indicador, com especial destaque para dois deles que apresentam resultados atípicos (indústria 11 e 14). A maior amplitude da gama de valores deste indicador significa que não

existe uma regra uniforme no processo de dimensionamento dos sistemas de refrigeração para os estabelecimentos desta categoria, proporcionando eventuais sobredimensionamentos ou subdimensionamentos dos sistemas. Este facto contribui por um lado para aumentar os consumos de energia e, por outro, para dificultar a obtenção das condições ambientais recomendadas para o interior das câmaras de refrigeração. O valor médio deste indicador, não entrando com o resultado das duas indústrias consideradas atípicas é de 0.072 kW/m^3 , similar ao obtido para os matadouros. Apesar do valor médio do indicador (PECV) ser semelhante para os estabelecimentos de matadouros e de salsicharias, seria de esperar que este indicador fosse, em média, maior para os matadouros uma vez que estes necessitam de uma maior potência frigorífica por unidade de volume das câmaras (para realizar o arrefecimento rápido das carcaças dos animais, desde a temperatura inicial de 38 a 40 °C, para valores inferiores a 7 °C). Na prática este aumento ocorre porque as carcaças ocupam apenas cerca de 20 a 25 % do volume real das câmaras (IIF, 2008), contribuindo assim para o aumento do resultado do indicador. Nas indústrias de salsicharias, como só se verificam operações de conservação em frio ou de secagem requer-se menor potência frigorífica por unidade de volume das câmaras.

4.2. FILEIRA DOS LACTICÍNIOS

4.2.1. Classificação dos estabelecimentos

Os estabelecimentos de lacticínios em estudo enquadram-se, de acordo com o licenciamento industrial atribuído pelas entidades licenciadoras, dentro do tipo 2 e 3. Esta classificação resulta do facto dos estabelecimentos possuírem potências eléctricas contratadas e potência térmica superiores a 40 KVA e 2222,2 kW, para o tipo 2 e potências eléctricas contratadas e potência térmica inferiores a 40 KVA e 2222,2 kW, para o tipo 3.

Em termos económicos, 22 estabelecimentos apresentam um volume de negócios compreendido entre 0 e 2 milhões de euros (71%) e os restantes 9 apresentam entre 2 a 10 milhões de euros (29%).

Quanto ao número de trabalhadores, constata-se que 18 estabelecimentos têm ao serviço entre 10 a 49 trabalhadores (58%), que 12 estabelecimentos têm entre 1 a 9 trabalhadores (39%) e 1 estabelecimento tem entre 50 a 99 trabalhadores (3%).

O conjunto destes estabelecimentos empregam um total de 559 trabalhadores o que equivale a uma média de 18 trabalhadores por unidade industrial. Este valor é bastante acima da média de trabalhadores ao serviço das indústrias de Portugal, que é referido como sendo de 3,5 pessoas por indústria, espelhando bem a importâncias destes estabelecimentos no contexto da economia nacional, à semelhança dos resultados que obtivemos para a fileira dos produtos de carne (INE, 2011b).

Ainda em termos económicos os estabelecimentos desta fileira são caracterizadas como micro e pequenas empresas. Este resultado está pois em sintonia com os valores que se verificam também no contexto nacional (INE, 2011b), onde a esmagadora maioria das empresas são Micro e Pequenas Empresas.

A informação sobre a classificação industrial e económica dos estabelecimentos apresenta-se no Anexo F.

4.2.2. Infraestruturas

Os estabelecimentos da fileira dos lacticínios, à semelhança dos estabelecimentos industriais da fileira da carne também estão obrigados a cumprir o conjunto de requisitos de higiene e de segurança alimentar para poderem desempenhar a sua actividade.

A edificação dos estabelecimentos de lacticínios é na sua maioria constituída por um único edifício com um único piso e, por vezes com caves e encontrando-se na maioria das vezes, localizados nas zonas industriais. Em geral, os edifícios estão divididos em vários compartimentos independentes e corredores localizados e organizados de uma forma a aproveitar o espaço e a salvaguardar as regras que regem este tipo de construção, sempre numa perspectiva de otimizar o processo produtivo.

A dimensão do estabelecimento depende da capacidade instalada, neste caso, da quantidade de litros de leite transformados diariamente, ou por outras palavras da quantidade diária de queijos produzidos. Os estabelecimentos de pequena dimensão laboram em média entre os 50 a 200 Kg/dia de queijos e os de maior dimensão laboram entre 200 a 750 Kg/dia de queijos.

Para o desenvolvimento da sua actividade os estabelecimentos são obrigados a tratar os subprodutos, nomeadamente o soro, que é um subproduto líquido resultante do fabrico do queijo. Este subproduto não pode ser lançado directamente nos sistemas de saneamento de domínio público.

De uma maneira geral, o soro é utilizado em alguns estabelecimentos para fabricar o requeijão, mas na maioria dos casos é utilizado para alimentação de animais ou tratado em estações de tratamentos de águas residuais. Actualmente existe tecnologia adequada para realizar o tratamento deste subproduto (separação das gorduras), mas este método é pouco utilizado por causa do elevado custo do equipamento e do seu funcionamento (custos de energia). Encontramos um sistema destes no estabelecimento L1.

Um exemplo típico de uma planta de um estabelecimento ou queijaria de fabrico artesanal e industrial apresentam-se nos anexo G e anexo H, respectivamente.

O gráfico da figura 4.39 apresenta a distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos de lacticínios. Deste gráfico constata-se que a maioria (13 estabelecimentos) apresenta uma área coberta até 1000 m² (42%), 11 estabelecimentos apresentam uma área coberta compreendida entre 1000 a 2000 m² (36%), 4 estabelecimentos apresentam uma área coberta entre 2000 a 3000 m² (13%) e finalmente 3 estabelecimentos com uma área coberta superior a 3000 m² (9%).

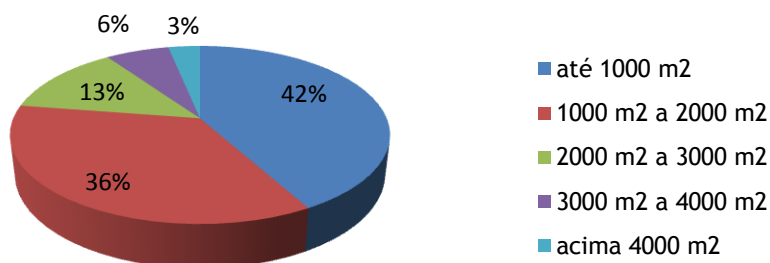


Figura 4.39 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos de lacticínios.

A figura 4.40 apresenta o gráfico com a distribuição percentual dos tipos de materiais usados na construção das envolventes dos estabelecimentos. As suas estruturas são formadas em pilares, vigas e lajes de betão armado. A envolvente da grande maioria destes estabelecimentos é construída em materiais de alvenaria, com ou sem caixa-de-ar. As paredes interiores e exteriores são rebocadas e pintadas, principalmente de branco. Os pavimentos têm um acabamento superficial com “resina Epoxy” ou em mosaico cerâmico antiderrapante, com uma inclinação mínima de 2%, para o escoamento das águas através de caixas sifonadas em aço inox.

De forma idêntica aos estabelecimentos da fileira da carne, também neste caso a qualidade dos materiais usados na construção quer da envolvente, como da cobertura são de uma enorme importância para impedir ganhos térmicos para o interior do estabelecimento e facilitar o cumprimento da legislação imposta pelo Regulamento (CE) n.º 852/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril, relativo à cadeia do frio, para além da higiene dos géneros alimentícios.

Conforme se observa no gráfico da figura 4.40, 87% dos estabelecimentos têm as envolventes em alvenaria, 10% em painéis de poliuretano e finalmente 3% em alvenaria e painéis de poliuretano.

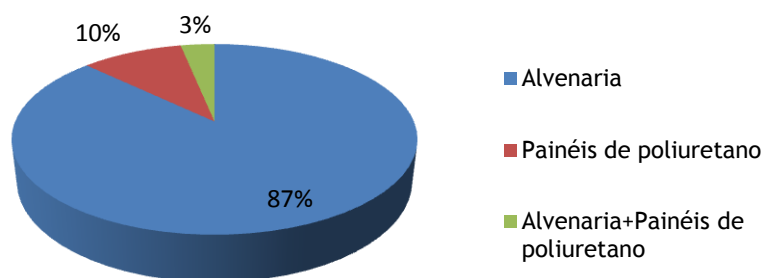


Figura 4.40 - Tipo de materiais utilizados nas envolventes dos estabelecimentos da fileira de lacticínios.

Da análise dos resultados deste gráfico observa-se que as infraestruturas são na sua grande maioria construídas em alvenaria.

O gráfico da figura 4.41 apresenta a relação percentual dos materiais utilizados nas coberturas dos estabelecimentos. Verifica-se que a maioria dos estabelecimentos tem uma cobertura de fibrocimento (58%). Quanto aos restantes, utilizam chapa metálica (16%), painéis de poliuretano (40 mm de espessura) (13%) e finalmente telha marselha (13%).

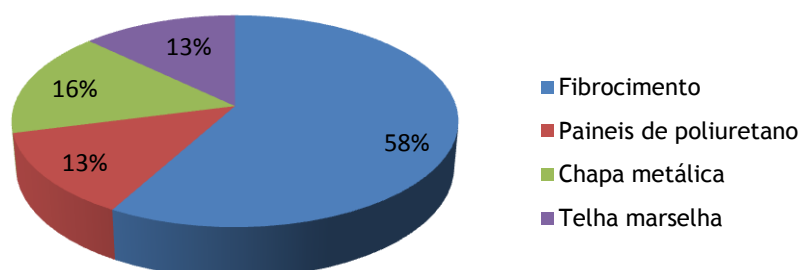


Figura 4.41 - Materiais usados nas coberturas dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

Em alguns estabelecimentos o desvão é utilizado para a instalação de equipamentos, nomeadamente, sistemas de refrigeração do tipo unidades de condensação, para passagem das condutas de transporte de água gelada ou glicolada e ainda água quente para as unidades de tratamento de ar que são utilizadas nas câmaras de cura de queijos.

O gráfico da figura 4.42 apresenta as características de ventilação do desvão dos estabelecimentos da nossa amostra de acordo com a informação recolhida nos trabalhos de campo. A sua maioria não possui qualquer possibilidade de ventilação, sendo neste caso espaços não ventilados (36%), outros possuem pequenas aberturas, permanecendo muitas vezes fechadas e são por isso muito pouco ventilados (35%) e alguns deles possuem janelas nas envolventes do desvão ou no telhado que lhe facilita a circulação de ar e por isso são muito ventilados (29%).

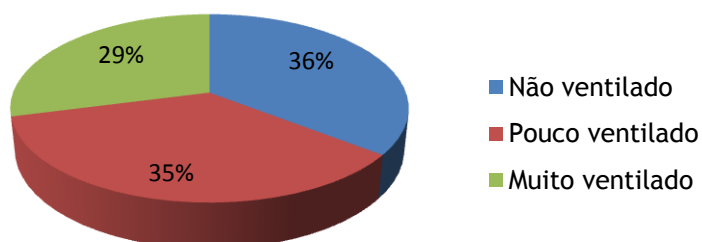


Figura 4.42 - Características de ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira de lacticínios.

Os resultados do gráfico 4.42 mostram que a maioria do desvão dos estabelecimentos está pouco ou nada ventilado, dando origem ao aquecimento desse espaço.

O gráfico que consta na figura 4.43 apresenta a idade dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios. Conforme se observa neste gráfico, cerca de 52% dos estabelecimentos apresentam uma idade compreendida entre os 11 e 20 anos e 36% deles têm uma idade ainda mais elevada, neste caso, superior a 21 anos. À semelhança dos estabelecimentos da fileira da carne só uma pequena percentagem apresenta uma idade entre os 1 e 10 anos (6%). Estes resultados confirmam que os estabelecimentos desta fileira já têm um uso apreciável, sendo que na prática muitos deles necessitam de obras de manutenção: durante os trabalhos de campo observaram-se envolventes com fissuras, portas danificadas e sem vedações e as coberturas danificadas.

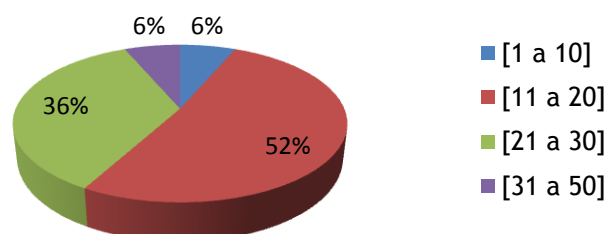


Figura 4.43 - Idade dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

Os resultados obtidos levam-nos a concluir que a maioria dos estabelecimentos já possui um elevado uso, sendo alguns deles bastante antigos.

O gráfico da figura 4.44 apresenta a distribuição percentual dos principais tipos de materiais utilizados na construção das câmaras de refrigeração da fileira dos lacticínios. Deste gráfico

conclui-se que o tipo de materiais mais usados são os painéis de poliuretano (48%). Também se verifica a existência de uma grande percentagem de câmaras com as paredes em alvenaria por vezes revestidas interiormente com painéis de poliuretano (39%). Neste caso constatamos só a existência de 13% de câmaras construídas em alvenaria.

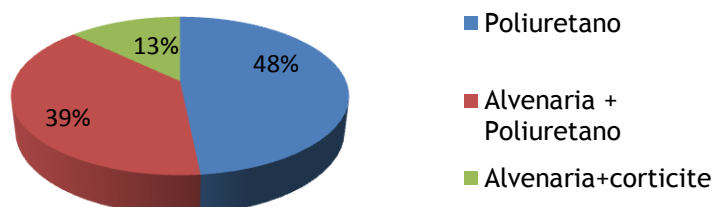


Figura 4.44 - Materiais utilizados nas câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

As espessuras das paredes das câmaras de refrigeração situam-se entre os 60 mm e os 100 mm. Os resultados da nossa avaliação mostram que 13 estabelecimentos possuem câmaras de refrigeração construídas com painéis de poliuretano com uma espessura de 60 mm (42%), 12 estabelecimentos possuem painéis de poliuretano com espessura de 80 mm (39%) e finalmente 6 estabelecimentos possuem câmaras com espessuras de 100 mm (19%). As espessuras das câmaras construídas em alvenaria são geralmente de 250 a 300 mm.

A disposição das câmaras de refrigeração e das câmaras de cura de queijo no interior dos estabelecimentos, assume grande importância por causa de eventuais transferências térmicas para o seu interior. Em condições óptimas as câmaras devem estar localizadas nas zonas do estabelecimento onde se registam menores ganhos térmicos, isto é com temperaturas mais baixas, nomeadamente nas zonas viradas a norte. Em relação a esta condição constatamos durante o levantamento da informação que em muitos casos esta regra não é respeitada, pois encontramos muitas câmaras de refrigeração localizadas em zonas contíguas à envolvente orientada a sul e sujeita a uma forte exposição solar.

No gráfico da figura 4.45, apresenta-se os resultados da nossa análise em relação à implantação das câmaras no interior dos estabelecimentos. Como resulta da figura, 52% das câmaras estão em localização considerada deficiente pelas razões apontadas atrás.

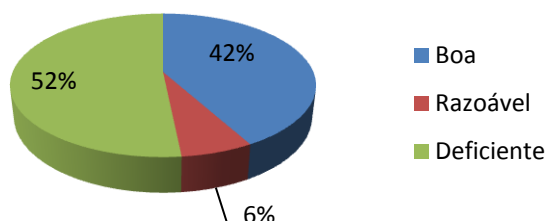


Figura 4.45 - Características da localização das câmaras de refrigeração.

Com base dos resultados apresentados no gráfico 4.45 conclui-se que a maioria das câmaras de refrigeração, não se encontram bem localizadas no interior dos estabelecimentos.

O gráfico apresentado na figura 4.46 sumariza as principais características das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios, em função do grau tecnológico. Dos 31 estabelecimentos em estudo, 13 estabelecimentos, os mais desenvolvidos tecnologicamente, possuem 108 câmaras de refrigeração, os restantes 18, de menor grau tecnológico, possuem 73 câmaras de refrigeração. Acresce ainda que, os estabelecimentos de produção industrial possuem em média 8 câmaras, com um volume de 264 m³ enquanto que os estabelecimentos de produção artesanal possuem em média 4 câmaras, com uma volumetria média de 104 m³.

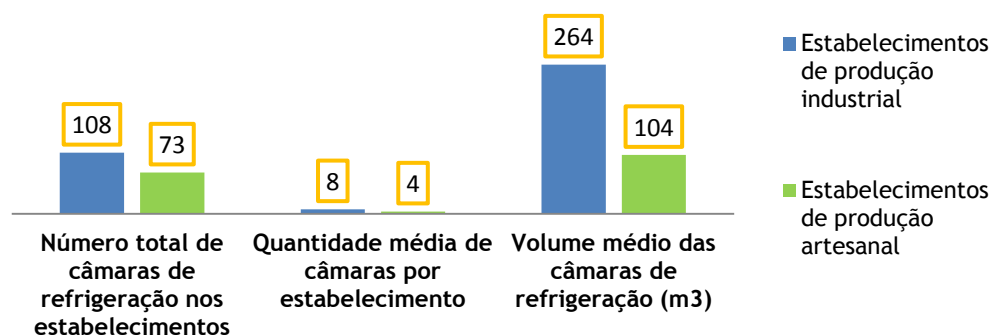


Figura 4.46 - Características das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

4.2.3. Actividade e processos produtivos

Os estabelecimentos da fileira dos lacticínios em análise têm como principal actividade o fabrico de queijo curado e em menor dimensão, o fabrico de queijo fresco e de requeijão.

As principais matérias-primas utilizadas no fabrico destes produtos são o leite de ovelha, o leite de cabra e alguma quantidade de leite de vaca. Utilizam-se ainda outros ingredientes tais como o sal, o coalho e algumas culturas se bem que em quantidades reduzidas.

O processo de fabrico do queijo curado pode ser realizado por duas vias: a artesanal e a industrial. Por via artesanal, faz-se uso de uma quantidade limitada de tecnologia, sendo algumas operações realizadas manualmente, enquanto por via industrial todas as operações são realizadas tecnologicamente de forma continua.

O gráfico apresentado na figura 4.47 permite verificar a distribuição percentual dos estabelecimentos em função do modo de fabrico e o grau de tecnologia usada no fabrico do queijo, que foi identificada durante o trabalho de campo. Conforme se constata neste gráfico, 58% dos estabelecimentos efectuam o fabrico do queijo através do modo artesanal enquanto 42% utilizam o método industrial.

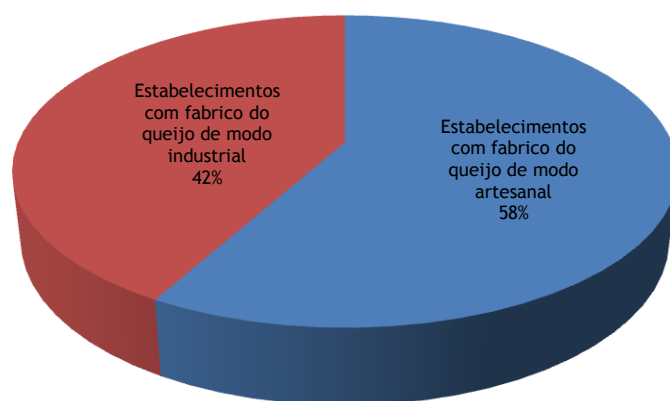


Figura 4.47 - Distribuição percentual do nível tecnológico dos estabelecimentos de lacticínios.

Alguns estabelecimentos transformam o leite das próprias explorações agrícolas, juntamente com o leite de explorações vizinhas. Outros estabelecimentos, de maior dimensão trabalham o leite do conjunto de explorações agrícolas de uma dada região. A actividade de muitos deles é sazonal e nos períodos em que não à produção de leite os estabelecimentos chegam a encerrar. O gráfico apresentado na figura 4.48 exemplifica o perfil da actividade anual de alguns dos estabelecimentos. Conforme se observa neste gráfico, a quantidade de leite transformado varia ao longo do ano, sendo o período alto durante os meses de Março a Maio e os períodos mais baixos entre Julho a Setembro, chegando mesmo o estabelecimento L9 a encerrar.

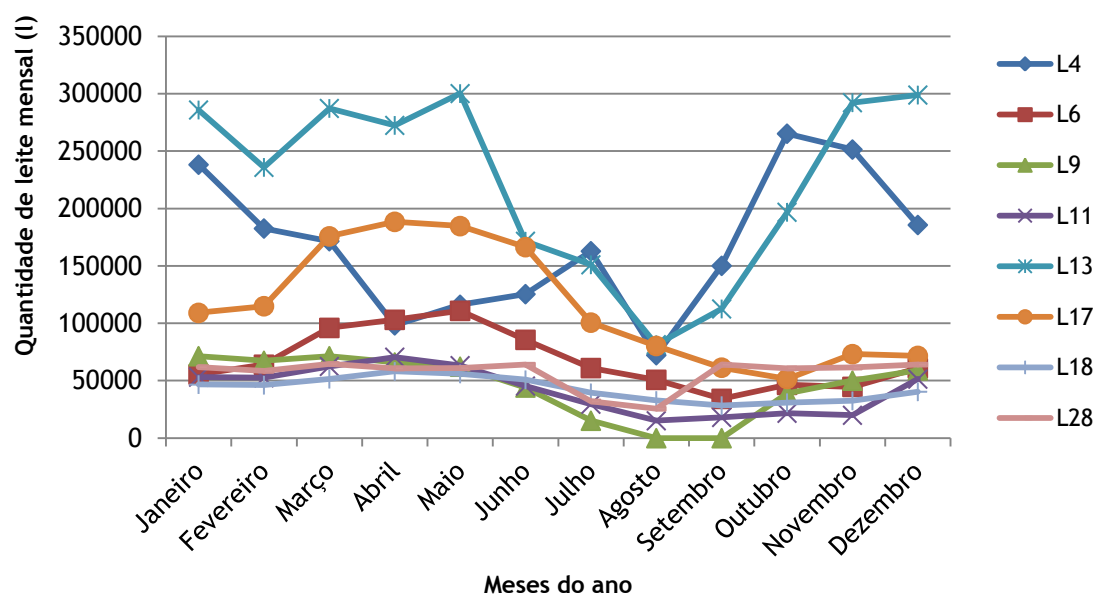


Figura 4.48 - Perfil da actividade anual dos estabelecimentos de lacticínios.

Na Tabela 4.10 apresentam-se os resultados da actividade dos estabelecimentos relativos ao ano de 2008. Nesta tabela também se indica o resultado da classificação dos estabelecimentos quanto ao modo de fabrico do queijo.

Tabela 4.10 - Resultados da actividade dos estabelecimentos da fileira de lacticínios durante o ano de 2008.

Estabelecimento	Matérias-primas	Produtos	Matéria Prima anual (l)	Produção anual (Kg)	Tempo de fabrico (dias)	Modo de fabrico
L1	Leite, sal e coalho	Queijo curado	2664491	485165	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L2	Leite, sal e coalho	Queijo curado e fresco	874614	158582	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L3	Leite, sal e coalho	Queijo curado e fresco	1354182	234851	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L4	Leite, sal e coalho	Queijo curado , Requeijão	2020016	404403	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L5	Leite, sal e coalho	Queijo curado Requeijão	2100309	335332	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L6	Leite, sal e coalho	Queijo curado	813267	154971	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L7	Leite, sal e coalho	Queijo curado	580432	96743	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L8	Leite, sal e coalho	Queijo curado Requeijão	11037016	1336279	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L9	Leite, sal e coalho	Queijo curado	545949	99546	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L10	Leite, sal e coalho	Queijo curado	16910500	2014466	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L11	Leite, sal e coalho	Queijo curado	503186	100066	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L12	Leite, sal e coalho	Queijo curado	1376127	272393	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L13	Leite, sal e coalho	Queijo curado	2916700	525642	Até 60 dias	Fabrico Industrial
L14	Leite, sal e coalho	Queijo curado	244280	36018	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L15	Leite, sal e coalho	Queijo curado	587473	98877	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L16	Leite, sal e coalho	Queijo curado	445500	74360	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L17	Leite, sal e coalho	Queijo curado e requeijão	1378244	238853	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L18	Leite, sal e coalho	Queijo curado	513614	101075	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L19	Leite, sal e coalho	Queijo curado	84433	16896	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L20	Leite, sal e coalho	Queijo curado	187583	32124	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L21	Leite, sal e coalho	Queijo curado e fresco	141300	24855	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L22	Leite, sal e coalho	Queijo curado	549850	98621	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L23	Leite, sal e coalho	Queijo curado	254850	49805	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L24	Leite, sal e coalho	Queijo curado	38000	6347	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L25	Leite, sal e coalho	Queijo curado	753500	141374	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L26	Leite, sal e coalho	Queijo curado e requeijão	329219	59713	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L27	Leite, sal e coalho	Queijo curado	355903	65335	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L28	Leite, sal e coalho	Queijo curado e requeijão	678800	112400	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L29	Leite, sal e coalho	Queijo curado	106535	19954	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L30	Leite, sal e coalho	Queijo curado	1794779	268109	Até 60 dias	Fabrico Artesanal
L31	Leite, sal e coalho	Queijo curado	2723888	523441	Até 60 dias	Fabrico Artesanal

Como se pode observar na Tabela 4.10, a quantidade de leite transformado anualmente pelos estabelecimentos, varia desde 38000 l (L24) (estabelecimento com fabrico de modo artesanal) até 16910500 l (L10) (estabelecimento com fabrico de modo industrial), dos quais resulta uma quantidade de produção de queijo de 6,5 ton. e 2014 ton., respectivamente.

As operações mais comuns do processo produtivo do fabrico do queijo curado são a recolha e recepção do leite, filtração/clarificação, arrefecimento e armazenagem, tratamentos térmicos (termização e pasteurização) e homogeneização, fabrico (aquecimento do leite, adição do coalho e culturas, coagulação e descarga), pré-prensagem, enformagem, prensagem, salga, cura (1ª Fase, 2.ª Fase) e finalmente o embalamento, conservação e distribuição.

Como regra geral o processo produtivo do queijo curado tem um tempo de duração média entre os 30 e 60 dias.

Na figura 4.49 apresenta-se o diagrama típico do processo de fabrico do queijo curado e do requeijão dos estabelecimentos que são objecto de estudo na presente tese.

A primeira operação deste processo é a recepção do leite no estabelecimento. Ela engloba previamente a recolha do leite proveniente das explorações agrícolas, através de camiões dotados com cisternas isotérmicas de material inox, ou com cisternas frigoríficas apetrechadas com sistemas de refrigeração, para manter a sua temperatura inferior a 4°C.

Quando a produção do leite cru é reduzida, ao chegar ao estabelecimento não chega a ser armazenado e vai directamente para a operação de fabrico do queijo. A maioria dos estabelecimentos realizam o fabrico do queijo com leite cru, isto é sem sofrer qualquer tratamento térmico. Porém, nos casos em que é necessário o armazenamento do leite no interior dos depósitos por períodos superiores a 24 horas, este é submetido previamente a um tratamento térmico denominado termização, o qual consiste num aquecimento do leite até cerca de 57 a 68 °C (durante 15 a 20 segundos) e um imediato arrefecimento nos permutadores de placas, até chegar a 4°C, sendo posteriormente armazenado nos reservatórios.

No caso de se produzir queijo fresco o leite sofre um tratamento térmico de pasteurização, que consiste em aumentar a sua temperatura num permutador de placas até 75°C aproximadamente, durante 16 segundos, sofrendo posteriormente um arrefecimento.

A segunda operação engloba a operação de fabrico que consiste na coagulação do leite, o fabrico do queijo, a prensagem e a desmoldagem e o fabrico do queijo curado. Terminada a prensagem, o queijo é retirado da prensa e é salgado.

A salga do queijo é realizada por duas vias: através de uma salmoura (água mais sal) contida no interior de um tanque, a uma temperatura compreendida entre 6 a 12°C, variando com o estabelecimento, onde os queijos são colocados e aí permanecem um determinado período de tempo, ou então é por via manual, sendo neste caso o sal colocado manualmente em ambas as superfícies do queijo.

Depois de os queijos se encontrarem salgados, são colocados nas prateleiras de carros de inox que são posteriormente colocados no interior das câmaras de cura. A cura do queijo é uma das principais fases do processo e envolve duas ou três fases, consoante o estabelecimento.

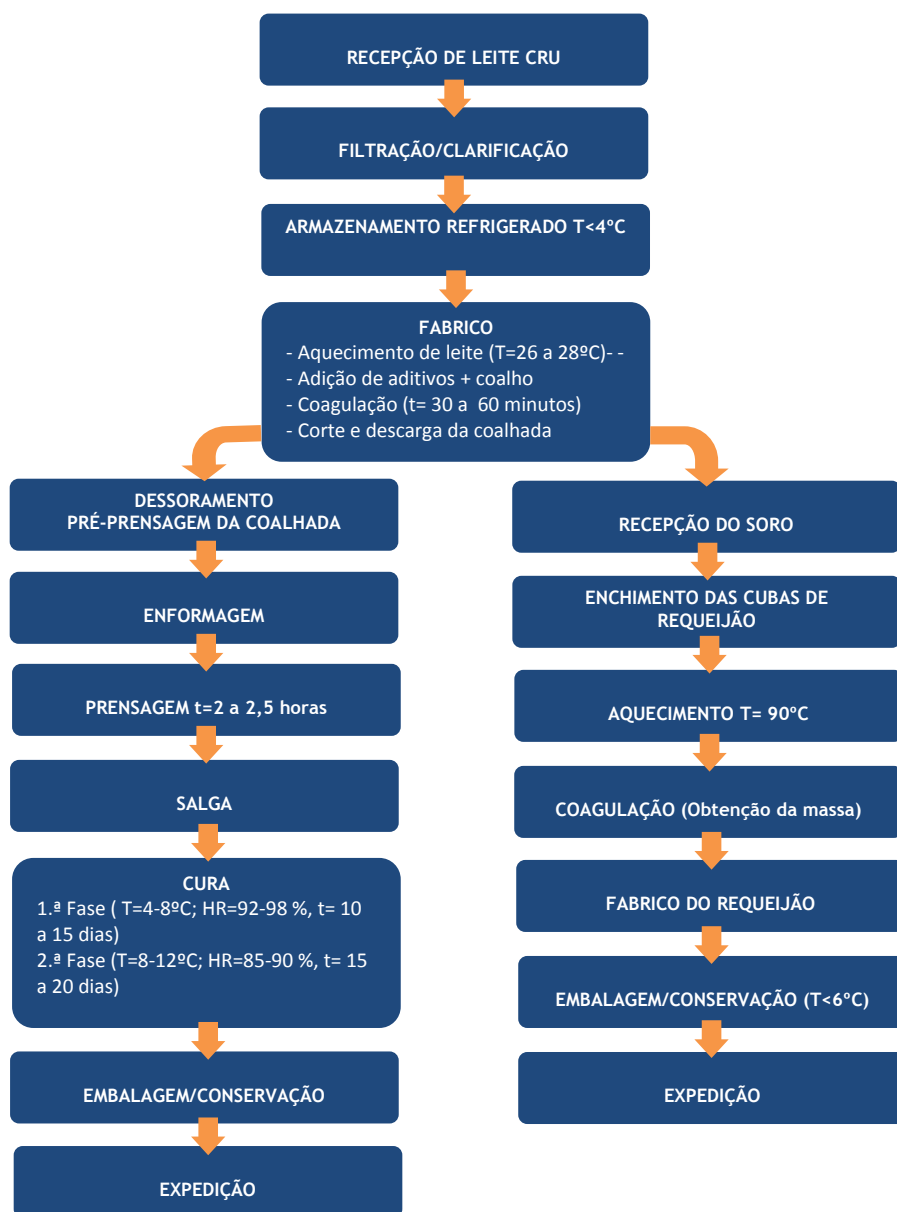


Figura 4.49 - Diagrama esquemático do processo produtivo do fabrico do queijo e do requeijão.

A primeira fase é aquela onde se utilizam temperaturas mais baixas e humidades relativas mais elevadas. Estas condições são desejadas para proporcionar a fermentação do queijo e o início da sua desidratação, mediante uma corrente do ar movimentado pela unidade de tratamento de ar. As condições ambientais no interior da câmara de cura nesta fase são em regra uma temperatura entre os 4°C a 8°C e uma humidade relativamente elevada (92 a 98%), durante um período de tempo entre 10 a 15 dias.

Durante a segunda fase, as condições ambientais no interior da câmara de atmosfera controlada são em geral uma temperatura compreendida entre 8 a 12 °C e uma humidade relativa entre 85 a 90%, entre 15 a 20 dias.

Passado este período de tempo o queijo é conservado numa câmara de cura ou câmara normal a uma temperatura entre 4 °C a 10 °C e uma humidade entre 50 a 60%, e com uma velocidade do ar compreendida entre os limites de 0,2m/s a 0,4m/s.

Finalmente o queijo é armazenado, embalado e rotulado e mantido nas câmaras de conservação, pronto para expedição.

As duas fases de maturação e cura do queijo podem ser efectuadas na mesma câmara de atmosfera controlada porque esta possui a unidade de tratamento do ar com uma capacidade para obtenção das condições ambientais desejadas para ambas as fases. Contudo, na maioria dos estabelecimentos realiza-se a mudança dos queijos de umas câmaras para outras, e entre esta mudança realiza-se a lavagem do queijo na sala de lavagens específica para o efeito.

As câmaras de cura do queijo são muito similares às da cura de presunto, embora sejam mais baixas devido à inviabilidade de se colocarem carros de queijos em cima uns dos outros. As unidades de tratamento de ar são também similares.

Em relação ao fabrico do requeijão, a matéria-prima utilizada é o soro resultante do fabrico do queijo. Coloca-se o soro numa marmita construída em aço inoxidável, e efectua-se o seu aquecimento até uma temperatura de cerca de 90 a 95 °C. Ao atingir esta temperatura, mantém-se permanentemente a sua agitação, durante 2 horas a 2 horas e 30 minutos. Após a precipitação proteica, os flocos são retirados da marmita com o auxílio de uma escumadeira e colocados nos moldes e são armazenados na câmara frigorífica a uma temperatura de 4 a 6 °C e a uma humidade relativa de 85 a 90%.

4.2.4. Condições ambientais das câmaras de refrigeração

No gráfico da figura 4.50 apresentamos os valores da temperatura e humidade relativa que registamos no interior das 181 câmaras de refrigeração da fileira dos lacticínios. Conforme constatamos do gráfico os valores de temperatura e de humidade relativa encontram-se entre os 4 e 14 °C e entre 55 e 92%, respectivamente. Estes valores abrangem as fases que integram o processo de fabrico do queijo.

Do gráfico observa-se que o maior número de valores da temperatura se verifica entre os 4 e os 8°C por ser essa a temperatura que é utilizada nas câmaras de refrigeração na primeira fase da cura em conjunto, com valores elevados da humidade relativa (92 a 98%). Depois, na segunda fase de cura do queijo, a temperatura sobe lentamente até ao 10°C e a humidade relativa desce até próximo dos 85%. Já no final da cura a temperatura pode chegar aos 14°C e a humidade relativa desce até 65 ou 60%.

Os valores da humidade relativa que se verificam abaixo dos 60% ocorrem nas câmaras de conservação de queijo.

Os valores negativos da temperatura correspondem a operações de conservação do queijo no estado de congelação (-18°C).

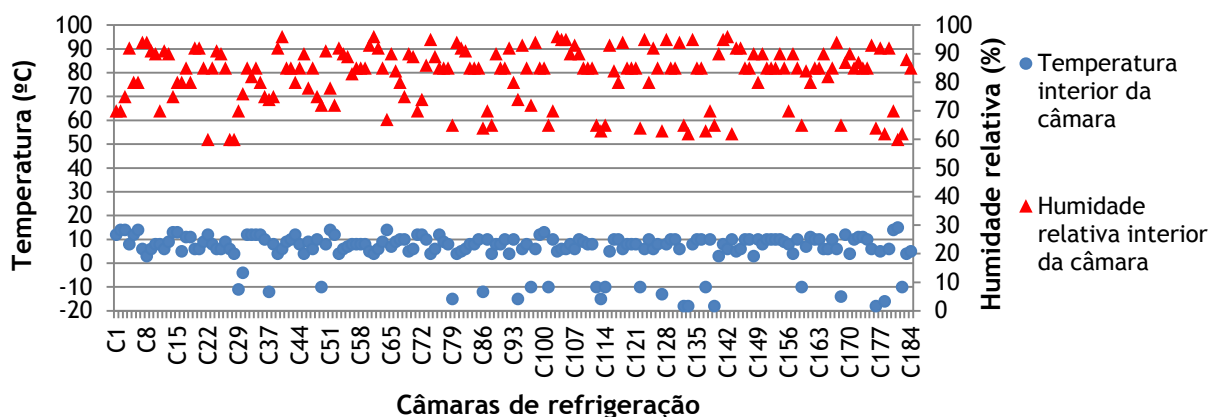


Figura 4.50 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração da fileira de lacticínios.

4.2.5. Características dos sistemas de refrigeração

Tendo em conta o processo de fabrico dos produtos nos estabelecimentos de lacticínios, o frio é utilizado em várias fases do mesmo. Em primeiro lugar tem uma larga aplicação na conservação do leite, quer ainda dentro da exploração agrícola, como no estabelecimento industrial, em segundo lugar no processo de arrefecimento do leite quer quando este chega à unidade industrial como quando há lugar a algum tratamento térmico (termização ou pasteurização), em terceiro lugar no arrefecimento das salmouras que são utilizadas para a salga do queijo, caso existam, em quarto lugar durante as fases de cura do queijo (1.^a e 2.^a fase) e finalmente na conservação do queijo curado, queijo fresco e requeijão. Acresce ainda que, apesar de não ser exigida a climatização das salas de fabrico e dos corredores dos estabelecimentos, em alguns casos, esta operação é realizada para garantir condições ambientais adequadas aos trabalhadores e impedir a entrada de ar muito quente para o interior das câmaras de refrigeração.

Durante os períodos de maior fabrico, quando existe dificuldades de escoamento do produto, o queijo é conservado em câmaras de congelação (-18 a -10°C).

Na figura 4.51 apresenta-se o gráfico com o tipo de operações de frio que são realizadas nos estabelecimentos de fabrico de queijo curado.

Conforme se constata neste gráfico: em todos os estabelecimentos desta fileira são realizadas operações de refrigeração (100%), para o arrefecimento do leite e conservação dos produtos no interior das câmaras de refrigeração; em 45% dos estabelecimentos são realizados operações de congelação de produtos (queijo curado); em 16% dos estabelecimentos é utilizada a climatização de alguns espaços ambientais; e em 94% dos estabelecimentos utilizam-se unidades de tratamento de ar para realizar as operações de cura do queijo.

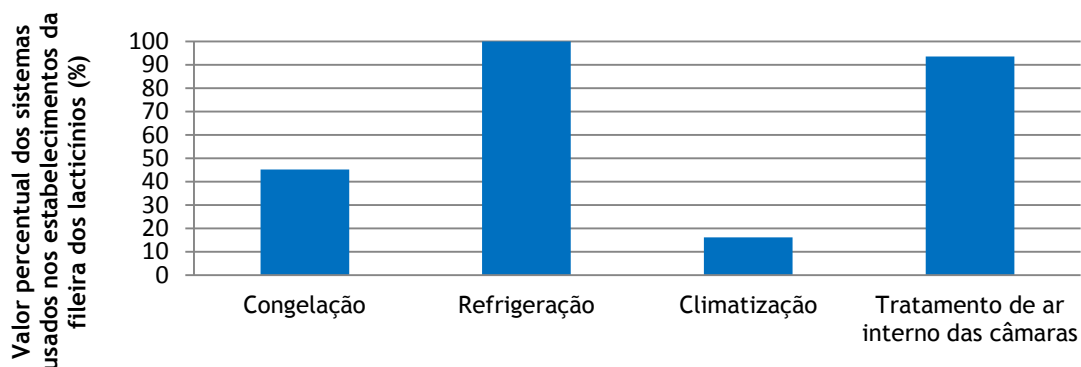
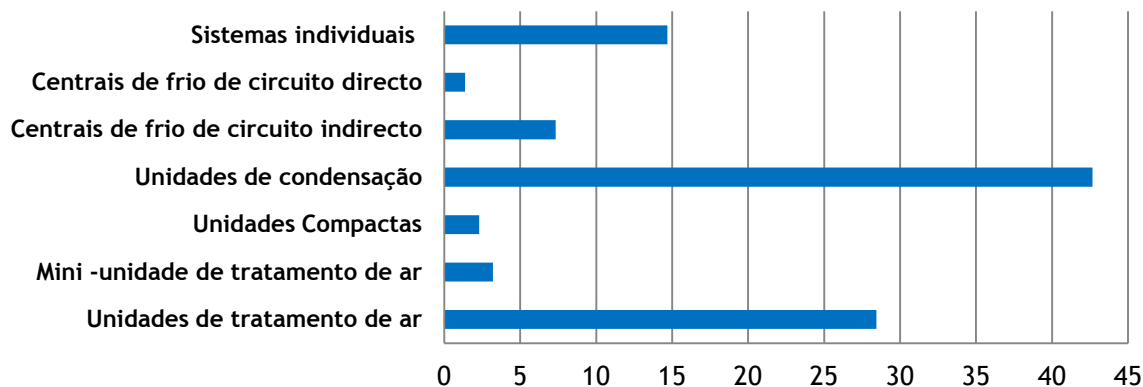


Figura 4.51 - Valores percentuais das operações de frio que se realizam nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

Em relação aos sistemas de frio que são utilizados nos diferentes estabelecimentos, encontramos uma grande variedade de equipamentos e de soluções para satisfazer as necessidades de cada um. Os principais tipos de sistemas de frio, que encontramos nos estabelecimentos de lacticínios são:

- i) Nos estabelecimentos de pequena dimensão e de fabrico artesanal encontramos os seguintes sistemas de refrigeração: unidades de condensação acopladas nos tanques de leite; unidades de condensação; sistemas individuais; mini-unidades de tratamento de ar; e unidades compactas. Estes sistemas eram constituídos com um compressor alternativo hermético (só nos tanque de leite) ou semi-hermético nos restantes casos, ligados a um condensador arrefecido a ar por convecção forçada, a abastecer os evaporadores instalados no tanque de leite e no interior das câmaras de refrigeração. O fluido frigorigéneo usado era R22 ou R404a. Encontramos estes sistemas nos estabelecimentos L15, L16, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L28, L29, L30 e L31.
- ii) Nos estabelecimentos de média dimensão e baixa tecnologia encontramos os sistemas de produção de frios referidos na alínea anterior e ainda algumas unidades de tratamento de ar. As características destes sistemas encontram-se descritas na secção 2.3.4. Neste caso, estes sistemas encontram-se nos estabelecimentos L1, L2, L4, L7, L9, L11, L14, L17, L18, L26 e L27.
- iii) Nos estabelecimentos de maior dimensão e fabrico industrial encontramos todos os equipamentos já referidos anteriormente e ainda centrais de circuito directo e centrais de circuito indirecto. As centrais de circuito indirecto serviam para arrefecer a água gelada ou os bancos de gelo que posteriormente servia para conservar o leite e arrefecer as câmaras de refrigeração. Ainda encontramos sistemas de produção de frio de temperaturas negativas, para congelação do queijo. As características destes sistemas encontram-se igualmente descritas na secção 2.3.4 da presente tese. Estes sistemas encontraram-se instalados nos estabelecimentos L3, L5, L6, L8, L10, L12 e L13.

Na figura 4.52 apresenta-se os diferentes tipos de sistemas de refrigeração usados nos estabelecimentos de lacticínios.



Relação percentual do tipo de sistema de frio usado na fileira dos lacticínios (%)

Figura 4.52 - Tipos de sistemas de frio, usados na fileira dos lacticínios.

Na fileira dos lacticínios são usados uma grande variedade de sistemas de produção de frio. De entre eles, destaca-se a unidade de condensação, que é muito usada nos pequenos e médios estabelecimentos pelas características que lhe são conhecidas e as unidades de tratamento de ar por ser um equipamento fundamental para realizar a desumidificação e secagem do queijo.

No contexto do nosso estudo, verificamos no total 217 sistemas de produção de frio dos quais 201 são sistemas de expansão directa e 16 de circuito indirecto. Estes sistemas estão repartidos da seguinte forma: 32 sistemas individuais de produção de frio (14,7%), 3 centrais de frio de circuito directo (1,4%), 16 centrais de frio de circuito indirecto (7,3%), 93 unidades de condensação (42,6%), 5 unidades compactas (2,3%), 7 mini-unidades de tratamento do ar (3,2%) e finalmente 62 unidades de tratamento de ar (28,4%).

O conjunto destes sistemas de frio, incluindo as unidades de tratamento de ar (tipo bomba de calor), utiliza 225 compressores dos quais 221 são da categoria de alternativos e 4 da categoria de *Scroll*. Em termos de características construtivas, 52 são herméticos (23%), 148 são semi-herméticos (66%) e 25 são abertos (11%), conforme se observa no gráfico da figura 4.53.

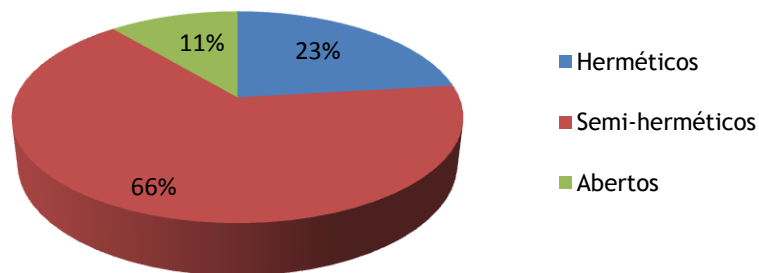


Figura 4.53 - Distribuição percentual do tipo de compressores usados na fileira dos lacticínios.

No gráfico da figura 4.54, apresenta-se a informação relativa ao tempo de operação dos compressores. Conforme se constata no gráfico, 54% dos compressores (121 compressores) apresentavam um tempo de operação superior a 20 anos, 34% entre 20 e 10 anos (76 compressores) e finalmente 12% menos de 10 anos (28 compressores).

Os resultados do gráfico 4.54 mostram que os compressores usados nesta fileira já possuem um elevado uso o que é indiciador de um factor que contribui negativamente para o seu desempenho energético.

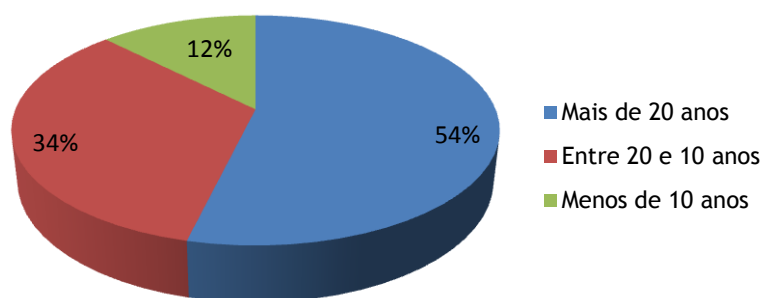


Figura 4.54 - Tempo de operação dos compressores usados na fileira dos lacticínios.

Em relação aos fluidos frigorígenos utilizados nos sistemas de refrigeração, verificamos que nesta fileira, à semelhança da fileira da carne, o R22 também é o fluido mais usado (45%), seguido do R404a (26%), do R134a (20,5%), a Água (5%) e Água+glicol (3%), e finalmente o Amoníaco (0,5%), conforme se observa no gráfico da figura 4.55.

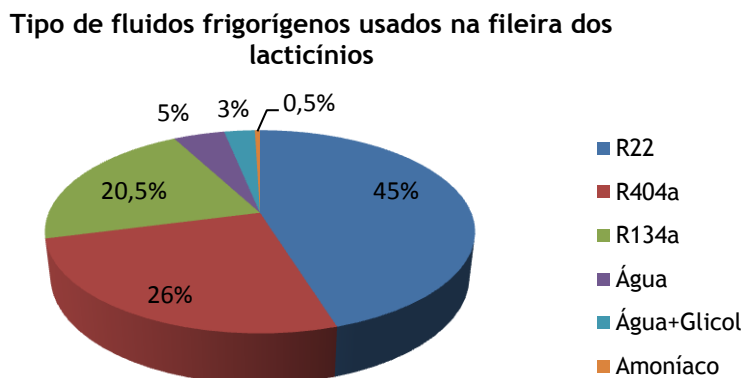


Figura 4.55 - Tipos de fluidos frigorígenos usados na fileira dos lacticínios.

Apesar de se verificar uma grande variedade de fluidos frigorígenos ainda existe uma grande percentagem do R22. Este fluido tem efeitos sobre a camada do Ozono e tem que ser retirado até dia um de Janeiro de dois mil e quinze, em cumprimento de acordos internacionais.

Apesar de se apresentarem em menor percentagem, os fluidos frigorigéneos secundários água e água mais glicol assumem uma grande importância nos grandes estabelecimentos, principalmente no processo de arrefecimento do leite.

O amoníaco só foi encontrado num único estabelecimento, o de maior dimensão, o que mostra que se trata de um fluido utilizado pelos grandes estabelecimentos industriais conforme referido por UNEP (2011).

Em relação aos condensadores, constata-se que nesta fileira, tal como na fileira da carne, são quase todos arrefecidos a ar por convecção forçada. O conjunto dos sistemas de refrigeração desta fileira contabiliza 218 condensadores dos quais 2 são condensadores evaporativos (1%).

No gráfico da figura 4.56 apresenta-se a distribuição percentual do tipo de condensadores que são utilizados nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

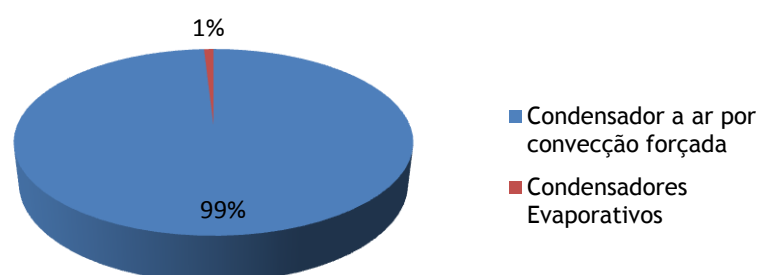


Figura 4.56 - Tipo de condensadores usados na fileira dos lacticínios.

Como se constata do gráfico 4.56 os condensadores são quase na totalidade permutadores de calor do tipo de serpentina de tubos com alhetas que não são os que melhor contribuem para aumentar a eficiência energética dos sistemas de refrigeração. Em caso de uma deficiente manutenção o problema agrava-se mais, conforme verificamos durante o trabalho de campo.

4.2.6. Consumos de energia

Na Tabela 4.11 apresentam-se os tipos de energia utilizados nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios e os consumos totais de energia primária realizados pelos mesmos durante o ano de 2008.

Nesta tabela, também se apresentam os valores da energia primária resultante do consumo de electricidade e dos outros combustíveis e ainda o equivalente das toneladas de dióxido de carbono lançado para o ambiente.

Durante o ano 2008, os 31 estabelecimentos de lacticínios consumiram um total de 3462 tep, dos quais 2014 tep dizem respeito ao consumo de electricidade e 1448 tep são resultantes do consumo de outros combustíveis. Da utilização desta quantidade de energia resultou a emissão para a atmosfera de 7858 toneladas de dióxido de carbono.

Tabela 4.11 - Tipos e consumos de energia nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios.

Estabelecimentos	Tipos de energia usada	Consumo de energia eléctrica (Tep)	Consumo de combustíveis (Tep)	Consumo total de energia (TEP)	PDC (ton.CO2)
L1	Electricidade, Gás propano	144,6	77,4	222,0	520,3
L2	Electricidade, Gasóleo	45,3	33,2	78,5	201,9
L3	Electricidade, Gás propano	60,2	19,7	79,9	183,7
L4	Electricidade, Gás propano	104,9	89,8	194,7	466,4
L5	Electricidade, Gás propano	131,3	127,7	259,0	623,9
L6	Electricidade, Gás propano	92,5	26,7	119,2	272,9
L7	Electricidade, Gasóleo	62,2	39,1	101,3	257,0
L8	Electricidade, Nafta	302,5	306,1	608,6	1600,7
L9	Electricidade, Gás propano	39,2	18,0	57,2	133,4
L10	Electricidade, Nafta	476,8	318	794,8	2021,0
L11	Electricidade, Gasóleo	28,9	16,5	45,4	114,4
L12	Electricidade, Gás propano	108,7	71,4	180,1	426,0
L13	Electricidade, Gás propano	123,4	74,5	197,9	466,5
L14	Electricidade, Gás propano	15,5	3,39	18,9	42,8
L15	Electricidade, Gasóleo	9,9	6,4	16,3	41,4
L16	Electricidade, Gás propano	13,0	6,4	19,4	45,5
L17	Electricidade, Gás Natural	40,3	49,6	89,9	221,3
L18	Electricidade, Gás propano	17,4	13,4	30,8	73,7
L19	Electricidade, Gás propano	3,7	1,4	5,1	11,7
L20	Electricidade, Gasóleo	11,1	7,6	18,7	48,0
L21	Electricidade, Gás Natural	3,8	1,8	5,6	13,5
L22	Electricidade, Gasóleo	8,6	4,3	12,9	32,0
L23	Electricidade, Gás propano	6,6	5,6	12,2	29,3
L24	Electricidade	4,6	0	4,6	10,0
L25	Electricidade, Gás propano	17,0	6,5	23,5	54,6
L26	Electricidade, Gás propano	14,4	14,1	28,5	68,9
L27	Electricidade, Gás propano	11,9	6,2	18,1	42,5
L28	Electricidade, Gás propano	18,2	23,7	41,9	102,5
L29	Electricidade, Gás propano	2,3	0,9	3,2	7,6
L30	Electricidade, Gás Natural	43,9	37,9	81,9	197,9
L31	Electricidade, Gás propano	50,0	40,2	90,2	215,5

Da análise do consumo global de energia dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios resulta que 58% do consumo corresponde a energia eléctrica e que os restantes 42% correspondem aos outros combustíveis.

Os resultados da Tabela 4.11 também nos permitem concluir que a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera depende do tipo de combustível utilizado. O indicador de produção de dióxido de carbono (PDC) apresenta um valor superior no estabelecimento L20 comparativamente ao do estabelecimento L16 em virtude do estabelecimento L20 consumir gásóleo e o outro estabelecimento consumir gás propano.

A figura 4.57 apresenta o gráfico com a distribuição percentual dos consumos dos diferentes tipos de energia nos estabelecimentos de lacticínios.

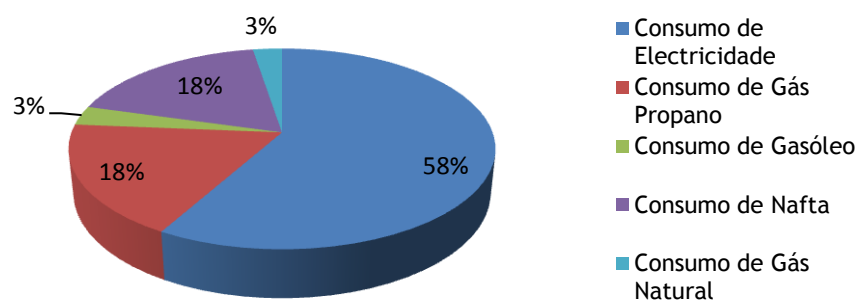


Figura 4.57 - Consumos dos vários tipos de energia nos estabelecimentos da fileira dos lacticínios

Em relação aos combustíveis, o que contribui mais para a satisfação das necessidades energéticas dos estabelecimentos são o gás propano e a nafta, ambos com 18%, seguidos do gás natural e do gasóleo com 3% cada um.

Na figura 4.58 apresenta-se o gráfico com a relação percentual dos consumos de energia eléctrica e outros combustíveis para os estabelecimentos de fabrico industrial. De acordo com a figura, os valores médios anuais obtidos para cada tipo de energia, é de 62% e de 38%, respectivamente.

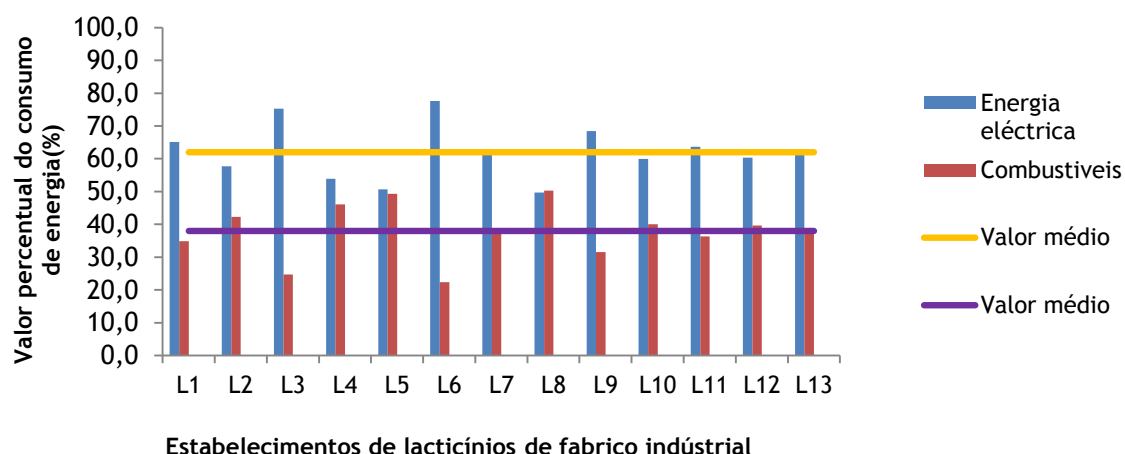


Figura 4.58 - Consumos de energia eléctrica e de combustíveis na fileira dos lacticínios de fabrico industrial.

Da análise da figura 4.58 verifica-se que a maioria dos estabelecimentos consome um valor de energia eléctrica superior ao de combustível. Os consumos destes tipos de energia são semelhantes na maioria dos estabelecimentos, com excepção dos estabelecimentos L3 e L6 que consome mais energia eléctrica. Verifica-se também que os estabelecimentos que consomem

mais energia eléctrica são aqueles que consomem menos combustíveis. Os estabelecimentos que consomem um valor idêntico de energia eléctrica e de combustíveis são aqueles que fabricam requeijão, como é o caso do L4, L5 e L8.

À semelhança da figura anterior, a figura 4.59 apresenta o gráfico com os valores correspondentes aos estabelecimentos da fileira dos lacticínios de fabrico artesanal. Para este conjunto de estabelecimentos, o valor médio anual do consumo de energia eléctrica e de combustíveis é de 63,5% e 36,5%, respectivamente.

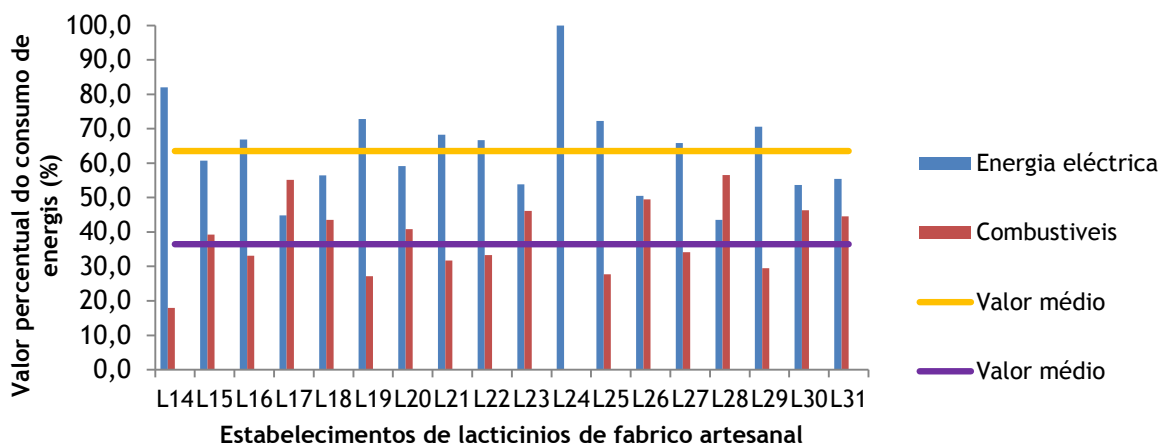


Figura 4.59 - Consumos de energia eléctrica e de combustíveis na fileira dos lacticínios de fabrico artesanal.

À semelhança da categoria de estabelecimentos anterior, também nesta, o consumo de energia eléctrica é superior ao de combustíveis, verificando-se inclusive um aumento do seu valor médio. Com excepção do estabelecimento L24 que só consome energia eléctrica, a maioria dos estabelecimentos consomem um valor de energia eléctrica semelhante. Os estabelecimentos L17, L26 e L28 consomem mais combustíveis comparativamente aos restantes porque fabricam requeijão.

Apesar dos valores médios de energia serem muito aproximados, porém constata-se que as indústrias de fabrico artesanal consomem proporcionalmente mais energia eléctrica que combustíveis, comparativamente aos estabelecimentos de fabrico industrial. Um factor justificativo para esta diferença é a realização dos processos de termização e pasteurização que são quase todos realizados nas indústrias de fabrico industrial ao contrário dos estabelecimentos de fabrico artesanal e por conseguinte utilizam mais combustíveis.

Dos resultados apresentados, constata-se que o principal tipo de energia utilizada por estes estabelecimentos é a energia eléctrica à semelhança do que acontece com os estabelecimentos da fileira da carne. O calor resultante da queima destes combustíveis é utilizado para aquecimento de águas para realizar os processos de termização, nos estabelecimentos de fabrico industrial, aquecimento do leite na cuba, aquecimento do soro para fabrico do requeijão e finalmente para efectuar as limpezas dos equipamentos e das instalações.

Na figura 4.60 apresenta-se o diagrama do tarifário anual da energia eléctrica consumida durante o ano de 2008.

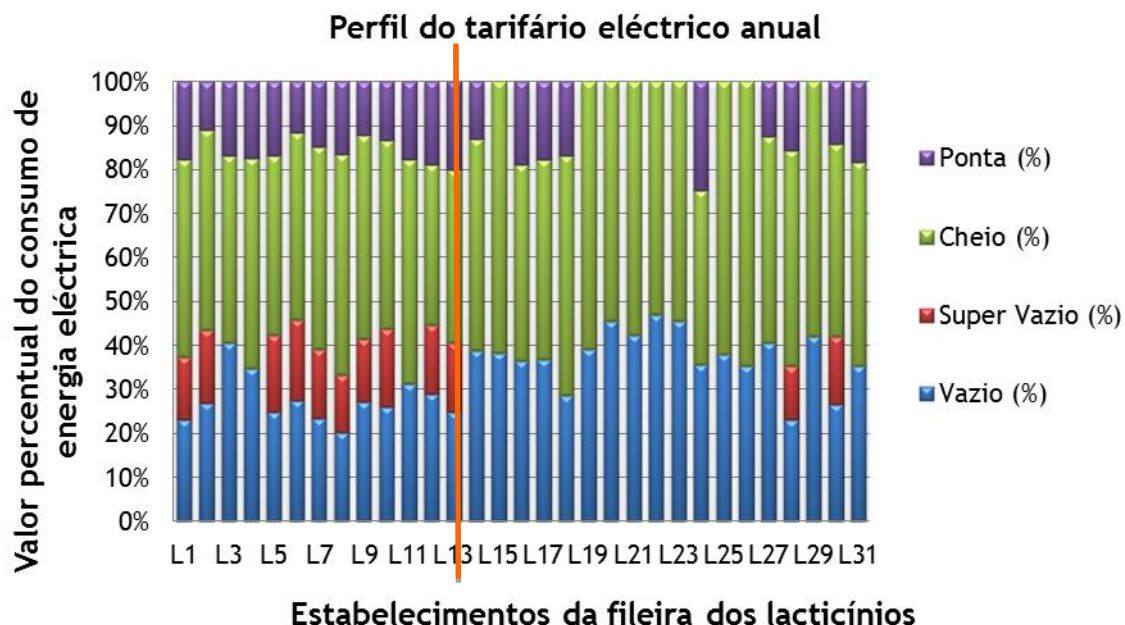


Figura 4.60 - Perfil do tarifário do consumo anual de energia eléctrica da fileira de lacticínios.

Constata-se que a maioria dos estabelecimentos de fabrico industrial (L1 a L13), têm na sua maioria tarifários tetra-horários ao invés dos estabelecimentos de fabrico artesanal que apresentam muitos tarifários bi-horários.

Da análise das facturas de energia eléctrica constatamos que ainda existem muitos estabelecimentos que consomem energia reactiva o que nos tempos actuais indicia a fraca atenção que é dada às medidas simples de redução dos custos da factura energética.

4.2.7. Indicadores físicos e energéticos

Para os estabelecimentos da fileira dos lacticínios, apresentamos nas Tabelas 4.12 e 4.13 os resultados com a informação recolhida dos inquéritos e os indicadores calculados pelas equações 3.11, 3.12, 3.13 e 3.15, para os processos de fabrico de queijo industrial e artesanal, respectivamente.

Os estabelecimentos de fabrico industrial consomem uma quantidade de energia eléctrica muito superior à dos estabelecimentos de fabrico artesanal. De acordo com os valores apresentados nas tabelas 4.12 e 4.13, o consumo médio anual de energia eléctrica é de 615,3 MWh e de 75,6 MWh para os estabelecimentos de fabrico industrial e artesanal, respectivamente. Estes valores são muito elucidativos da quantidade e do uso de equipamentos tecnológicos que os estabelecimentos de fabrico industrial utilizam para executar os seus processos produtivos.

Tabela 4.12 - Indicadores dos estabelecimentos de laticínios de fabrico industrial.

Estabelecimentos	Consumo de Energia eléctrica (MWh)	Potência contratada (KW)	Potência eléctrica dos compressores (kW)	Volume das câmaras (m ³)	CEEP (tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/l _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (kW/m ³)
L1	672,6	345	175,6	3244,0	0,083	0,252	0,82	0,054
L2	210,8	51	48,5	751,5	0,090	0,241	1,16	0,065
L3	280,0	71	48,7	1288,4	0,059	0,207	1,05	0,038
L4	488,2	126	82,8	1962,0	0,096	0,242	1,03	0,042
L5	610,8	465	170,8	2332,0	0,123	0,291	0,90	0,073
L6	430,6	147	87,2	1913,6	0,147	0,530	0,42	0,046
L7	289,6	100	65,6	1168,7	0,175	0,499	0,50	0,056
L8	1406,8	319	134,5	3229,5	0,055	0,128	3,42	0,042
L9	177,6	66	53,7	868,9	0,105	0,325	0,63	0,062
L10	2218,0	470	235,5	4991,7	0,047	0,131	3,39	0,047
L11	134,5	83	47,5	426,7	0,090	0,267	1,18	0,111
L12	505,9	293	159,7	2052,0	0,131	0,368	0,67	0,078
L13	574,1	192	156,0	3278,0	0,068	0,197	0,89	0,048
Valor Médio	615,3	209,8	112,8	2115,9	0,100	0,283	1,24	0,060

Das tabelas 4.12 e 4.13 conclui-se que a potência eléctrica média contratada nos estabelecimentos de fabrico industrial e artesanal é de 209,8 kW e 40,1 kW, respectivamente. Também se conclui que a potência nominal média dos compressores é de 112,8 kW para os estabelecimentos de fabrico industrial e 21,2 kW para os estabelecimentos de fabrico artesanal.

Tabela 4.13 - Indicadores dos estabelecimentos de laticínios de fabrico artesanal.

Estabelecimentos	Consumo de Energia eléctrica (MWh)	Potência contratada (KW)	Potência eléctrica dos compressores (kW)	Volume das câmaras (m ³)	CEEP (tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/l _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (kW/m ³)
L14	72,2	34	13,3	531,4	0,077	0,296	0,46	0,025
L15	46,1	19	12,2	210,0	0,028	0,078	2,80	0,058
L16	60,1	38	21,8	136,4	0,044	0,135	3,27	0,160
L17	187,8	89	60,6	1321,5	0,065	0,136	1,04	0,046
L18	81,2	76	33,5	465,5	0,060	0,158	1,10	0,072
L19	17,4	19	7,6	94,0	0,061	0,206	0,90	0,081
L20	51,7	19	7,8	112,5	0,100	0,275	1,67	0,069
L21	18,1	12	6,2	125,3	0,040	0,128	1,13	0,049
L22	40,1	19	16,5	233,3	0,023	0,073	2,36	0,071
L23	30,6	19	10,2	205,3	0,048	0,120	1,24	0,050
L24	21,5	37	8,5	135,0	0,122	0,565	0,28	0,063
L25	78,8	32	22,8	417,6	0,031	0,105	1,80	0,055
L26	67,3	32	12,9	307,0	0,087	0,205	1,07	0,042
L27	54,9	25	15,7	214,1	0,051	0,154	1,66	0,073
L28	84,9	46	24	299,9	0,062	0,125	2,26	0,080
L29	10,8	19	7,2	144,0	0,031	0,101	0,74	0,050
L30	204,3	116	56,2	1575,6	0,046	0,114	1,14	0,036
L31	232,7	70	43,8	949,0	0,033	0,085	2,87	0,046
Valor Médio	75,6	40,1	21,2	415,4	0,056	0,169	1,54	0,063

A análise da potência contratada e a potência nominal dos compressores permite-nos concluir que a potência nominal dos compressores corresponde a aproximadamente a 53 % da potência contratada.

Dos resultados da tabela 4.12 e 4.13 também verificamos que o volume médio de todas as câmaras de refrigeração do estabelecimento de fabrico industrial é de 2116 m³ enquanto o volume médio das câmaras dos estabelecimentos de fabrico artesanal é de 415,4 m³, ou seja 5 vezes inferior.

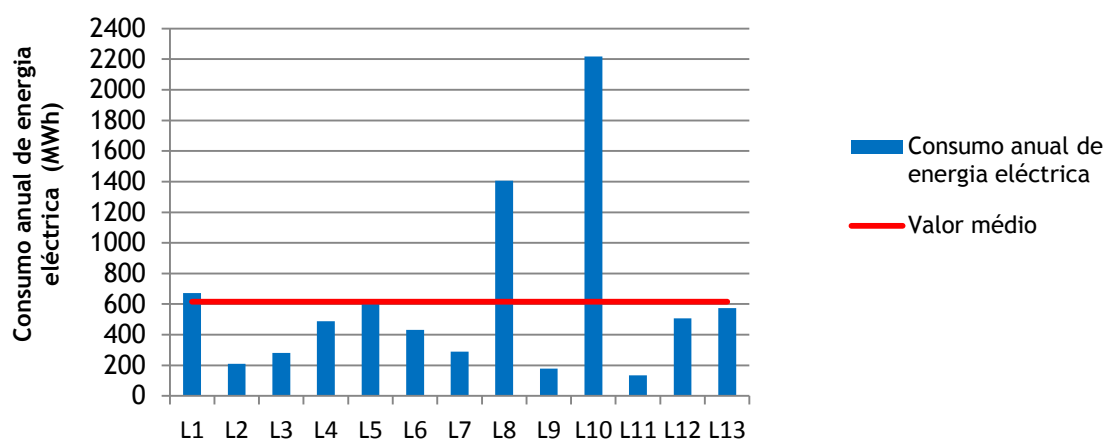
Da análise dos resultados apresentados nestas duas tabelas também verificamos que o valor médio do indicador CEEP para os estabelecimentos de fabrico industrial é de 0,1 tep/ton_{MP} e que para os estabelecimentos de fabrico artesanal é quase metade, ou seja, 0,056 tep/ton_{MP}.

Em relação ao indicador IEE, observamos das tabelas 4.12 e 4.13 que o seu valor médio para os estabelecimentos de fabrico industrial e artesanal é de 0,283 kWh/l_{MP} e 0,169 kWh/l_{MP}, respectivamente. Neste caso o valor do IEE dos estabelecimentos de fabrico industrial é 59,7% mais elevado do que o IEE dos estabelecimentos de fabrico artesanal. Da análise individual dos valores de IEE, destaca-se o valor do estabelecimento de fabrico artesanal L24, pelo seu valor mais elevado em relação aos restantes valores dos estabelecimentos desta categoria. Este resultado é causado pela reduzida actividade produtiva que este estabelecimento desenvolveu ao longo do ano de 2008.

A análise do valor médio do indicador MPVC permite-nos concluir que não apresenta valores muito distintos entre os estabelecimentos de fabrico industrial (1,24 ton_{MP}/m³) e os estabelecimentos de fabrico artesanal (1,54 ton_{MP}/m³). O valor superior apresentado pelos estabelecimentos de fabrico artesanal deve-se ao menor número de câmaras de refrigeração e volumetria média de câmaras destes estabelecimentos proporcionando assim uma maior rotatividade dos produtos nas câmaras. Por exemplo o estabelecimento L24 teve uma baixa produtividade durante o ano de 2008 e foi por isso aquela que apresentou o valor de MPVC mais baixo dos estabelecimentos de fabrico artesanal. Em termos individuais, dentro dos estabelecimentos de fabrico industrial também se destacam os estabelecimentos L8 e L10 valores do MPVC iguais a 3,42 ton_{MP}/m³ e 3,39 ton_{MP}/m³, respectivamente. Estes valores mais elevados que a média dos estabelecimentos desta categoria são resultado de se tratarem dos dois maiores estabelecimentos do nosso estudo e trabalharem com uma grande percentagem de leite de vaca, favorecendo assim uma maior rotatividade dos produtos nas câmaras de refrigeração.

Finalmente o valor médio do indicador PECV é muito semelhante para as duas categorias de estabelecimentos (0,06 e 0,063 kW/m³), conforme se observa das tabelas 4.12 e 4.13.

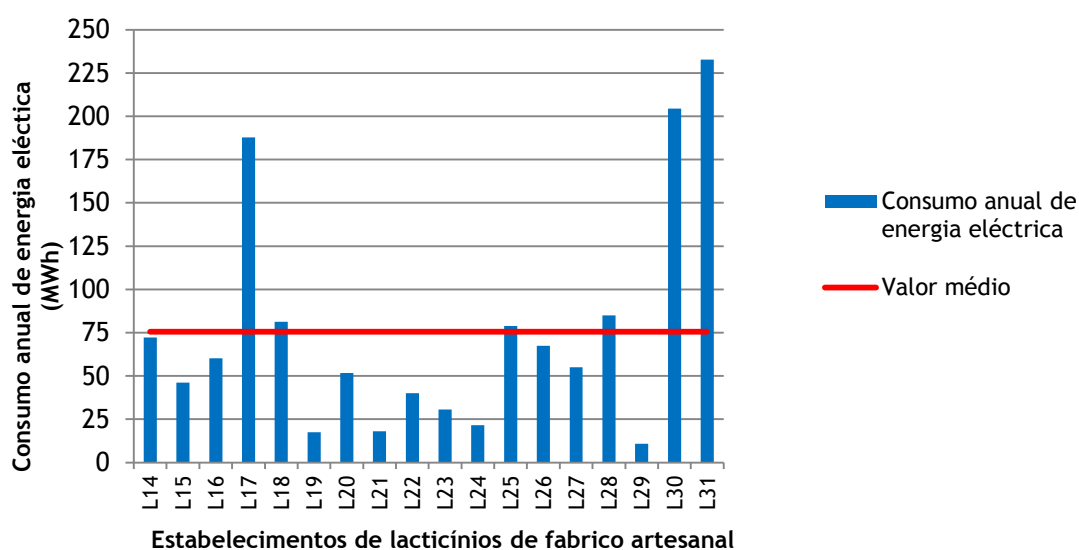
Na figura 4.61 apresenta-se o gráfico com os consumos de energia eléctrica para os estabelecimentos de fabrico de modo industrial. Neste gráfico apresentamos também o valor médio obtido para esta categoria que foi 615,3 MWh. Da análise do gráfico constatamos que existe uma grande variação de consumos de energia eléctrica e que existem algumas com consumos abaixo do valor médio em virtude de este estar maximizado pelo valor dos consumos dos dois maiores estabelecimentos (L8 e L10).



Estabelecimentos de lacticínios de fabrico industrial

Figura 4.61 - Consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico de queijo de modo industrial.

Na figura 4.62 apresentamos o gráfico com o valor dos consumos de energia anuais para os estabelecimentos de fabrico de modo artesanal. Para esta categoria de estabelecimentos, o valor médio de consumo de energia anual é de 75,6 MWh, conforme se observa na figura 4.62.



Estabelecimentos de lacticínios de fabrico artesanal

Figura 4.62 - Consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico artesanal.

Da figura 4.62 observa-se que alguns dos estabelecimentos apresentam valores do consumo de energia inferior ao valor médio, por causa de este estar maximizado pelos valores dos consumos de energia dos estabelecimentos L17, L30 e L31.

Na figura 4.63 apresentam-se os valores do indicador de consumo específico de energia eléctrica (IEEE) para os estabelecimentos de fabrico industrial e artesanal. Para os estabelecimentos de

fabrico artesanal o IEEE médio é de 0,169 kWh/l_{MP}, enquanto que o fabrico industrial é de 0,283 kWh/l_{MP}.

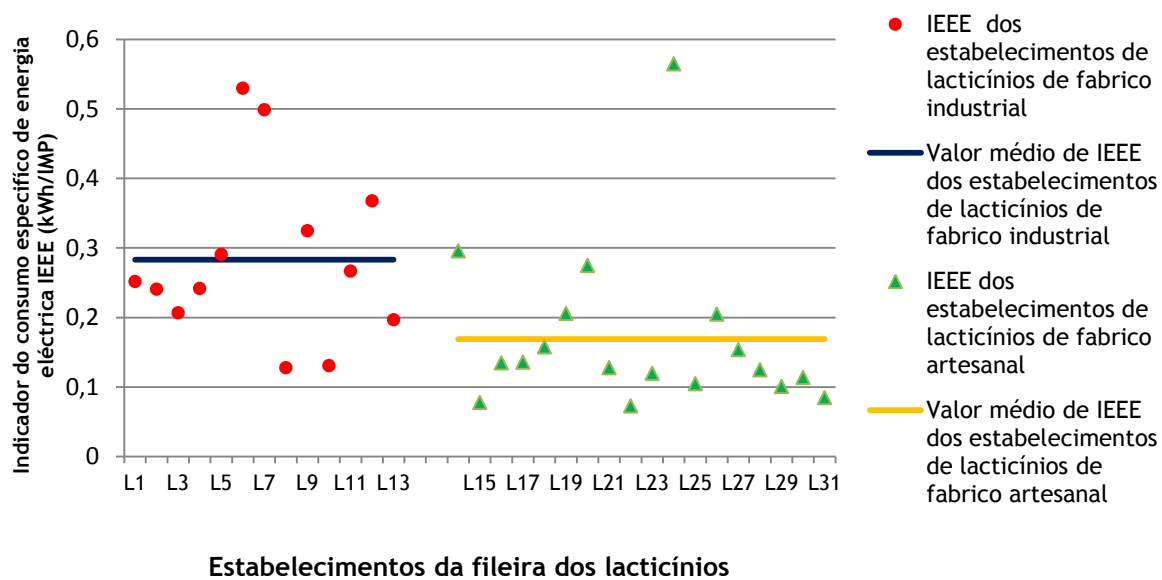


Figura 4.63 - Valores do indicador específico de energia eléctrica para os estabelecimentos de lacticínios.

O potencial de poupança de energia eléctrica para os estabelecimentos de lacticínios da categoria de fabrico industrial e artesanal é de 19,4% e de 29,7%, respectivamente.

4.3. FILEIRA DAS HORTOFRUTÍCOLAS

4.3.1. Classificação dos estabelecimentos

A actividade desenvolvida pelos estabelecimentos de hortofrutícolas sobre os quais recai o nosso estudo, não provoca qualquer tipo de transformação dos produtos, recaindo na categoria de produção primária. Fundamentalmente, as operações que são realizadas sobre os produtos englobam a colheita, conservação e manutenção das suas características físicas e organolépticas e operações de distribuição e comercialização.

A actividade dos estabelecimentos que integram esta fileira, é classificada em duas categorias: a primeira é uma actividade de distribuição e revenda de produtos hortofrutícolas e a segunda é de produção primária de frutícolas, também designados como centrais de fruta.

Uma vez que estes estabelecimentos realizam actividades relacionadas com a produção primária de produtos, eles não necessitam de licenciamento industrial.

Numa perspectiva económica, dentro dos 23 estabelecimentos que integram o presente estudo, 21 apresentam um volume de negócios anual entre 0 e 2 milhões de euros (91%) e os restantes 2, entre 2 a 10 milhões de euros (9%).

Em relação ao número de trabalhadores, constata-se também que 21 estabelecimentos têm ao serviço entre 1 a 9 trabalhadores (91%) e que 2 estabelecimentos, possuem entre 10 a 49 trabalhadores (9%).

No seu conjunto estes estabelecimentos empregam no total 141 trabalhadores o que dá uma média de 6,1 trabalhadores por estabelecimento. Embora seja um número mais baixo de empregos em relação ao que verificamos para as outras duas fileiras, mesmo assim, ainda está acima da média nacional que é de 3,5 pessoas por indústria (INE, 2011b).

No anexo I apresentam-se as principais características económicas dos estabelecimentos da fileira das hortofrutícolas.

4.3.2. Infra-estruturas

Embora os estabelecimentos das hortofrutícolas não estejam sujeitos a um licenciamento industrial, para poderem realizar a actividade de produção e comercialização de hortofrutícolas, necessitam ser detentores do número identificativo de actividade de comercialização de hortofrutícolas, que é obtido junto da Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Centro (DRAPC) de acordo com a localização.

Para construção dos edifícios é necessário o licenciamento e respectiva licença de utilização do estabelecimento, que neste caso é da competência exclusiva da Câmara Municipal (CM) territorialmente competente. A construção deve respeitar as normas descritas no anexo I do Regulamento (CE) n.º 852/2004 de 29 de Abril, relativo à higiene dos géneros alimentícios e ainda do Regulamento (CE) n.º 178/2002 de 28 de Janeiro, no que respeita aos princípios e

normas gerais de legislação alimentar e procedimentos em matéria de segurança dos géneros alimentícios (Álvaro, 2001).

Os estabelecimentos de centrais de fruta são geralmente constituídos com uma edificação de um único piso, construídos junto aos centros de produção da fruta (Pomares) ou então próximo das vias de comunicação, mas nunca muito afastados dos pomares que abastecem estas centrais.

Por sua vez, os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas são também constituídos por um único piso e estão localizados, geralmente, nas zonas industriais das cidades. Os projectos de construção dos estabelecimentos de centrais de fruta incluem na planta, diversos espaços físicos para os tornar funcionais, nomeadamente, cais e zonas de recepção da fruta, corredores de passagem, câmaras de refrigeração (de arrefecimento e de conservação), zonas de calibração da fruta, zona de embalamento e rotulagem, escritórios, cais de embarque, sala de máquinas, sala de arrecadação.

Nos anexo J e L apresentamos uma imagem de um estabelecimento de revenda e de uma central de produtos de hortofrutícolas, respectivamente.

Em geral na base da construção destes estabelecimentos está presente a valorização da funcionalidade, isto é, a melhor localização dos espaços, equipamentos e as acessibilidades e recursos de manuseamento de produtos. Estas considerações abrangem aspectos como o recebimento e expedição de produtos, manutenção do edifício e as condições de trabalho dos trabalhadores. Alguns aspectos relevantes que são considerados é o tamanho, forma e localização das câmaras de refrigeração dentro do edifício e, particularmente, a quantidade e localização das portas das câmaras, o transporte e áreas de recebimento, devem ser arranjados, o acesso de veículos para o estabelecimento e a construção de estacionamento.

A dimensão da infra-estrutura bem como das instalações frigoríficas são função da quantidade de fruta manuseada diariamente.

Em geral os estabelecimentos são dimensionados para trabalharem uma capacidade diária mais ou menos constante, dependente da quantidade de fruta que é apanhada diariamente, e que por sua vez depende da taxa de amadurecimento da mesma.

Outros aspectos como as características térmicas das envolventes e das câmaras de refrigeração são da maior importância por causa da manutenção das condições ambientais adequadas no interior dos estabelecimentos e das câmaras.

Em geral, os estabelecimentos da fruta e hortícolas são de pequena ou média dimensão pois só possuem câmaras de refrigeração para a colheita de dois ou três dias, significando que a colheita da fruta é controlada e balanceada quase directamente com a expedição da fruta. Com base nas suas características físicas e com a informação recolhida no trabalho de campo, constata-se que 12 estabelecimentos (52%) possuem uma área coberta até 1000 m², 9 estabelecimentos (39%) possuem uma área entre 1000 e 2000 m², 1 estabelecimentos (5%) possuem uma área entre 2000 e 3000 m² e finalmente 1 estabelecimento (4%) acima de 4000 m², respectivamente.

O gráfico da figura 4.64, apresenta a distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos da fileira da fruta.

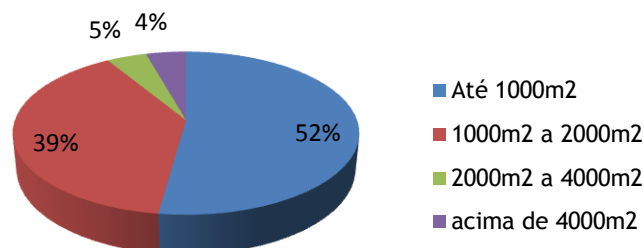


Figura 4.64 - Distribuição percentual da área coberta dos estabelecimentos de fruta.

O gráfico da figura 4.65, apresenta a distribuição percentual dos materiais usados nas envolturas dos estabelecimentos da fileira da fruta. Conforme se observa neste gráfico, 22 edifícios destes estabelecimentos são construídos em alvenaria (96%) e 1 estabelecimento está construído em painéis de poliuretano (4%). De uma maneira geral os edifícios construídos em alvenaria estão construídos com base em estruturas de pilares, vigas e lajes de betão armado e paredes de alvenaria de parede simples ou de parede dupla. No final as paredes são rebocadas a cimento e pintadas.

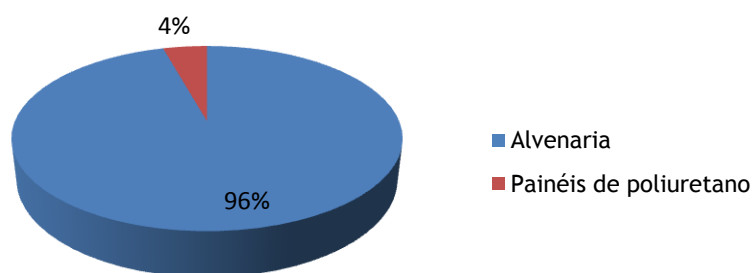


Figura 4.65- Materiais utilizados na envoltura dos estabelecimentos de hortofrutícolas.

O gráfico que consta na figura 4.66 apresenta o valor percentual dos materiais utilizados nas coberturas dos estabelecimentos. Conforme se observa neste gráfico, são vários os tipos de materiais usados na cobertura destes estabelecimentos. Neste caso, 9 estabelecimentos utilizam chapas de fibrocimento (39%), 6 estabelecimentos utilizam chapas metálicas (26%), 1 utiliza telha marselha (4%) e finalmente 7 estabelecimentos usam painéis de poliuretano de 40 mm de espessura (31%).

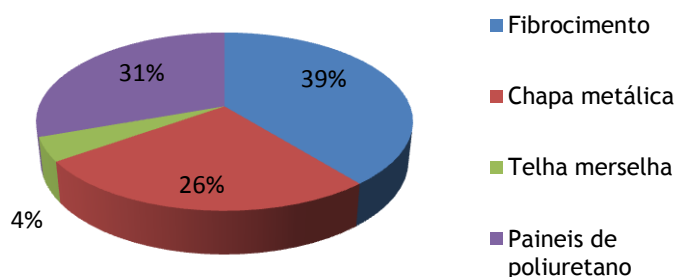


Figura 4.66 - Materiais usados na cobertura dos estabelecimentos de hortofrutícolas.

Estes estabelecimentos muitas vezes não possuem desvão uma vez que a sua construção é do tipo de armazém e as câmaras de refrigeração e os vários equipamentos encontram-se distribuídos no seu interior. Porém naqueles onde existe, ele não tem qualquer uso e é bastante pequeno. De acordo com as condições observadas no interior destes espaços, apresenta-se na figura 4.67 o gráfico com as características de ventilação. De acordo com os dados recolhidos 4 estabelecimentos possuem desvão não ventilado (17%), 11 estabelecimentos possuem o desvão pouco ventilado (48%), 2 estabelecimentos possuem o desvão ventilado e 6 não possuem desvão.

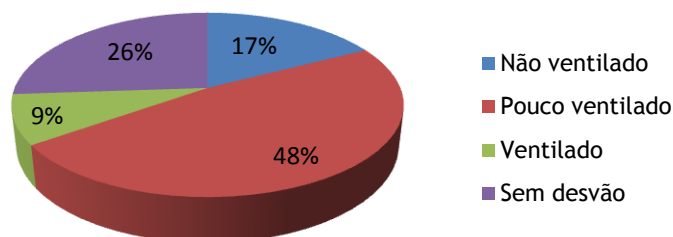


Figura 4.67 - Características da ventilação do desvão dos estabelecimentos da fileira de hortofrutícolas.

No gráfico da figura 4.68 apresenta-se a idade dos estabelecimentos desta fileira. Conforme se constata 10 estabelecimentos (44%) têm entre 1 a 10 anos, 11 estabelecimentos (48%) têm entre 11 a 20 anos e 1 estabelecimento (4%) têm entre 21 a 30 anos e entre 31 e 50 anos, respectivamente.

Comparativamente às restantes fileiras constata-se que estes edifícios são mais novos.

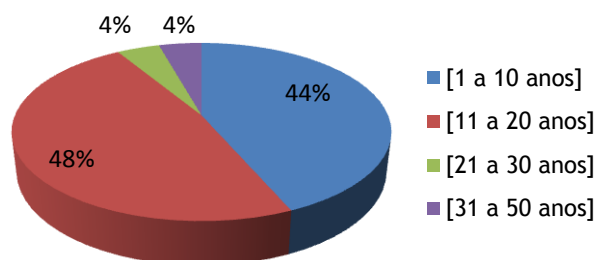


Figura 4.68 - Idade dos estabelecimentos da fileira de hortofrutícolas.

Porque se tratam de edifícios mais novos as câmaras de refrigeração apresentam materiais mais recentes como seja os painéis de poliuretano. No gráfico da figura 4.69 mostra-se os materiais usados na construção das câmaras de refrigeração desta fileira. Neste caso, constatamos que 19 estabelecimentos (83%) têm as câmaras de refrigeração construídas em painéis de poliuretano e que 4 estabelecimentos (17%) têm câmaras de refrigeração construídas em alvenaria e revestidas com corticite.

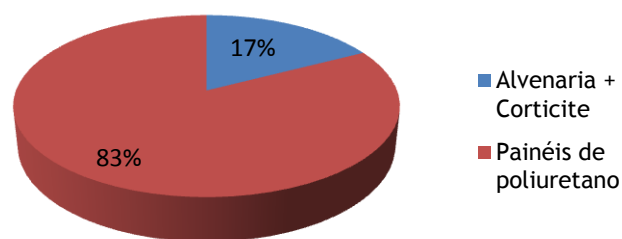


Figura 4.69 - Materiais utilizados nas paredes das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos.

De acordo com os resultados de campo, constatamos que 12 estabelecimentos (52%) apresentam uma boa localização das câmaras de refrigeração, que em 3 estabelecimentos (13%) a localização apresenta-se razoável e que em 8 estabelecimentos (35%) é deficiente. A deficiente localização das câmaras de refrigeração está relacionada com a grande exposição solar que estão sujeitas durante o dia (as câmaras estão encostadas a paredes orientadas a sul).

Nesta fileira avaliamos 64 câmaras de refrigeração, sendo a sua maioria construídas em painéis de poliuretano com uma espessura compreendida entre 60 mm e 100 mm. Ainda constatamos que os estabelecimentos possuem uma média 3 câmaras e um volume médio total das câmaras de refrigeração de 1485 m³.

4.3.3. Actividade e processos produtivos

Em função do tempo de duração do trabalho ao longo do ano a actividade dos estabelecimentos é caracterizada em duas categorias: a anual e a sazonal.

A actividade anual é típica dos estabelecimentos que se dedicam à revenda de produtos de hortofrutícolas. Os proprietários destes estabelecimentos, compram os produtos em centrais de abastecimento de frutas e hortícolas, ao longo do ano, para os venderem posteriormente aos seus clientes. Na figura 4.70 apresenta-se o perfil da actividade anual do estabelecimento F1: um dos estabelecimentos estudados que se enquadra nesta categoria.

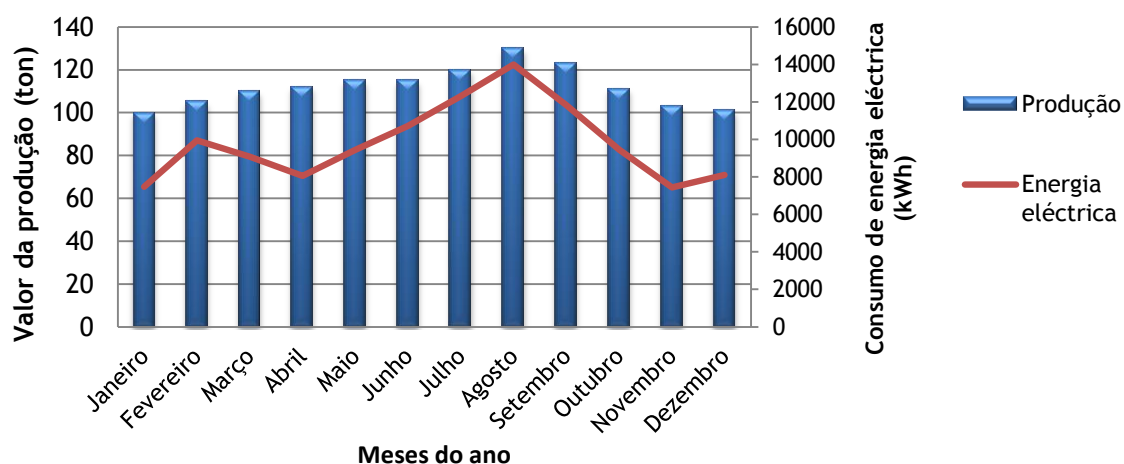


Figura 4.70 - Perfil de actividade anual do estabelecimento F1.

Como se observa, nestes estabelecimentos a actividade realiza-se durante todo o ano, pois abastecem-se regularmente para venderem diariamente os produtos aos clientes. Atendendo às características da actividade o consumo de energia do estabelecimento decorre ao longo de todo o ano atingindo o pico nos períodos de maior actividade e no verão por causa das temperaturas mais elevadas.

Por sua vez, a actividade sazonal é típica das centrais de fruta que são propriedade de produtores de fruta que laboram só alguns meses do ano ou de cooperativas de fruta. Nesta actividade os produtores possuem os seus pomares e realizam as colheitas dos mesmos.

Em geral, os produtores possuem uma ou mais espécies de fruta que apanham nos pomares à medida que estas apresentam o estado de maturação desejado. Na região da Cova da Beira, existem vários produtores que trabalham de acordo com os seguintes ciclos de maturação das suas espécies: a ameixa, desde os meados de Julho até final de Novembro; o pêssago, desde Junho até Setembro; a cereja desde 15 de Maio até finais de Junho; e a maçã desde Setembro até Março do ano seguinte.

Por esta razão, a maioria destes estabelecimentos desempenham a sua actividade durante os meses de Maio até Setembro ou Novembro.

Na figura 4.71 representa-se o perfil de actividade sazonal. No caso, o do estabelecimento F15. Conforme se constata nesta figura a actividade deste estabelecimento está limitada aos meses de Maio até Outubro, sendo a espécie dominante o pêssago. Neste tipo de actividade o consumo de energia ocorre quando as câmaras estão ligadas e existe actividade, conforme se pode observar na figura. Quando não existe actividade deixa de haver consumos de energia e nestes casos alguns produtores suspendem o contrato de fornecimento de energia eléctrica.

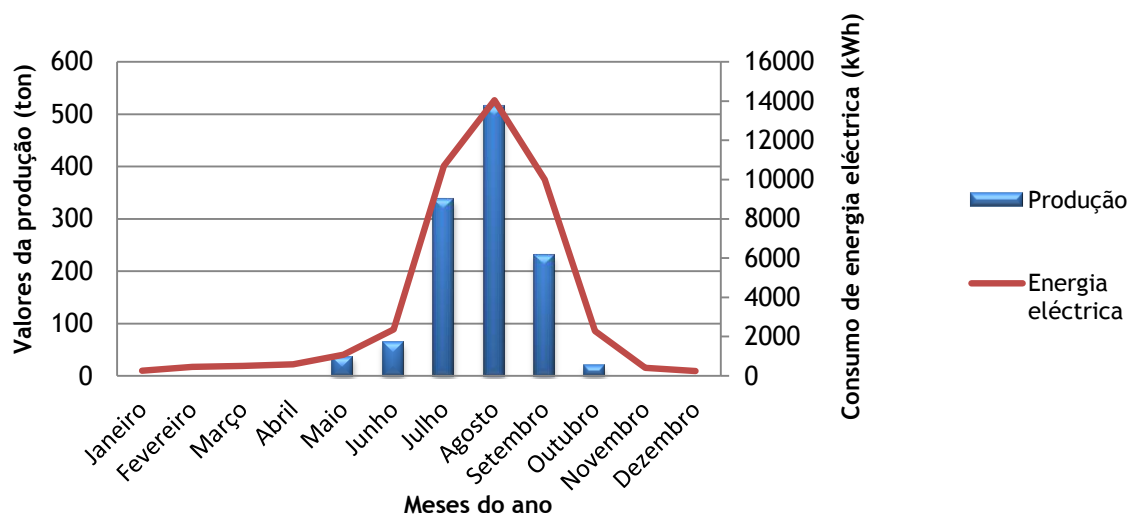


Figura 4.71 - Perfil de actividade sazonal do estabelecimento F15.

Ainda dentro da actividade sazonal, existem estabelecimentos que mantêm a conservação da fruta por períodos de tempo mais alargados, nomeadamente, através da utilização de câmaras de refrigeração de atmosfera controlada (por injeção de nitrogénio, ou pela própria respiração da fruta), como é o caso do estabelecimento F20. No gráfico da figura 4.72 apresenta-se o perfil

da actividade desse estabelecimento. Conforme se observa, a sua actividade realiza-se durante os meses de Janeiro a Abril e ainda de Julho a Dezembro. Quando as câmaras de refrigeração são cheias de fruta, a partir dos meses de Agosto e Setembro, as suas portas são seladas e não existe contacto com a fruta até ao momento em que as mesmas são abertas para a fruta ser vendida. Nestas condições as câmaras são arrefecidas a uma temperatura próxima dos 0°C. No caso do estabelecimento F20 o arrefecimento é realizado mediante a utilização de uma central de circuito indirecto. Conforme se observa na figura, o perfil de energia acompanha o nível de actividade do estabelecimento.

De uma maneira geral, os estabelecimentos que possuem actividade sazonal só trabalham com um número limitado de espécies de fruta (maçã, pêssago, ameixa, cereja, pêra) e os estabelecimentos com actividade anual comercializam uma grande variedade de frutas e de hortícolas.

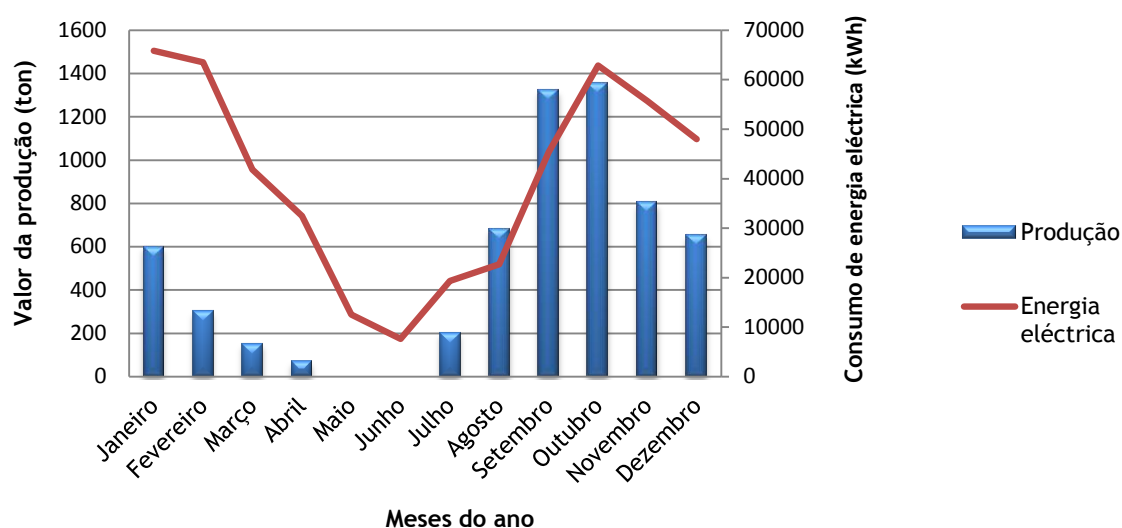


Figura 4.72 - Perfil da actividade sazonal da central de fruta do estabelecimento F20, com método de conservação por atmosfera controlada.

Este aspecto é importante por causa da dimensão do estabelecimento, em particular, o número de câmaras de refrigeração que é necessário instalar.

Na Tabela 4.14, apresentam-se os resultados da actividade desenvolvida pelos estabelecimentos desta fileira durante o ano de 2008.

Os estabelecimentos F1 a F7 desempenham uma actividade anual, enquanto os estabelecimentos F8 a F23 realizam uma actividade sazonal.

De acordo com a informação da tabela 4.14 em 2008 os estabelecimentos comercializaram globalmente 26858,4 toneladas de produtos de hortofrutícolas.

Também se constata que o período de manutenção dos produtos nos estabelecimentos é muito curto, isto é, de 5 a 10 dias, devido ao elevado grau de perecibilidade dos mesmos. A excepção encontra-se no estabelecimento L20 que possui câmaras de atmosfera controlada que possibilitam a dilatação do período de conservação dos produtos até cerca de 180 dias.

Tabela 4.14 - Resultados da actividade dos estabelecimentos de hortofrutícolas durante o ano de 2008.

Estabelecimentos	Tipo de produtos	Quantidade de produtos (t)	Permanência média dos produtos (dias)	Duração da actividade
F1	Frutas, legumes e hortaliças	1210	5 a 10	Anual
F2	Frutas, legumes e hortaliças	305	5 a 10	Anual
F3	Frutas, legumes e hortaliças	96	5 a 10	Anual
F4	Frutas, legumes e hortaliças	1803	5 a 10	Anual
F5	Frutas, legumes e hortaliças	192	5 a 10	Anual
F6	Frutas, legumes e hortaliças	531	5 a 10	Anual
F7	Frutas, legumes e hortaliças	385	30	Anual
F8	Frutas	4015	30	Sazonal
F9	Frutas	608	5 a 10	Sazonal
F10	Frutas	1226	5 a 10	Sazonal
F11	Frutas	785	5 a 10	Sazonal
F12	Frutas	305	5 a 10	Sazonal
F13	Frutas	540	5 a 10	Sazonal
F14	Frutas	900	5 a 10	Sazonal
F15	Frutas	285	5 a 10	Sazonal
F16	Frutas	1020	5 a 10	Sazonal
F17	Frutas	460	5 a 10	Sazonal
F18	Frutas	605	5 a 10	Sazonal
F19	Frutas	414	5 a 10	Sazonal
F20	Frutas	6120	10 a 180	Sazonal
F21	Frutas	3105	5 a 30	Sazonal
F22	Frutas	746	5 a 10	Sazonal
F23	Frutas	1202	5 a 10	Sazonal

Os estabelecimentos que se dedicam à revenda de produtos hortofrutícolas possuem um processo tecnológico muito simples, que consiste na aquisição dos produtos em centrais de hortofrutícolas e posteriormente a sua colocação nos estabelecimentos comerciais à disposição dos clientes.

Geralmente os produtos já se encontram a baixas temperaturas e ao chegarem aos estabelecimentos são de imediato colocados nas câmaras de refrigeração com temperaturas e humidades relativas adequadas a cada espécie. O objectivo é proporcionar a manutenção da cadeia do frio e contribuir para a diminuição de perdas dos produtos.

Durante a realização do trabalho de campo constatamos que na maioria destes estabelecimentos, logo pela manhã os trabalhadores retiram alguns produtos do interior das câmaras e colocam-nos em exposição no centro do edifício, na maioria das vezes sem climatização. No final do dia, os produtos que não são vendidos regressam ao interior das câmaras. Este procedimento, juntamente com o grande número de vezes que as portas das câmaras de refrigeração são abertas, representa uma sobrecarga sobre os sistemas de refrigeração como resultado das cargas térmicas associadas.

Já quanto ao processo produtivo das centrais de fruta, constatamos grandes diferenças em relação ao processo anterior. O processo produtivo destes estabelecimentos é composto pelas seguintes operações: colheita, transporte, recepção no estabelecimento, pré-arrefecimento/conservação em frio, calibração e rotulagem, conservação em frio e finalmente a expedição. O processo tecnológico típico das centrais de fruta é mostrado na figura 4.73.

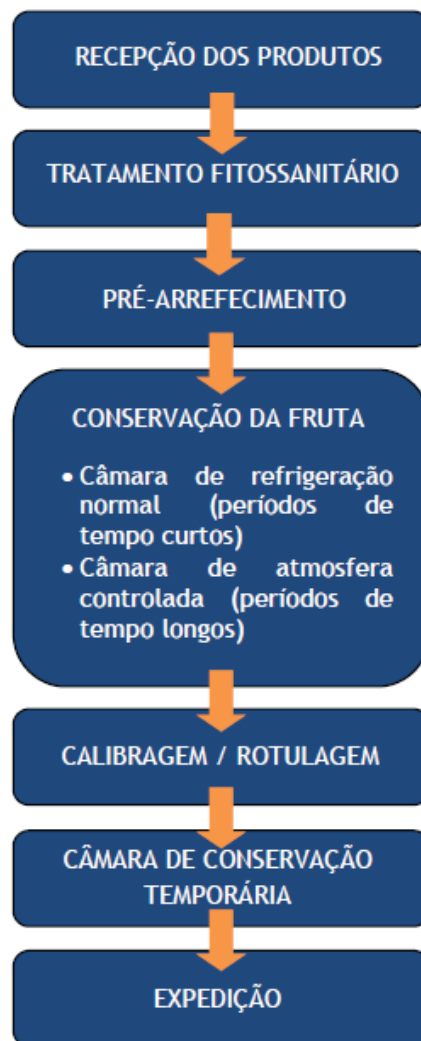


Figura 4.73 - Diagrama do processo de fabrico nas centrais de fruta.

Conforme se observa no diagrama, a aplicação de frio é uma operação fundamental em três pontos importantes do processo: arrefecimento rápido da fruta; conservação da fruta em câmaras de refrigeração; e manutenção da fruta nas câmaras de expedição.

Dos estabelecimentos em estudo, são muito poucos os que possuem câmaras ou túneis de arrefecimento rápido, específicos para realizar o pré-arrefecimento da fruta. Apenas dois dos estabelecimentos estão dotados com uma câmara de refrigeração específica para realizar esta operação. Estas câmaras, estão dotadas com evaporadores a ar forçado para trabalhar com ventiladores de duas velocidades. As câmaras trabalham com uma temperatura entre 0 a 2 °C e humidade relativa entre 85 a 90%, e por vezes até superior mediante a utilização de humidificadores do ar e é arrefecida rapidamente mediante o ar frio proveniente dos evaporadores com uma forte velocidade. Geralmente a fruta é mantida nestas condições durante 2 a 3 horas e depois ou continua nesta câmara, com uma velocidade do ar menor ou então é transferida para outras câmaras de refrigeração para conservação, que se encontram ao lado desta. A temperatura e humidade relativa das câmaras de conservação dependem do tipo de espécie. A temperatura está compreendida entre 0 e 2°C e a humidade relativa entre 85% e 90%.

Os restantes estabelecimentos utilizam câmaras de refrigeração convencional, com evaporadores munidos de ventiladores de uma única velocidade, neste caso para realizar o arrefecimento e a conservação da fruta. As condições ambientais de conservação são idênticas às indicadas anteriormente.

Estrategicamente, os produtores efectuam geralmente a apanha da fruta durante o período da manhã e transportam-na, em caixas de plástico, imediatamente para o estabelecimento. Já no estabelecimento, alguns produtores aguardam que a fruta se mantenha algum tempo no interior do mesmo para permitir a libertação do calor que a fruta traz do campo. Este período de tempo é curto, normalmente de algumas horas, mas é relevante para não sobrecarregar as câmaras com as elevadas cargas térmicas dos produtos, uma vez que os sistemas de refrigeração não têm capacidade de refrigeração para absorver imediatamente uma carga térmica tão elevada.

Entretanto, muitos produtores colocam a fruta em pequenas quantidades de imediato nas câmaras, para que a temperatura diminua mais rapidamente.

Geralmente toda a fruta que é apanhada diariamente é colocada no próprio dia no interior das câmaras de refrigeração.

O tempo de manutenção da fruta no interior das câmaras é variável podendo ir desde um dia até oito dias. Como os estabelecimentos têm uma pequena capacidade de armazenagem, geralmente entre a 20 a 30 toneladas, o ciclo de apanha de fruta acompanha quase sempre o escoamento da mesma para o mercado.

A fruta sai das câmaras de conservação à medida que existem encomendas. Neste caso, a fruta é retirada e calibrada na máquina de calibragem e de seguida é colocada em embalagens e rotulada. Posteriormente é colocada na câmara de conservação que se destina à manutenção da temperatura de aproximadamente 2 °C e uma humidade relativa não inferior a 85% ou então é colocada no interior dos veículos refrigerados para expedição.

4.3.4. Condições ambientais das câmaras de refrigeração

Na figura 4.74 apresentamos o gráfico com as temperaturas e humidades relativas que se obtiveram no interior das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas. Neste gráfico estão representados os resultados de 15 câmaras de refrigeração. Conforme se observa do gráfico as temperaturas das câmaras de refrigeração situam-se entre os 1°C e 4°C com excepção das câmaras de conservação de bananas que têm uma temperatura de 13°C e 14°C. A humidade relativa, nesta categoria de estabelecimentos situa-se entre os 82% e 92%.

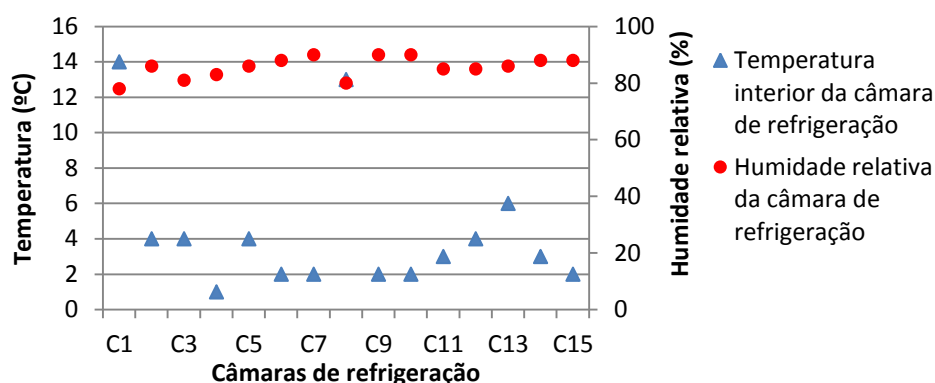


Figura 4.74 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos de venda.

No gráfico da figura 4.75 apresentam-se os valores da temperatura e da humidade relativa que se observaram nas 50 câmaras de refrigeração dos estabelecimentos da categoria de centrais de fruta. Deste gráfico conclui-se que a temperatura das câmaras de refrigeração é variável e encontra-se situada entre os 0°C e 4°C e a humidade relativa situa-se entre os 78% e 98%.

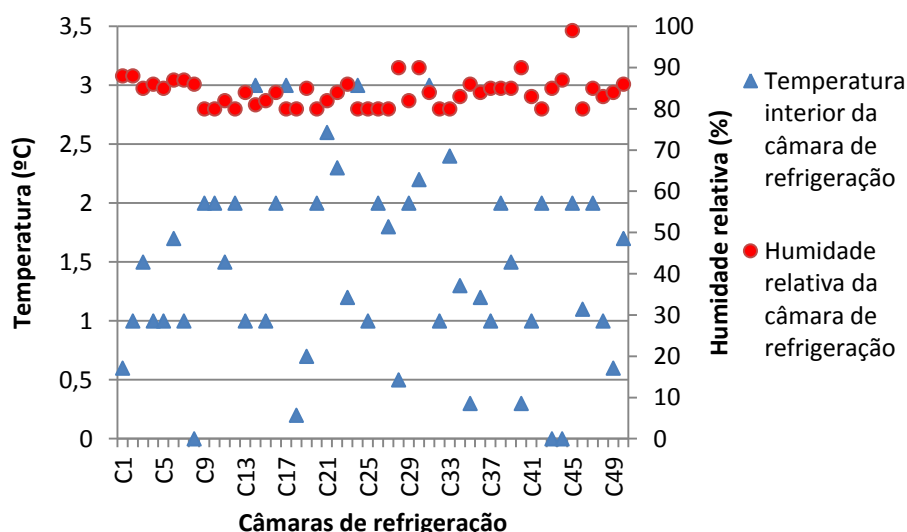


Figura 4.75 - Perfil de temperaturas e de humidade relativa das câmaras de refrigeração dos estabelecimentos de centrais de fruta.

4.3.5. Características dos sistemas de refrigeração

Nesta fileira a refrigeração é utilizada para o arrefecimento rápido e a conservação dos produtos de hortofrutícolas.

As características dos sistemas de refrigeração que são usados nesta fileira dependem do tipo de processo tecnológico que é usado pelos estabelecimentos, da dimensão da actividade, ou por outras palavras, das cargas térmicas que é necessário retirar do interior das câmaras de refrigeração.

Nos estabelecimentos das centrais de fruta a principal carga térmica que ocorre no processo de arrefecimento está relacionada com o calor do produto (calor sensível e latente) e em segundo plano, o conjunto das restantes cargas térmicas.

Os sistemas de produção de frio que estão adequados para efectuar o arrefecimento rápido da fruta, têm que possuir uma capacidade de refrigeração para fazer face à carga térmica do produto, o que ocorre só em dois dos estabelecimentos estudados; F14, e F22. Os restantes, possuem uma capacidade de refrigeração destinada à manutenção de uma determinada quantidade de produtos que se supõe encontrarem-se já à temperatura desejada e, neste caso, a sua capacidade de refrigeração está prevista para uma carga térmica mínima.

Os sistemas de produção de frio utilizados nesta fileira englobam na sua grande maioria uma central de circuito directo e, num único estabelecimento (F20), uma central de circuito indirecto.

O principal tipo de refrigeração usado é o clássico, ou seja, o arrefecimento dos produtos é realizado por intermédio de ar previamente arrefecido nos evaporadores por expansão directa ou indirecta. Este tipo de tecnologia é utilizada predominantemente porque é o mais adequado para satisfazer as necessidades de frio dos estabelecimentos, que é realizar o arrefecimento e a manutenção dos produtos a temperaturas baixas dentro de um período de tempo curto.

O gráfico da figura 4.76 permite identificar a contribuição dos dois tipos de refrigeração que são utilizados pelos estabelecimentos em análise. Conforme se constata nesta figura, a refrigeração convencional é usada em cerca de 95,5% dos estabelecimentos enquanto a refrigeração de atmosfera controlada só é utilizada em 4,5% dos estabelecimentos. Estes números indicam-nos que os produtores não optam por conservar a fruta por grandes períodos de tempo, mas sim que pretendem expedi-la o mais rapidamente possível.

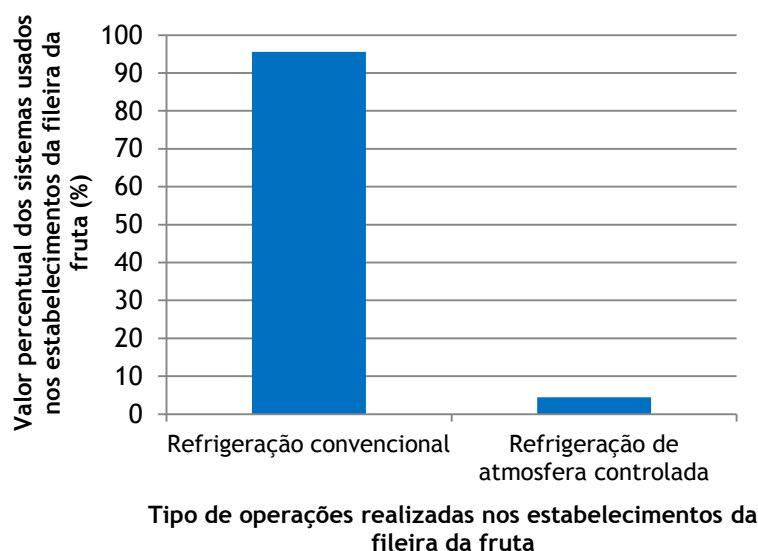


Figura 4.76- Tipos de operações de refrigeração usadas na fileira das hortofrutícolas.

Com base no levantamento e recolha de informação durante o trabalho de campo, constatamos que os sistemas de refrigeração utilizados nos estabelecimentos da fruta, possuem as seguintes características:

- i) Um ou mais sistemas individuais, nos estabelecimentos F1, F6, F12, F13, F17, F21 e F23, (normalmente um por câmara de refrigeração), conforme descrevemos na secção 2.3.4.1;
- ii) Uma ou mais unidades de condensação nos estabelecimentos F2, F3, F5 e F7, (normalmente uma por câmara de refrigeração) com as características descritas na secção 2.3.4.2;
- iii) Uma central de frio de circuito directo, constituída por dois ou mais compressores semi-herméticos e demais equipamentos complementares, com as características descritas na secção 2.3.4.3. No seio das centrais de frio de circuito directo, encontramos as duas tipologias de centrais, neste caso, as que possuem vários compressores instalados em paralelo, estabelecimentos F4, F9, F10, F11, F14, F15, F18 e F22, as do tipo mais antigo, constituídas por um compressor aberto accionado por um motor eléctrico através de correias, nos estabelecimentos F6 e F16, conforme descrito na secção referida atrás e ainda uma central de circuito directo compacta, no estabelecimento F19.
- iv) Uma central de frio de circuito indirecto a funcionar com um compressor aberto, com chilher para arrefecimento de água glicolada e com um condensador arrefecido a ar forçado, no estabelecimento F20, com as características descritas na secção 2.3.4.6.

No gráfico da figura 4.77 apresenta-se uma síntese dos valores percentuais dos tipos de sistemas de refrigeração utilizados nas câmaras dos estabelecimentos da fileira das hortofrutícolas. Com base neste gráfico constatamos que os sistemas individuais são os mais representativos com 45% do total de sistemas de frio (18 sistemas individuais), a seguir vêm as centrais de frio de circuito directo com 30% (12 centrais), posteriormente vem as unidades de condensação com 17,5 % (7 unidades) e finalmente aparecem as centrais de frio de circuito directo compactas e de frio de circuito indirecto com 2,5% e 5%, respectivamente (1 central de circuito directo compacta e 2 centrais de circuito indirecto).

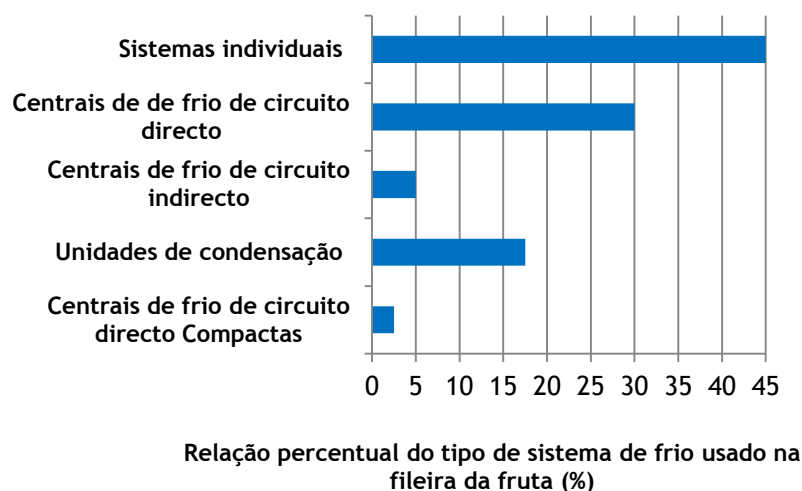


Figura 4.77 - Valor percentual dos tipos de sistemas de refrigeração usados na fileira das hortofrutícolas.

Os resultados do gráfico mostram que o maior número de sistemas de refrigeração são os sistemas individuais e as centrais de circuito directo. As razões pela preferência destes tipos de sistemas é que eles podem ser construídos à medida das necessidades de frio de cada um dos estabelecimentos, são de fácil controlo, e apresentam um desempenho energético satisfatório. Os principais tipos de compressores usados nesta fileira são na sua maioria semi-herméticos, conforme se observa no gráfico da figura 4.78. Estes tipos de compressores assumem uma representação de 81% do total de 64 compressores usados na fileira, seguidos dos compressores herméticos com 13% e finalmente os compressores abertos com 6%. Deste conjunto de compressores, os do tipo herméticos são utilizados nas unidades de condensação e na central de frio de circuito directo compacta e os compressores abertos são utilizados nas centrais de circuito directo, mais antigas.

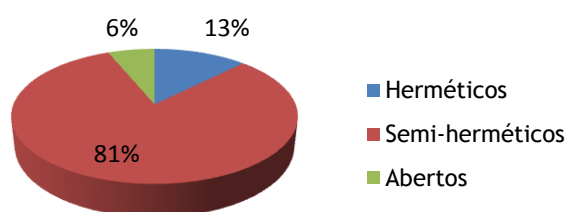


Figura 4.78 - Tipo de compressores usados na fileira das hortofrutícolas

A potência eléctrica nominal dos compressores da fileira das hortofrutícolas, à semelhança das outras fileiras, depende da planta da instalação frigorífica, que está relacionada com a dimensão e capacidade do estabelecimento (quantidade de fruta, número de câmaras). Geralmente os estabelecimentos possuem de uma até três câmaras de refrigeração e nestas situações para arrefecer os produtos, a opção utilizada é o sistema individual, unidade de condensação ou a central de circuito directo cuja potência eléctrica nominal dos compressores está compreendida entre 3,1 e 148 KW.

Com base na estimativa da potência eléctrica dos compressores descritos na secção 3.2 as potências eléctricas dos compressores utilizados nos sistemas de produção de frio desta fileira encontram-se compreendidas entre 3,1 a 148 kW.

De entre o conjunto dos sistemas de produção de frio só 2 sistemas estão configurados para utilização no arrefecimento rápido da fruta, os restantes estão preparados para a manutenção das condições ambientais nas câmaras de conservação da fruta. Esta característica dos sistemas de produção de frio resulta dos estabelecimentos optarem por instalações de frio, menores, mais baratas e para utilizar em pequenas quantidades de produtos (geralmente a colheita diária) e com uma permanência muito pequena nas câmaras de refrigeração.

A figura 4.79 mostra-se o tempo de operação dos compressores, que em termos gerais, traduz a tempo de trabalho das instalações frigoríficas usadas na fileira. Conforme se observa neste gráfico constatamos que a maioria dos compressores (53%) tem menos de 10 anos de operação, que cerca de 44% possui entre 10 e 20 anos e finalmente só cerca de 3 % possui mais de 20 anos. Este resultado permite-nos concluir que do conjunto das três fileiras, os compressores da fileira

da fruta são os que têm menor tempo de operação e por conseguinte esta fileira é a que apresenta instalações frigoríficas mais novas.

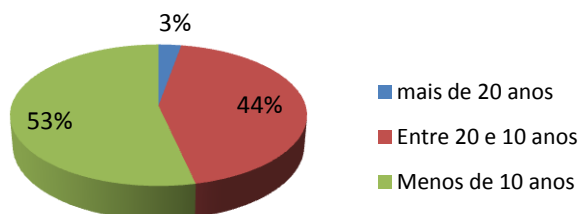
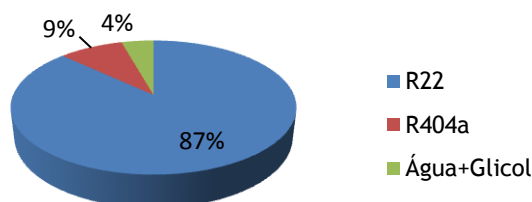


Figura 4.79 - Tempo de operação dos compressores usados na fileira das hortofrutícolas.

Os fluidos frigoríficos utilizados pelos vários sistemas de refrigeração, apresenta-se na figura 4.80. Conforme se observa na figura, o fluido frigorígeno R22 é dominante, com uma percentagem de utilização em toda a fileira de 87%, seguido do R404a com 9% e por último a mistura água glicol com 4%. Esta mistura funciona como fluido secundário da central de frio indirecto do estabelecimento F20, que satisfaz as necessidades de frio de 10 câmaras de atmosfera controlada.

Com estes resultados, constata-se que este sector tem uma tarefa exigente pela frente: proceder à substituição do fluido R22 até 01-01-2015, para cumprimento de acordos internacionais.



Figurara 4.80 - Tipo de fluidos usados na fileira das hortofrutícolas.

Em relação ao tipo de condensadores usados nesta fileira não se vislumbram grandes inovações. O gráfico que consta na figura 4.81 apresenta o valor percentual do tipo de condensadores que são usados nas instalações frigoríficas (de um universo 40 condensadores). Conforme se observa neste gráfico mais de 95% dos condensadores são arrefecidos a ar enquanto só 5 % são do tipo de condensadores evaporativos. Este resultado seria expectável, uma vez que a capacidade e dimensão das instalações frigoríficas são pequenas e por conseguinte nestas condições o condensador arrefecido a ar é mais usado por ser mais barato comparativamente aos condensadores evaporativos.

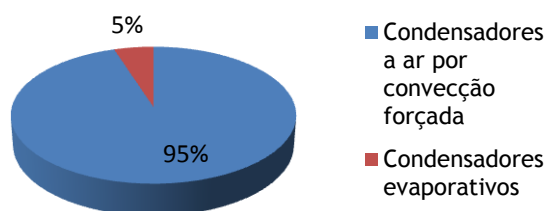


Figura 4.81- Tipo de condensadores usados na fileira das hortofrutícolas.

Os principais evaporadores utilizados nas câmaras de refrigeração convencionais, são do tipo compacto (tubos alhetados) com ventiladores axiais para movimentar o ar.

Na realização do descongelamento dos evaporadores são utilizados vários métodos dos quais registamos, a utilização de água (36,5%), do ar (8,5%), energia eléctrica (53%) e gás quente (2,5%). Para aumentar a eficiência do descongelamento por água, encontramos algumas instalações com permutadores de calor, instalados à entrada do condensador, para aquecimento da água que é utilizada no descongelamento. A água quente do tanque é depois bombeada para os evaporadores para realizar o descongelamento.

4.3.6. Consumos de energia

Na fileira das hortofrutícolas, a energia eléctrica é o único tipo de energia usado. As principais utilizações desta energia são para alimentar os sistemas de produção de frio, os equipamentos de calibragem da fruta, iluminação e equipamentos de escritório.

À semelhança das outras fileiras, o abastecimento eléctrico é feita em baixa tensão (BT) e média tensão (MT).

Da análise das facturas de energia eléctrica constatamos que nesta fileira também alguns estabelecimentos consomem energia reactiva e pagam o seu valor mensalmente em conjunto com os custos da electricidade.

Na tabela 4.15 apresentam-se os valores dos consumos de energia eléctrica consumida pelos diferentes estabelecimentos durante o ano de 2008, respectivos valores de energia primária e emissões de dióxido de carbono lançado (PDC).

Conforme se constata na tabela os estabelecimentos apresentam consumos de energia eléctrica muito diversificados. Estes consumos anuais encontram-se compreendidos entre os 8230 kWh e 477784 kWh. Uma das causas para esta variação de consumos está relacionada com a dimensão, o tipo de actividade e a sua sazonalidade.

Tabela 4.15 - Características do consumo de energia dos estabelecimentos da fileira de Hortofrutícolas.

Estabelecimentos	Energia usada	Potência contratada (KW)	Consumo de energia eléctrica (KWh)	Consumo de energia primária (Tep)*	PDC tCO ₂)
F1	Electricidade	62,8	117829	25,3	55,4
F2	Electricidade	41,4	24770	5,3	11,6
F3	Electricidade	12,5	8230	1,9	4,2
F4	Electricidade	55,6	147948	31,8	69,5
F5	Electricidade	10,0	23465	5,1	11,0
F6	Electricidade	19,0	25720	5,5	12,0
F7	Electricidade	19,0	23183	5,0	10,9
F8	Electricidade	98,0	248613	53,5	116,9
F9	Electricidade	46,5	42247	9,1	19,9
F10	Electricidade	41,1	39330	8,5	18,5
F11	Electricidade	53,9	35583	7,7	16,7
F12	Electricidade	19,0	11355	2,4	5,3
F13	Electricidade	38,0	20250	4,4	9,5
F14	Electricidade	70,5	57619	12,4	27,1
F15	Electricidade	18,9	16862	3,6	7,9
F16	Electricidade	65,0	42965	9,2	20,2
F17	Electricidade	41,0	40594	8,7	19,1
F18	Electricidade	37,5	37590	8,1	17,6
F19	Electricidade	38,1	26511	5,7	12,5
F20	Electricidade	262,0	477784	102,7	224,5
F21	Electricidade	371,9	258460	55,6	121,5
F22	Electricidade	58,0	43644	9,4	20,5
F23	Electricidade	58,7	107594	23,1	50,6

Em termos de energia primária, os 23 estabelecimentos consumiram 403,8 tep o que dá uma média de 17,5 tep por estabelecimento. Estes consumos energéticos proporcionaram uma emissão de 883 toneladas anuais de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera.

Tal como já foi referido anteriormente, os primeiros sete estabelecimentos exercem uma actividade anual, têm dimensões económicas diferentes e transaccionam quantidades de produtos inferiores em relação aos que exercem actividade sazonal. Os estabelecimentos F1 e F4 são os de maior dimensão dentro deste grupo e por conseguinte apresentam consumos energéticos muito superiores aos restantes desta categoria.

Os estabelecimentos F8 a F23 correspondem a centrais de fruta e, como se constata da tabela 4.15 existem três estabelecimentos (F8, F20 e F21) com consumos de energia eléctrica muito acima dos restantes. A causa para estas diferenças de consumos de energia está relacionada com diversos factores: o estabelecimento F8 apresenta infraestruturas e sistemas de refrigeração com elevada utilização e grande período de actividade anual; o estabelecimento F20 apresenta o tipo de processo tecnológico diferente e uma actividade mais prolongada durante o ano; e o F21 é um estabelecimento que apresenta problemas ao nível das infraestruturas e vedações das portas das câmaras de refrigeração. Estes três estabelecimentos têm em comum o maior período de

trabalho em relação aos restantes desta categoria. São igualmente os que possuem a maior potência contratada.

O gráfico apresentado na figura 4.82, mostra o perfil de consumo de energia eléctrica dos estabelecimentos da fileira das hortofrutícolas, repartido pelos de revenda e de centrais de frutas. Para além dos consumos individuais de cada um dos estabelecimentos este gráfico também apresenta o valor médio do consumo anual de energia eléctrica para os estabelecimentos de cada uma das categorias. O valor médio do consumo de energia eléctrica para os estabelecimentos das centrais de fruta não entra em linha de conta com o consumo de energia do estabelecimento F20. As razões para a sua exclusão têm a ver com o facto de este estabelecimento apresentar processos tecnológicos diferentes dos restantes da fileira.

Os valores médios do consumo anual de energia eléctrica dos estabelecimentos de revenda de produtos foram de 53,1 MWh e das centrais fruteiras foi de 68,6 MWh.

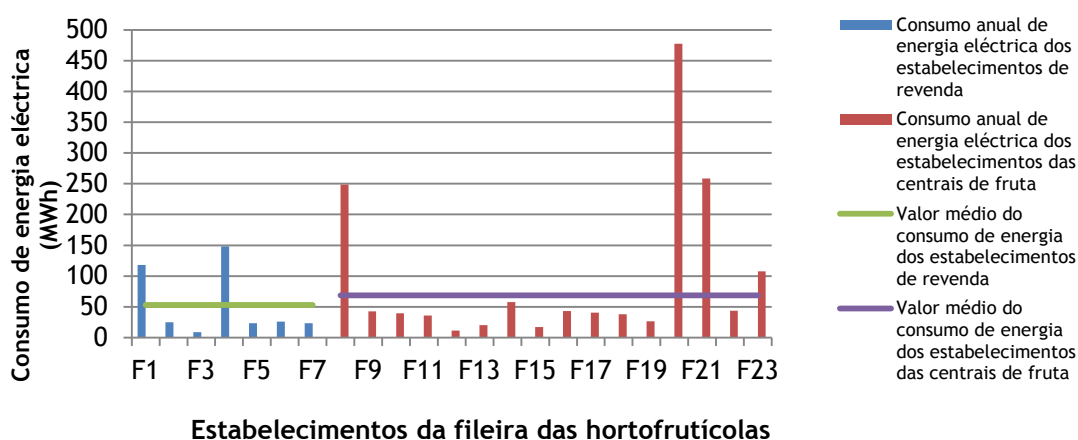


Figura 4.82 - Consumos de energia eléctrica dos estabelecimentos da fileira da hortofrutícolas.

Da avaliação das facturas de energia eléctrica constatamos que existem cinco estabelecimentos que apresentam custos com o consumo de energia reactiva. Estes custos poderiam ser facilmente evitados através da utilização de baterias de condensadores.

Na figura 4.83 mostra-se a distribuição percentual anual dos consumos de energia por classes tarifárias. Da análise a esta figura destaca-se os seguintes pontos:

- 1) Constata-se uma grande diversidade de opções tarifárias pelos diferentes estabelecimentos, entre as quais, temos a tarifa simples, bi-horária, tri-horária e tetra-horária;
- 2) Observa-se uma variação acentuada dos consumos de energia em algumas classes de consumo, tais como, por exemplo, o consumo de energia nas horas de vazio;
- 3) Constata-se que o estabelecimento F20 é o que apresenta o menor consumo de energia nas horas de ponta. Este resultado pode ser consequência do ajustamento de funcionamento dos equipamentos de frio uma vez que estes são de circuito indirecto e por conseguinte os equipamentos de produção podem trabalhar mais tempo fora das horas de ponta.

Também constatamos que o peso da potência das horas de ponta tem um peso aproximado de 12% nos custos totais de energia.

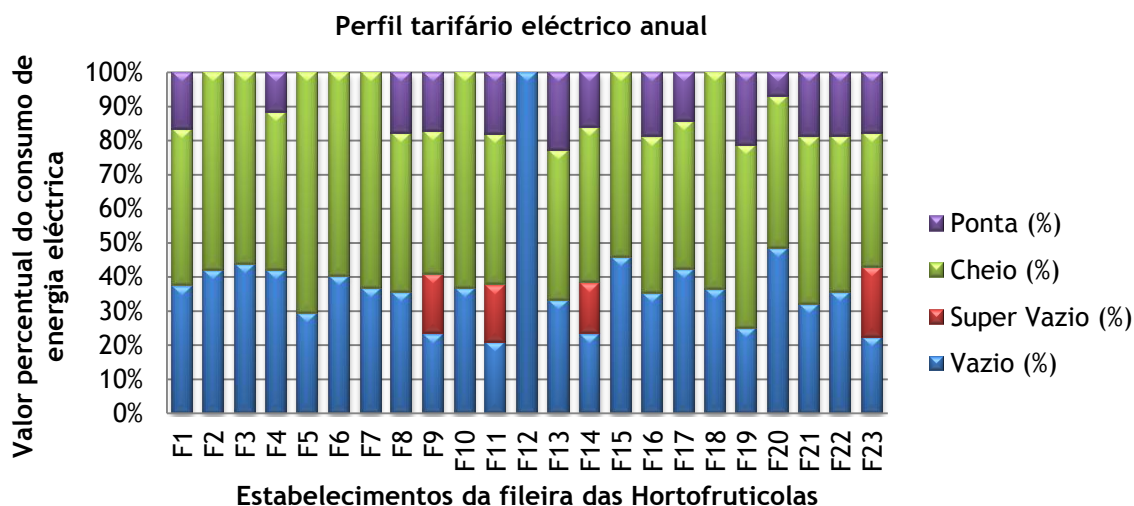


Figura 4.83 - Perfil do tarifário dos estabelecimentos de hortofrutícolas.

4.3.7. Indicadores energéticos e físicos

Os resultados dos indicadores específicos para a fileira da hortofrutícola, calculados com base nas equações eq.3.11, eq. 3.12, eq. 3.13, eq. 3.15, eq. 3.17, eq.3.18 e eq. 3.19, descritos no capítulo 3, apresentam-se na tabela 4.16 e 4.17. Os valores da tabela 4.16 dizem respeito aos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas e os da tabela 4.17 correspondem aos estabelecimentos de centrais de fruta.

Nesta fileira os dois primeiros indicadores CEEP e IEEE dizem respeito à mesma fonte de energia. Para os estabelecimentos de revenda de produtos de Hortofrutícolas o CEEP encontra-se compreendido entre 0,001 tep/ton_{MP} e 0,027 tep/ton_{MP}, e tem um valor médio de 0,02 tep/ton_{MP} e o IEEE apresenta-se entre 48,4 kWh/ton_{MP} e 122,2 kWh/ton_{MP}, com um valor médio 82,5 kWh/ton_{MP}. Constatamos que nesta categoria o valor do IEEE apresenta valores similares, com excepção do estabelecimento F5 que é mais elevado, neste caso, 122,2 kWh/ton_{MP}. Este resultado resulta dos ganhos térmicos da única câmara de refrigeração que o estabelecimento possui, que proporciona maior uso do sistema de refrigeração.

O terceiro indicador MPVC encontra-se compreendido entre 1,2 ton_{MP}/m³ e 3,1 ton_{MP}/m³. O valor médio é de 2 ton_{MP}/m³ e apesar de se verificar uma certa amplitude nos resultados, os estabelecimentos apresentam resultados próximo do valor médio o que significa que os estabelecimentos têm uma movimentação de produtos também similar. Os estabelecimentos que apresentam valores deste indicador mais elevado, significa que as câmaras foram ocupadas por uma maior quantidade de produtos.

O indicador número quarto, PECV apresenta valores compreendidos entre 16 W/m³ e 82 W/m³ e tem um valor médio de 32 W/m³. Também aqui os valores do indicador estão próximos do valor médio com excepção do valor do estabelecimento F3 que é de 82 W/m³. Este estabelecimento

possui uma única câmara de refrigeração com uma unidade de condensação. A potência nominal do compressor proporciona um valor elevado deste indicador.

Os resultados da tabela 4.16 mostram que o quinto indicador PECMP assume valores entre 10,6 W/ton_{MP} e 32,3 W/ton_{MP}, com o valor médio igual a 17,8 W/ton_{MP}. Também neste caso os valores se distribuem próximos do valor médio com excepção do valor correspondente ao do estabelecimento F3, que é de 32,3 W/ton_{MP}. Como se trata de um estabelecimento de pequena dimensão, movimenta anualmente menos produtos que os restantes e por conseguinte proporciona um valor mais elevado deste indicador.

O sexto indicador CEEV apresenta valores compreendidos entre 82,8 kWh/m³ e 216,6 kWh/m³ e o seu valor médio é de 158,6 kWh/m³. Este indicador é muito utilizado para analisar o desempenho energético dos estabelecimentos de armazenamento de hortofrutícolas e neste caso concluímos que o valor mais elevado é o do estabelecimento F3, que é igual a 216,6 kWh/m³. Este resultado deve-se ao volume reduzido da câmara de refrigeração, comparativamente para os consumos de energia que ocorreram.

O último indicador, CEEPC, da tabela 4.16 observa-se que ele se encontra compreendido entre 2,6 kWh/W e 8 kWh/W, e o seu valor médio é de 5,1 kWh/W. Neste caso o estabelecimento que apresenta o valor mais baixo é o estabelecimento F3 (2,6 kWh/W) e mais elevado é o F4 (8 kWh/W). Como já foi referido o estabelecimento F3 é de pequena dimensão enquanto o F4 é dos de maior dimensão.

Tabela 4.16 - Indicadores dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas

Estabelecimentos	CEEP (tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/ton _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (W/m ³)	PECMP (W/ton _{MP})	CEEV (kWh/m ³)	CEEPC (kWh/W)
F1	0,021	97,4	1,2	22	18,3	118,3	5,3
F2	0,017	81,2	2,2	44	20,3	175,9	4,0
F3	0,020	85,7	2,5	82	32,3	216,6	2,6
F4	0,018	82,1	2,3	23	10,3	186,3	8
F5	0,027	122,2	1,5	31	20,8	181,2	5,8
F6	0,001	48,4	3,1	32	10,6	149,1	4,6
F7	0,013	60,2	1,4	16	11,9	82,8	5,0
Valor Médio	0,020	82,5	2,0	36	17,8	158,6	5,1

Passando agora aos estabelecimentos da categoria de centrais de fruta, da tabela 4.17 conclui-se que os estabelecimentos F10 e F23 são os que apresentam o valor mais baixo e mais elevado do CEEP, neste caso 0,007 tep/ton_{MP} e 0,019 tep/ton_{MP}. O valor médio deste indicador é de 0,01 tep/ton_{MP}. Em relação ao IEEE, o valor médio é de 60,8 KWh/ton_{MP}. Também se observa que nesta categoria de estabelecimentos existe uma grande variação dos valores de IEEE, o que indicia utilização da energia diferentes para a mesma actividade. Em relação ao terceiro indicador MPVC, constata-se da tabela 4.17 que os seus valores estão compreendidos entre 0,4 ton_{MP}/m³ e 1,2 ton_{MP}/m³ e o seu valor médio é 0,8 ton_{MP}/m³. O estabelecimento F23 apresenta o valor mais

baixo porque ele tem pouca movimentação de fruta e uma grande volumetria das câmaras de refrigeração.

O PECV está compreendido entre 14 W/m³ e 44 W/m³ e apresenta um valor médio de 25 W/m³. Os estabelecimentos que correspondem ao valor mais baixo e mais elevado são os mesmos que limitam o MPCV, neste caso o estabelecimento F13 e F23, respectivamente.

O quinto indicador PECMP está compreendido entre 18,43 W/ton_{MP} e 57,97 W/ton_{MP} e com o valor médio igual a 34,36 W/ton_{MP}. Os valores deste indicador são quase sempre superiores aos valores do indicador PECV concluindo-se neste caso que ocorreu uma reduzida rotatividade dos produtos. Em oposição, na categoria dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas o PECMP é sempre inferior ao PECV porque ocorreu maior movimentação de produtos.

O sexto indicador, CEEV apresentou valores compreendidos entre 29,27 kWh/m³ e 59,17 kWh/m³ e o seu valor médio foi de 43,61 kWh/m³. Apesar de existir uma variabilidade dos valores deste indicador, constata-se que os valores estão próximos do valor médio. Finalmente o CEEPC apresenta valores que se encontram entre 1,04 kWh/W e 3,36 kWh/W e o valor médio é de 1,90 kWh/W.

Comparando as duas categorias desta fileira concluímos que o IEEE dos estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas (82,5 kWh/ton_{MP}) é superior ao obtido para os estabelecimentos de centrais de fruta (60,8 kWh/t_{MP}). Este resultado pode ser devido ao trabalho sazonal dos estabelecimentos das centrais de fruta.

Tabela 4.17 - Indicadores dos estabelecimentos de centrais de fruta.

Estabelecimentos	CEEP (tep/ton _{MP})	IEEE (KWh/ton _{MP})	MPVC (ton _{MP} /m ³)	PECV (W/m ³)	PECMP (W/ton _{MP})	CEEV (kWh/m ³)	CEEPC (kWh/W)
F8	0,013	61,9	0,8	16	18,43	52,25	3,36
F9	0,015	69,4	0,5	29	56,54	35,56	1,23
F10	0,007	32,1	1,0	19	18,76	32,61	1,11
F11	0,010	45,3	0,6	22	34,01	29,27	1,33
F12	0,008	37,2	0,9	19	21,31	32,77	1,75
F13	0,008	37,5	1,2	44	35,93	46,18	1,04
F14	0,014	64,0	0,9	31	34,44	58,14	1,86
F15	0,013	59,2	0,8	27	32,28	50,18	1,83
F16	0,009	42,1	0,9	27	31,37	35,80	1,34
F17	0,019	88,2	0,5	20	39,13	45,54	2,26
F18	0,013	62,1	0,8	27	33,06	50,73	1,88
F19	0,014	64,0	0,5	29	57,97	32,39	1,10
F20	0,017	78,1	0,7	16	24,18	52,11	3,23
F21	0,018	83,2	0,7	22	31,5	59,17	2,64
F22	0,013	58,5	0,9	38	44,24	49,94	1,32
F23	0,019	89,5	0,4	14	36,61	35,08	2,45
Valor Médio	0,010	60,8	0,8	25	34,36	43,61	1,90

Da análise dos resultados do indicador MPVC das duas categorias de estabelecimentos constatamos que os estabelecimentos de revenda de produtos apresentam valores superiores. Estes resultados indicam que durante o ano, cada metro cúbico de câmara de refrigeração dos estabelecimentos de revenda de produtos foi utilizado por uma maior quantidade de matéria-prima, ou seja, existe uma maior circulação de matéria-prima nas câmaras. Resulta portanto, neste caso, que as câmaras dos estabelecimentos das centrais de fruta tiveram menor rotatividade ou movimentação da carga, ou que as câmaras foram ocupadas a carga parcial.

Em relação ao quarto indicador (PECV), os resultados mostram que o valor médio para os estabelecimentos de revenda de produtos e das centrais de fruta são de $36,0 \text{ W/m}^3$ e de $25,0 \text{ W/m}^3$, respectivamente. Este indicador está directamente relacionado com as características técnicas das instalações de frio, nomeadamente com a quantidade de frio disponibilizado por unidade de volume das câmaras. Neste caso constatamos que o valor obtido para os estabelecimentos de revenda de produtos é superior ao que é disponibilizado aos estabelecimentos das centrais de fruta. Tendo em conta a fase de arrefecimento rápido dos produtos nas centrais de fruta, o que implica um aumento da potência exigida aos sistemas de refrigeração, seria de esperar que os resultados fossem o inverso destes. No entanto, como já foi referido anteriormente, são poucos os estabelecimentos que estão dimensionados para realizar o arrefecimento rápido da fruta (F14 e F22), mas sim preparados para a conservação da mesma, pelo que não é de estranhar este resultado.

Por outro lado, atendendo à grande variabilidade deste indicador para os vários estabelecimentos podemos daqui concluir que na fileira não existe um valor padrão para a potência eléctrica dos compressores de refrigeração por metro cubico de câmara, tendo em conta que os produtos a conservar são similares.

Já o quinto indicador (PECMP) fornece informação da potência eléctrica dos compressores dos estabelecimentos por unidade de matéria-prima que é conservada nas câmaras de refrigeração. Conforme se constata nas tabelas, o valor médio para os estabelecimentos de revenda de produtos e para as centrais de fruta é de $17,79 \text{ W/ton}_{\text{MP}}$ e $34,36 \text{ W/ton}_{\text{MP}}$, respectivamente. Neste caso constatamos que a potência eléctrica dos compressores aplicados nos estabelecimentos de central de fruta é aproximadamente o dobro da potência eléctrica dos compressores afectos aos estabelecimentos de revenda de produtos, por cada tonelada de produto. Este resultado significa maior capacidade para o arrefecimento o que é importante para a realização do arrefecimento rápido dos produtos, no caso dos estabelecimentos de centrais de fruta.

Em relação ao consumo específico de energia eléctrica por unidade de volume (CEEV), constatamos que os estabelecimentos dedicados à revenda de produtos apresentam resultados com valores superiores comparativamente aos obtidos para as centrais de fruta. De acordo com os resultados o valor deste indicador para os estabelecimentos de revenda é cerca do dobro do valor médio dos estabelecimentos de centrais de fruta que é de $43,61 \text{ kWh/m}^3$.

Finalmente em relação ao consumo específico de energia eléctrica por unidade de potência eléctrica dos compressores (CEEPC) os resultados também indicam que os estabelecimentos de revenda de produtos apresentam um valor bastante superior ao valor médio dos estabelecimentos de centrais de fruta que são de 5,02 kWh/W e 1,90 kWh/W, respectivamente. Mais uma vez esta diferença está relacionada com o carácter de sazonalidade da actividade, isto é, anual para os primeiros e sazonal para os segundos estabelecimentos.

No gráfico da figura 4.84 apresentamos os valores do IEEE para os estabelecimentos de revenda e para as centrais de hortofrutícolas. Os valores médios são 82,5 kWh/ton_{MP} e 60,8 kWh/ton_{MP}, respectivamente. Este gráfico mostra, que existe uma grande variabilidade do valor do IEEE dos diferentes estabelecimentos de cada categoria em relação ao valor médio da actividade.

Se usarmos o valor médio de IEEE como valor de referência, para cada uma das categorias de estabelecimentos e se todos os estabelecimentos implantassem medidas que proporcionassem a obtenção de consumos específicos idênticos aos valores médios dos estabelecimentos de revenda de produtos e de centrais de fruta obtêm-se uma poupança de energia eléctrica no valor de 18,9% e de 17,2%, respectivamente.

Em relação aos valores de referência apresentados na tabela 1.7, constatamos que o valor médio do IEEE das centrais de fruta (60,8 kWh/ton_{MP}) é inferior ao valor apresentada para os estabelecimentos de Espanha que é de 77,4 kWh/ton_{MP} (ICAEN, 2010) e próximo do valor médio dos estabelecimentos de revenda (82,5 kWh/ton_{MP}). Entretanto, uma das razões para o baixo valor dos nossos estabelecimentos de centrais de fruta tem a ver com o facto de não ser prática corrente a realização do arrefecimento rápido da fruta, da mesma maneira como é feito em Espanha.

Outro resultado que se destaca na tabela 1.7 é o valor médio do indicador CEEV dos estabelecimentos das centrais de fruta que é de 43,61 kWh/m³ e portanto fica dentro do intervalo de 30 a 50 kWh/m³ apresentado por Billiard (2003).

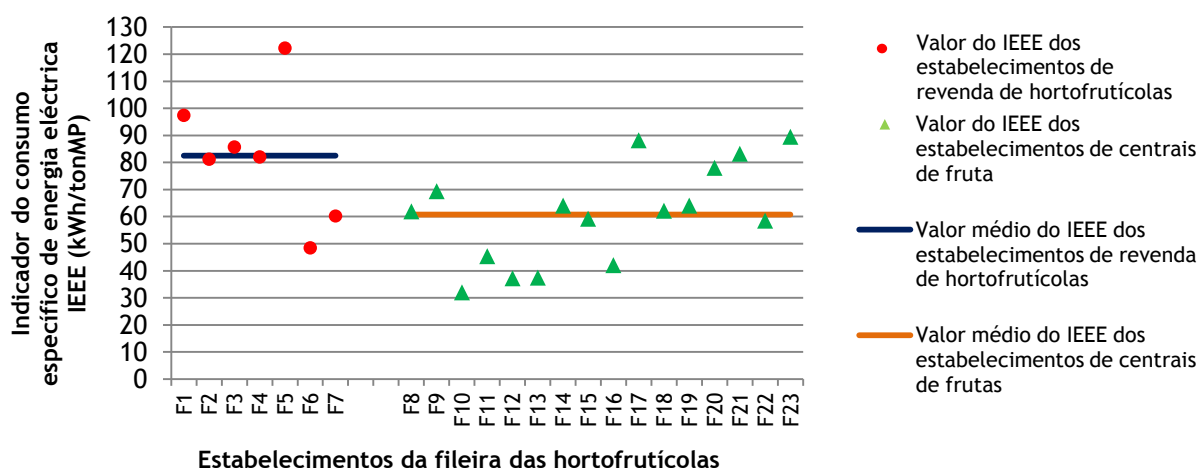


Figura 4.84 - Consumo específico de energia eléctrica (IEEE) para os estabelecimentos de revenda de produtos e de centrais de frutas.

4.4- FACTORES QUE INFLUENCIAM A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS ESTABELECIMENTOS

Do trabalho de campo, verificamos que nesta fileira existem vários factores que assumem uma grande influência nos resultados do desempenho energético dos estabelecimentos. Estes factores são muito diversificados e no mesmo estabelecimento podem existir alguns que contribuem positivamente e outros que contribuem negativamente. O desempenho energético global de um estabelecimento resulta portanto do peso que uns apresentam em relação aos outros.

Alguns destes factores estão na origem dos valores encontrados para os resultados dos indicadores do consumo específico de energia eléctrica (IEEE). O indicador IEEE dá-nos assim uma preciosa informação para descortinar as boas práticas que os estabelecimentos implementam ao lidar com a energia.

Por comparação, dentro da mesma categoria de estabelecimentos podemos constatar os factores que mais contribuem para a diferença dos indicadores (IEEE) que no nosso caso traduz o índice de eficiência energética do estabelecimento.

Para melhor dar a conhecer o efeito dos factores anteriormente apresentados sobre o IEEE, apresentamos de seguida alguns casos particulares observados em alguns estabelecimentos, durante os trabalhos de campo e que têm efeitos sobre os valores do indicador de consumo específico de energia eléctrica:

1) A idade do estabelecimento e a volumetria edificada associadas a um isolamento das infra-estruturas deficiente

O estabelecimento CM3, foi construído em 1982 e apresenta no seu conjunto, a maioria dos problemas acima referidos, contribuindo de forma negativa para o indicador específico de energia IEEE, fazendo com que este apresente o valor de IEEE mais alto do conjunto dos estabelecimentos, ou seja, 249 kWh/t_{MP}. Apesar das instalações mais antigas não apresentarem infra-estruturas preparadas adequadamente para a minimização de entrada de cargas térmicas para o seu interior, é claro que o aumento da volumetria vem ainda agravar mais o problema pelo número de portas, janelas, área de cobertura, entre outras.

Na figura 4.85 apresentamos uma imagem das instalações do estabelecimento CM3.



Figura 4.85- Imagem das instalações do estabelecimento CM3.

II) A qualidade dos materiais das infra-estruturas, nomeadamente as envolventes e a cobertura e ainda das câmaras de refrigeração contribuem fortemente para a melhoria da eficiência energética do estabelecimento.

O estabelecimento CS10 tem as envolventes e câmaras de refrigeração construídas em painéis de poliuretano com uma espessura de 120 mm e a cobertura em painéis de poliuretano de 40 mm. Para além disso, ainda possui um desvão com uma altura idêntica à da zona de trabalho (4m) e está bem ventilado. Este estabelecimento apresenta o mais baixo valor do IEEE, neste caso igual a 262,1 kWh/tonMP. Na figura 4.86 mostramos uma imagem das características das infra-estruturas deste estabelecimento.



Figura 4.86 - Imagem das instalações do estabelecimento CS10.

III) Tempo de operação dos equipamentos de refrigeração e respectiva manutenção são dois factores fundamentais para o desempenho energético dos sistemas de produção de frio.

O estabelecimento CS5 apresenta infra-estruturas satisfatórias e desempenha o processo produtivo com o rigor idêntico aos demais. Entretanto os seus sistemas de produção de frio possuem todos, um tempo de operação muito elevado e têm descurado a manutenção dos mesmos. Constatamos que estes factores condicionam a eficiência frigorífica dos sistemas de refrigeração e em particular o desempenho energético do estabelecimento. Em consequência, este estabelecimento apresenta um indicador IEEE muito superior à média, ou seja, um valor de 897,6 kWh/tonMP. Na figura 4.87, observa-se o mau estado de conservação de alguns elementos dos sistemas de refrigeração.



Figura 4.87 - Estado de conservação e manutenção dos sistemas de produção de frio do estabelecimento CS5.

IV) A localização dos equipamentos de frio e as suas condições operacionais têm uma forte influência no desempenho energético dos estabelecimentos, fundamentalmente quando sujeitos a uma forte acção das condições ambientais exteriores adversas.

No estabelecimento CP8 encontramos três unidades de secagem instaladas no exterior dos estabelecimentos. O isolamento das condutas de insuflação de ar encontra-se bastante danificado e em alguns casos é mesmo inexistente. Estas condições proporcionam desperdício de energia para o meio exterior quando estão em funcionamento, durante o verão a fornecer frio e durante o inverno a fornecer calor. Estas condições, juntamente com outras que descrevemos a seguir, proporcionam que o IEEE deste estabelecimento seja superior ao valor médio encontrado para esta categoria, isto é, um valor de 1693,5 kWh/tonMP. Na figura 4.88 apresentamos uma imagem de uma unidade de tratamento de ar e de um termograma da mesma.

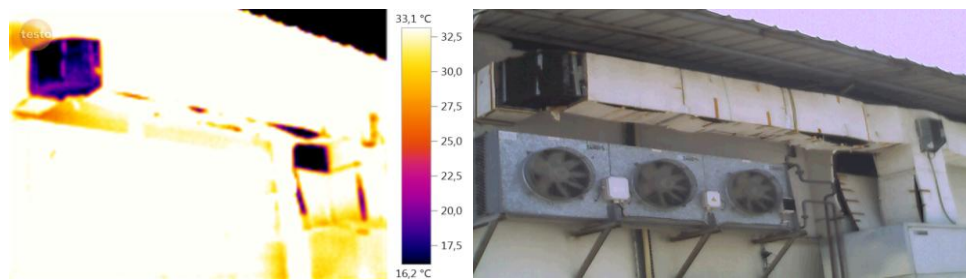


Figura 4.88 - Vista de uma unidade de secagem do estabelecimento CP8 e correspondente imagem termográfica.

V) O exercício da actividade a um nível muito abaixo da capacidade nominal para o qual é desenhado o estabelecimento é um factor fortemente penalizador para o seu desempenho energético.

O estabelecimento CP5 trabalha muito abaixo da sua capacidade nominal (carga parcial), possui algumas câmaras em mau estado de conservação. Por conseguinte o seu indicador IEEE é o mais elevado de todos os estabelecimentos desta categoria, ou seja, 2202,3 kWh/ton MP. Na figura 4.89 apresentamos uma imagem do estabelecimento e de uma câmara de salga a carga parcial.



Figura 4.89 - Vista do estabelecimento CP5 e de uma câmara de salga a carga parcial.

VI) As condições ambientais exercem uma influência muito grande no desempenho dos sistemas de produção de frio.

Para avaliar o efeito das condições ambientais sobre o consumo de energia do estabelecimento e o peso dos sistemas de refrigeração, quantificamos os consumos de energia em dois períodos distintos do ano, neste caso nos meses de Janeiro e Julho. Para medir os consumos de energia instalamos um analisador de energia no quadro geral do estabelecimento com base no modelo da fronteira do tipo global, conforme representada na figura 3.4. As medições foram efectuadas nos períodos compreendidos entre 16-01-2011 a 30-01-2011 e 10-07-2011 a 24-07-2011. O estabelecimento seleccionado foi o CP8 por apresentar características indiciadoras de grandes desperdícios de energia.

Nas figuras 4.90 e figuras 4.91 apresentam-se os diagramas de consumos de energia eléctrica diários do estabelecimento, referentes aos períodos em análise, respectivamente. Nestes gráficos estão representados a vermelho os consumos correspondentes aos domingos que são dias em que não ocorreu actividade e por conseguinte, toda a energia foi consumida pelos sistemas de refrigeração. Nestes gráficos apresentamos os valores médios do consumo de energia afectada ao frio através da linha de cor de laranja.

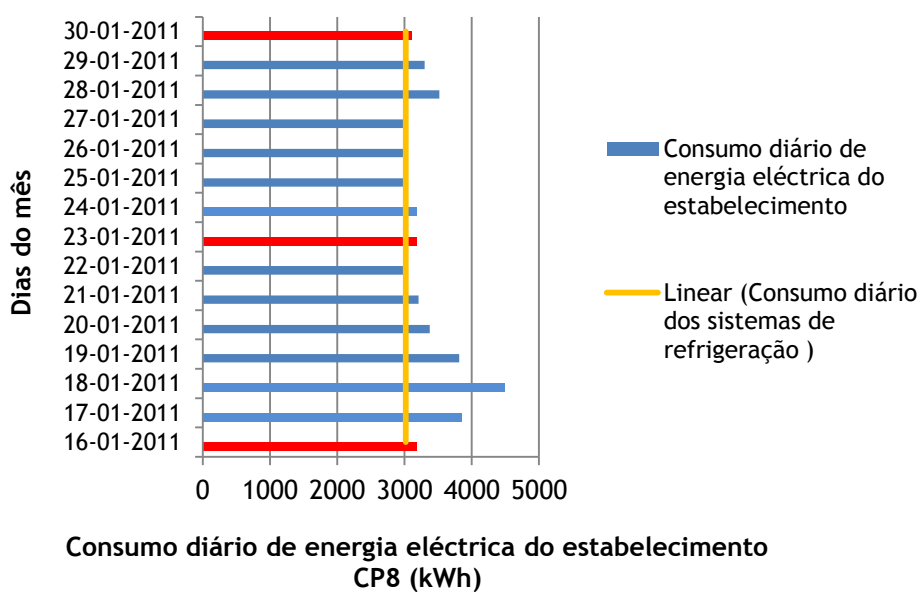


Figura 4.90- Consumos de energia eléctrica do estabelecimento de fabrico de presunto CP8, durante o período de tempo de análise do mês de Janeiro de 2011.

O consumo total de energia eléctrica obtido para o período de Janeiro (15 dias) foi de 49884 kWh e no período de Julho foi de 62707,5 kWh, registando-se um aumento de 12823,5 kWh (25,7%). O valor do consumo médio diário de energia eléctrica nos meses de Janeiro e de Julho, foi de 3325,6 kWh e 4180,5 kWh, verificando-se assim um aumento de consumo de energia eléctrica diário em Julho de 855 kWh (20,5%).

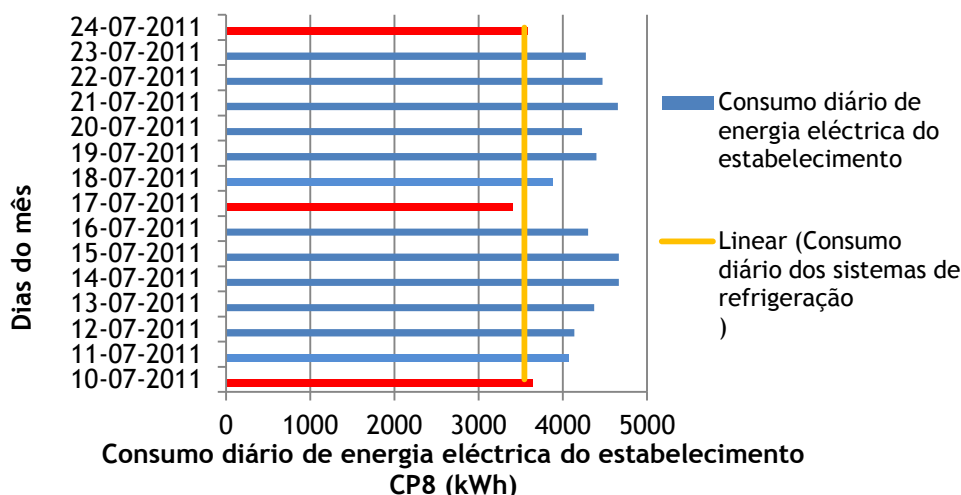


Figura 4.91. Consumos de energia eléctrica do estabelecimento de fabrico de presunto CP8, durante o período de tempo de análise, do mês de Julho de 2011.

Durante o período nocturno o estabelecimento não realizou actividade laboral em ambos os períodos e portanto os consumos foram da responsabilidade dos sistemas de frio. Nestas condições os consumos de energia no período de Janeiro e de Julho foram de 22577,4 kWh e 27357,6 kWh, respectivamente. Neste caso verificou-se de Janeiro para Junho um aumento de 21%.

A análise comparativa do consumo de energia eléctrica durante o fim-de-semana (consumos directamente afectos aos sistemas de refrigeração) com igual período da semana, permite-nos obter o peso do frio no estabelecimento. Durante o mês de Julho, o consumo médio de energia eléctrica no fim-de-semana no período foi de 3541 KWh e em igual período da semana, foi de 4351,4 KWh, correspondendo o peso do frio igual a 81,4 %.

Na figura 4.92 apresenta-se ainda o gráfico com o perfil de carga correspondente a três dias do período de tempo do mês de Janeiro.

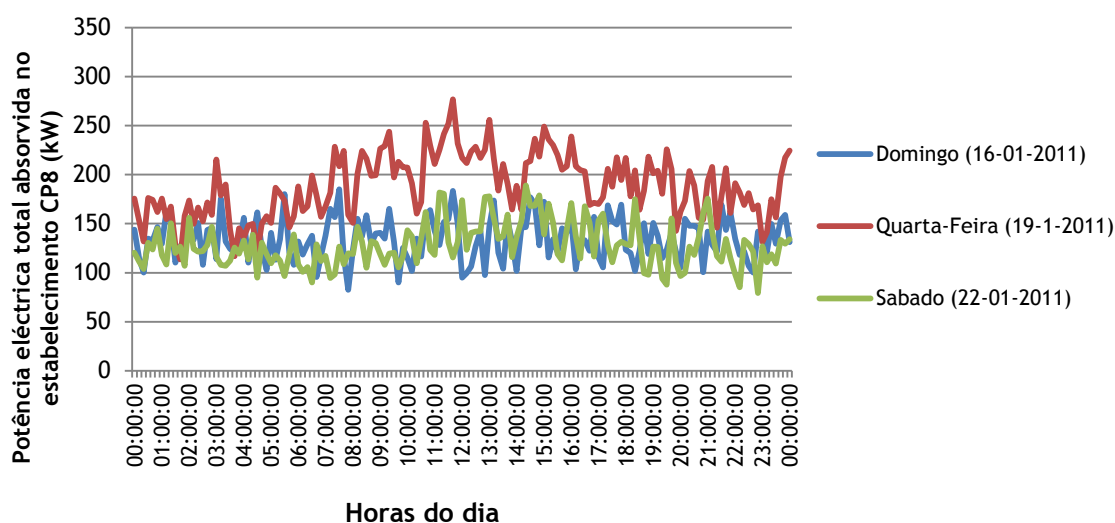


Figura 4.92 - Diagramas de carga do estabelecimento de fabrico de presunto CP8, referentes a três dias de Janeiro de 2011.

Deste diagrama constatamos que os perfis de carga correspondentes aos dois dias do fim de semana (Sábado e Domingo) são semelhantes. Esta similaridade ocorre porque em ambos os dias só funcionam os sistemas de refrigeração. Constata-se igualmente que esta semelhança também ocorre no período nocturno do dia 19-01-2011 (Quarta-Feira), desde as 20:00 horas até às 7:00 horas da manhã e que, fora deste período de tempo a potência eléctrica absorvida no estabelecimento aumenta por causa das operações da actividade diurnas.

Ainda realizamos a medição do consumo de energia de uma unidade de secagem no período de Julho. Para o efeito, instalamos um segundo analisador no quadro parcial, utilizando neste caso, uma fronteira do tipo isolado, de acordo com a figura 3.5.

Esta unidade de secagem tinha como função assegurar as condições ambientais inerentes à operação de salga (temperaturas baixas e humidades relativas altas (4 a 5 °C e 85 a 90%).

A unidade encontrava-se instalada no exterior da câmara de atmosfera controlada, sendo o ar insuflado para o interior da câmara através de duas condutas de insuflação de ar, uma de cada lado, conforme se observa na figura 4.93.



Figura 4.93 - Imagem de uma unidade de tratamento de ar do estabelecimento CP8 utilizada para realização da salga de presunto.

Esta unidade de secagem apresenta umas características similares às foram apresentadas na subsecção 2.2.4.5.1, com um condensador com três ventiladores conforme se observa na figura. Os ventiladores do condensador trabalham modularmente consoante a capacidade de condensação necessária. A unidade possui ainda um ventilador centrífugo, perfazendo no conjunto uma potência nominal de 26,70 KW.

Durante o período em análise, a unidade de secagem consumiu aproximadamente 4685,4 kWh a que corresponde uma média diária de 312,4 kWh. Neste caso, tendo em conta o consumo global do estabelecimento durante este período (62707,5kWh) constata-se que a unidade apresenta um consumo médio de energia eléctrica de cerca de 7,4% do consumo total do estabelecimento.

Nas figuras 4.94, apresenta-se o gráfico com os diagramas de carga, temperatura interior da câmara de refrigeração e a temperatura no interior do desvão, correspondente ao dia 14 de Julho. Da análise desta figura observamos que a potência eléctrica máxima da unidade foi de cerca de 25 kW atingida pelas 16:00 horas. Neste dia não decorreu qualquer actividade no

interior da câmara pelo que a unidade não foi desligada durante o dia. Nestas condições verifica-se que a temperatura interior da câmara permanece constante e igual a 4°C, registando-se um pequeno aumento pelas 15.12 horas, momento em que se realizou o descongelamento do evaporador.

Constatamos que a partir das 10:20 horas a unidade tem que trabalhar por maiores períodos de tempo para manter a temperatura desejada no interior da câmara, por causa de um conjunto de factores cumulativos: temperatura exterior elevada (36°C), perdas de energia nas condutas de insuflação (ver imagem de termografia da figura 4.88) e entrada de cargas termicas de condução nas paredes com particular destaque para o tecto que está sujeito a temperaturas máximas próximas dos 50°C e a espessura das paredes e tecto é de 80 mm (espessura do painel reduzida).

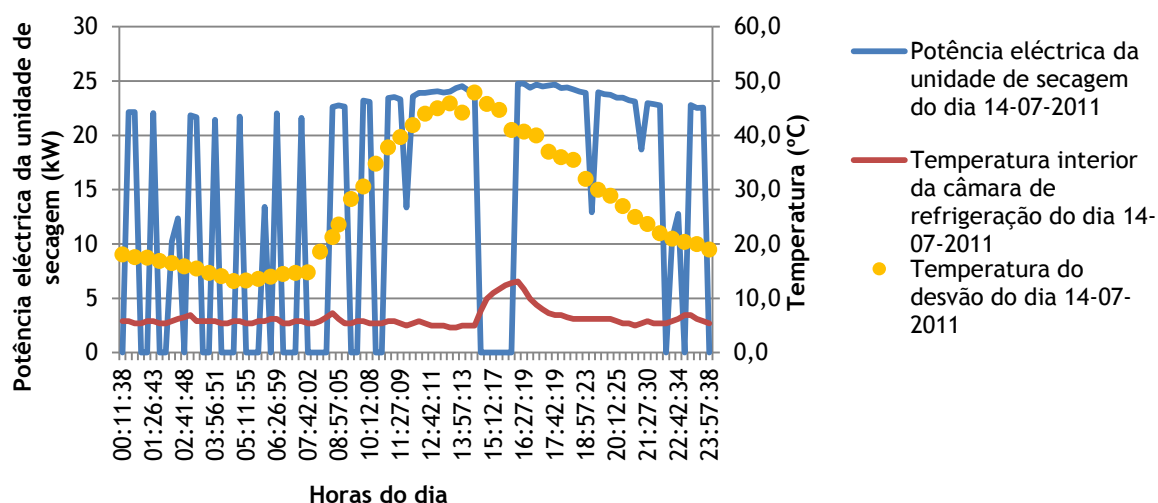


Figura 4.94 - Diagrama de carga da unidade de secagem, da temperatura interior da câmara de refrigeração e do desvão do dia 14-07-2011, do estabelecimento CF8.

VII) *Sistemas de produção de frio, instaladas no interior do desvão não ventilado*

Um desvão não ventilado com equipamento térmico instalado proporciona temperaturas interiores muito elevadas. No interior do desvão do estabelecimento L6 da categoria de fabrico de queijo de modo industrial, encontrava-se instalado duas unidades de condensação sujeitas às temperaturas do desvão não ventilado. Como a situação era inadequada para o bom funcionamento destes dois sistemas de refrigeração propusemos ao proprietário do estabelecimento duas alterações: i) abertura de janelas na envolvente do desvão para proporcionar a sua ventilação; ii) alteração da localização dos sistemas de refrigeração para junto da parede lateral do desvão, com duas aberturas na parede da envolvente do desvão para os condensadores dos sistemas aspirarem ar fresco do exterior.

No gráfico da figura 4.95 apresentamos os resultados dos valores das temperaturas medidos no interior do desvão do estabelecimento F6, para a situação do desvão não ventilado (dias 22, 24, 25, 26, 27 e 30 de Julho de 2008) onde as temperaturas atingem valores superiores a 50 °C, e desvão ventilado (dias 26 e 27 de 2009) em que as temperaturas máximas que se verificaram não ultrapassaram os 36 °C.

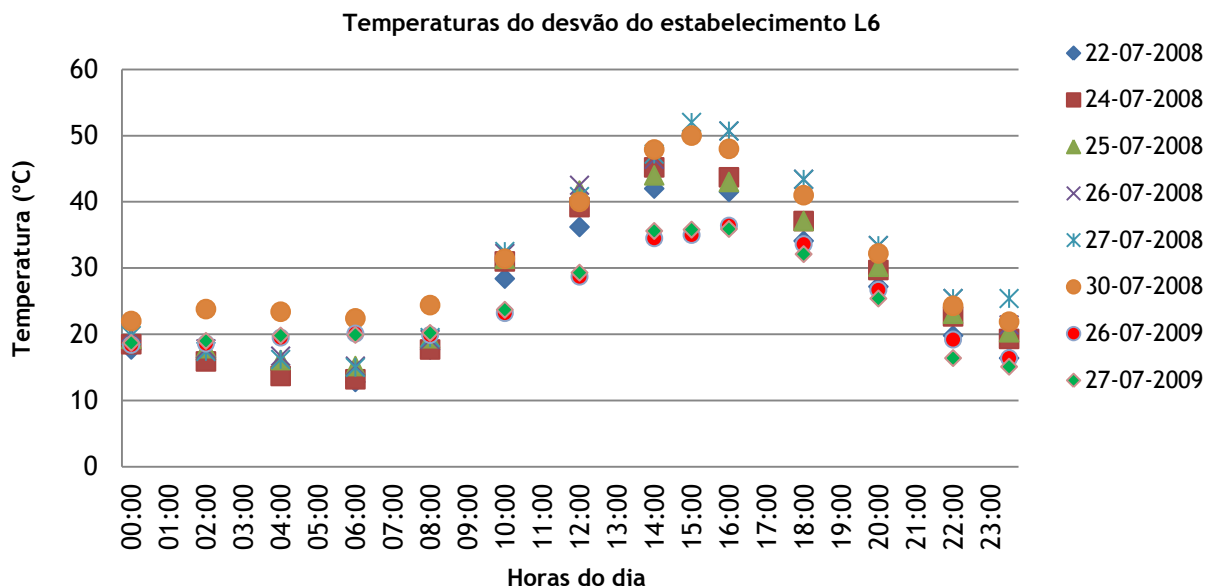


Figura 4.95 - Temperaturas do desvão antes e depois de construídas as grelhas de ventilação.

Na figura 4.96 apresentamos a vista do interior do desvão não ventilado e também a vista do exterior do desvão mas agora já com grelhas de ventilação.



Figura 4.96 - Vista interior do desvão sem janelas (lado esquerdo) e com janelas (lado direito).

Entretanto, as duas unidades de condensação foram transferidas para próximo das paredes laterais do desvão, onde começaram a aspirar ar do exterior, conforme se pode observar na figura 4.97.



Figura 4.97 - Vista das unidades de condensação instaladas no interior do desvão (lado esquerdo) e nas paredes laterais do desvão (lado direito).

Na figura 4.98 apresenta-se o gráfico com indicação dos valores do indicador do consumo específico de energia eléctrica de todos os estabelecimentos desta categoria relativos ao ano de 2008. Neste gráfico encontra-se o IEEE do estabelecimento L6, antes da intervenção e depois da intervenção para os anos de 2009 e 2010.

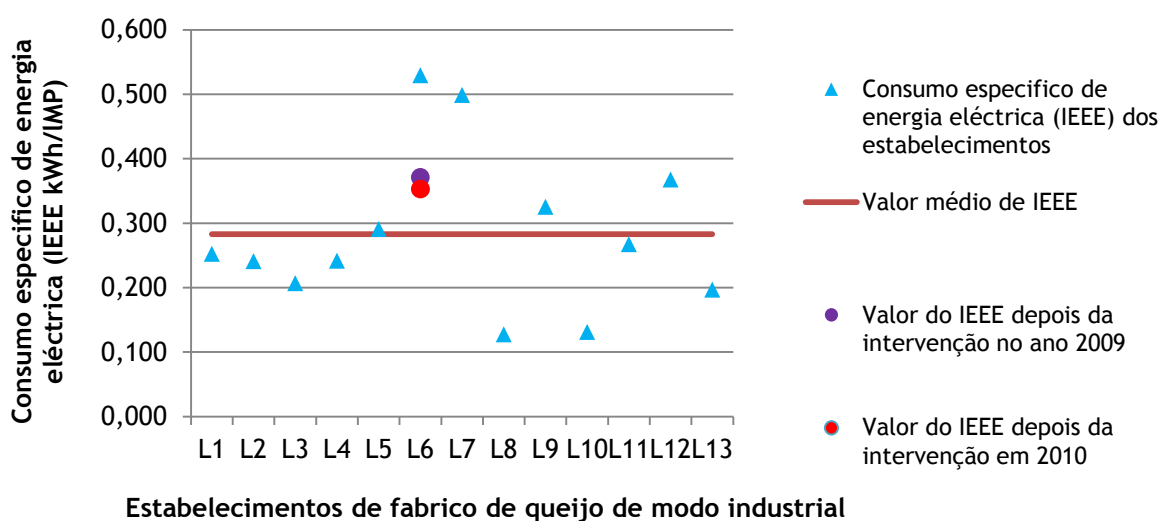


Figura 4.98 - Valores do consumo específico de energia eléctrica (IEEE) dos estabelecimentos de fabrico industrial relativos ao ano de 2008 com indicação do ganho obtido no estabelecimento L6.

O indicador específico de energia eléctrica (IEEE) do estabelecimento L6 no ano de 2008, antes da intervenção apresentava um valor de 0,530 kWh/IMP, ou seja muito superior ao valor médio do IEEE dos estabelecimentos desta categoria, que era de 0,283 kWh/IMP. Após a intervenção referida anteriormente o valor do IEEE do estabelecimento diminuiu consideravelmente, apresentando em 2009 um valor de 0,371 kWh/l_{MP} e em 2010 um valor de 0,350 kWh/l_{MP}. Entre o

ano de 2008 e 2010, com o estabelecimento a funcionar com mesmas condições de trabalho e as mesmas tecnologias, conseguiu-se proporcionar uma diminuição de 22,9 % do indicador IEEE.

VIII) Abertura excessiva das portas das câmaras de refrigeração dos produtos.

Atendendo às características da actividade dos estabelecimentos de revenda de produtos, as portas das câmaras de refrigeração abrem-se com muita frequência para retirar os produtos para os clientes, com a consequente infiltração de ar para o seu interior. Na maioria dos casos, são os próprios clientes que entram no interior das câmaras para recolher os produtos que desejam, proporcionando um maior tempo das portas abertas, conforme se observa na figura 4.99.

Apesar das portas possuírem uma protecção de fitas, a infiltração de ar é sempre elevada. Também retiram os produtos do interior da câmara para exposição e no final do dia os produtos não vendidos são novamente colocadas no interior das câmaras provocando aumento da carga térmica.



Figura 4.99 - Estabelecimento F1 com as portas abertas e os produtos fora da câmara.

Estas são as principais causas que justificam o elevado valor do IEEE do estabelecimento F1, que neste caso é de 97,4 kWh/ton_{MP} em oposição ao estabelecimento que exerce uma actividade similar e não tem procedimentos e deficiências como as que foram descritas e por isso apresenta um IEEE de 82,1 kWh/ton_{MP}.

IX) Cortinas de ar nas portas das câmaras de refrigeração.

A utilização de dispositivos do tipo cortinas de ar é uma boa solução para reduzir as infiltrações de ar no interior das câmaras de refrigeração. Os estabelecimentos F2 e F7 exercem uma actividade semelhante, apesar de terem dimensões diferentes mas o estabelecimento F7 possui uma cortina de ar, dentro da câmara de refrigeração, instalada por cima da porta da câmara de refrigeração, conforme se observa na figura 4.100. Este equipamento é accionado sempre que a porta da câmara abre impedindo a entrada de ar exterior. O indicador de consumo específico de energia eléctrica deste estabelecimento (F7) é de 60,2 kWh/ton_{MP} enquanto o do estabelecimento F2 é 81,2 kWh/ton_{MP}.

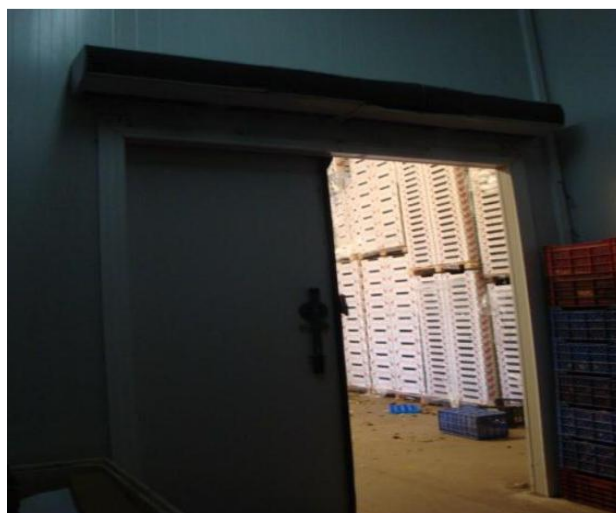


Figura 4.100 - Câmara com cortina de ar no interior.

X) Existência de antecâmaras para protecção das câmaras de refrigeração

A existência de antecâmaras contribui positivamente para a melhoria da eficiência energética dos estabelecimentos, conforme apresentamos na figura 4.101. O estabelecimento F6 possui 2 câmaras de refrigeração no interior de uma antecâmara climatizada. Esta opção permite que os produtos sejam descarregados e as encomendas sejam preparadas no interior da antecâmara protegendo a entrada de ar para o interior das câmaras de refrigeração. Esta opção permite que as câmaras trabalhem com uma temperatura de evaporação mais elevada em relação às que se verificam nos outros estabelecimentos proporcionando neste caso uma melhoria da eficiência energética dos sistemas de refrigeração. Em relação aos outros estabelecimentos de revenda de produtos, este é o que apresenta o indicador específico de energia eléctrica mais baixo, que é de 48,4 kWh/ton_{MP}. Este estabelecimento também apresenta o melhor valor do MPVC, que é de 3,1 ton_{MP}/m³.



Figura 4.101 - Câmaras de refrigeração instaladas no interior de uma antecâmara climatizada.

XI) Paredes das câmaras com reduzida espessura e expostas a elevadas cargas térmicas

A utilização de espessura das paredes das câmaras de refrigeração adequadas para permitir a mínima entrada dos fluxos de calor por condução é uma das medidas importantes em termos de eficiência energética. O estabelecimento F5 possui uma câmara de refrigeração com umas paredes com 0,06 metros de espessura. Durante um grande período do tempo no ano (Maio a Outubro) registam-se temperaturas no interior do estabelecimento de 40°C e no desvão superiores a 50°C.

Segundo Batlle (2004), na Europa são recomendados coeficientes de transmissão de calor de 9,3 W/m². Para as condições ambientais que se verificam no interior deste estabelecimento Batlle (2004) e Costa (1982) sugere uma espessura para as paredes da câmara de refrigeração da ordem dos 0,1 metros, portanto superior à espessura da câmara existente.

O consumo específico de energia eléctrica IEEE deste estabelecimento é o mais elevado dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas, neste caso, com o valor de 122,2 kWh/ton_{MP}, muito à custa deste factor e de outros que estão relacionados com algumas fissuras existentes nas paredes da câmara de refrigeração.

XII) Vedação das portas das câmaras de refrigeração danificadas ou inexistentes.

A vedação das portas das câmaras de refrigeração é um factor importante para obter um bom desempenho energético dos estabelecimentos. Na figura 4.102, apresentamos um termograma da porta de uma câmara de refrigeração do estabelecimento F21 que possui a vedação da porta completamente danificada e mesmo inexistente em determinadas zonas. Conforme se observa através do termograma (região mais escura junto à porta), a porta não apresenta uma vedação eficaz permitindo que ar interior saia da câmara. Este estabelecimento tem as portas das suas câmaras nestas condições e por conseguinte o seu valor do IEEE é de 83,2 kWh/ton_{MP}, muito acima da média.

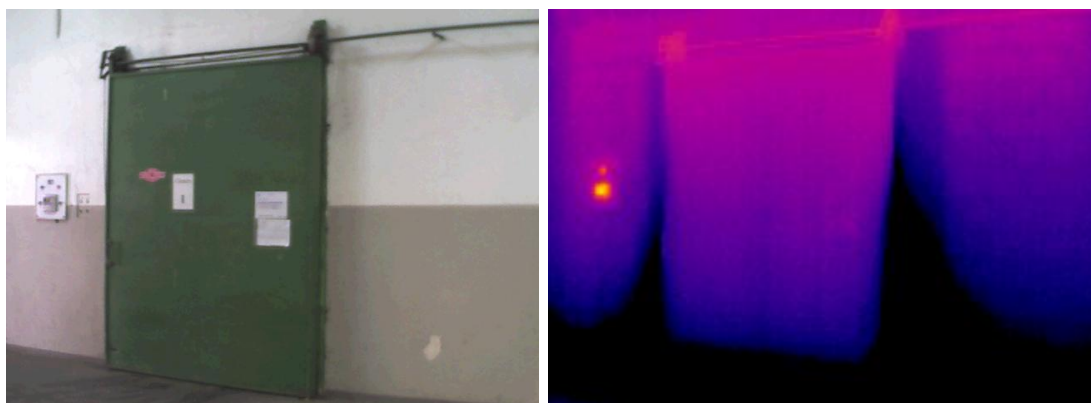


Figura 4.102 - Porta de uma câmara de refrigeração do estabelecimento F21 (lado esquerdo) e imagem termográfica da mesma mostrando a saída de ar frio.

XIII) *Isolamento da conduta de aspiração do compressor danificado ou inexistente.*

Um elevado sobreaquecimento do fluido frigorigéneo à entrada do compressor contribui de forma negativa para o desempenho energético do compressor. Durante o trabalho de campo encontramos várias situações em que as condutas de aspiração não se encontravam devidamente isoladas para minimizar o sobreaquecimento do fluido. Esta deficiência foi observada na conduta de aspiração do sistema de refrigeração do estabelecimento F14 da categoria de centrais de fruta. Na figura 4.103 apresentamos uma imagem termográfica onde se observa o efeito da ausência de isolamento da conduta de aspiração do sistema individual que satisfaz as necessidades de frio de uma câmara de refrigeração. O valor do IEEE deste estabelecimento é de 64 kWh/ton_{MP}, quando o valor médio desta categoria é de 60,8 kWh/ton_{MP}.

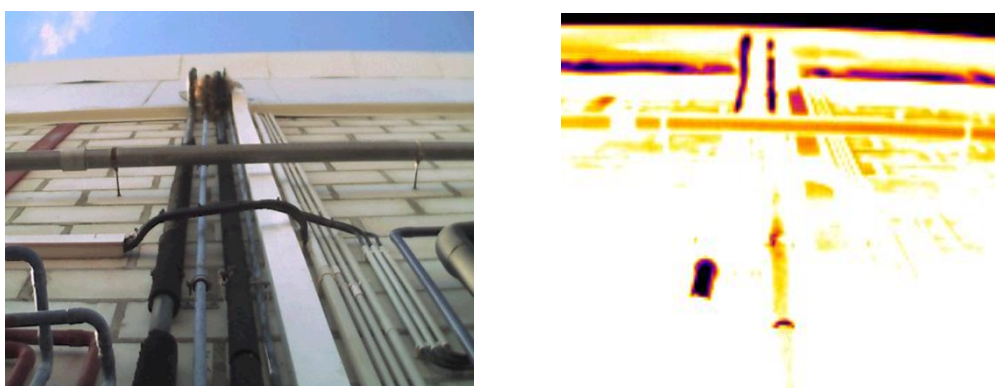


Figura 4.103 - Conduta de aspiração do compressor sem isolamento (lado esquerdo) e imagem termográfica com a indicação de zonas frias da conduta sem o isolamento (lado direito).

XIV) *Utilização de um sistema de comando automático da central de refrigeração e equipamentos de variadores de velocidade nos ventiladores do condensador e evaporador.*

O controlo automático e a utilização de variadores de velocidade dos ventiladores dos condensadores e ventiladores são actualmente medidas de eficiência energética muito interessantes apesar de serem pouco aplicadas.

O estabelecimento F22 possui uma central de comando automática da central de circuito directo com instalação de um variador de velocidade dos ventiladores do condensador e dos evaporadores das câmaras de refrigeração. Tratando-se de uma das câmaras que possui sistema de arrefecimento rápido da fruta, com este sistema consegue uma melhoria da sua eficiência energética de forma a apresentar um valor de IEEE inferior ao valor médio, ou seja, de 58,5 kWh/ton_{MP}.

4.4. NOTA CONCLUSIVA

No presente capítulo apresentamos e discutimos os resultados que obtivemos para as três fileiras que foram objecto do presente estudo.

Iniciamos o capítulo com a apresentação e análise dos resultados da fileira da carne. Nesta secção apresentamos a classificação industrial e económica dos estabelecimentos, apresentamos as características das infra-estruturas, da actividade e processo produtivo, condições ambientais interiores das câmaras, sistemas de refrigeração, e consumos de energia. Ainda apresentamos e discutimos os indicadores energéticos e físicos que utilizamos no estudo para caracterizar o desempenho energético dos estabelecimentos.

Nas duas secções seguintes apresentamos de modo idêntico os resultados e a respectiva discussão dos valores obtidos, para as fileiras dos lacticínios e das hortofrutícolas.

Ainda apresentamos e descrevemos um conjunto de factores que contribuem na eficiência energética dos sistemas de refrigeração e em particular para o desempenho dos estabelecimentos das três fileiras.

No capítulo seguinte vamos apresentar as expressões matemáticas que traduzem as correlações entre as diferentes grandezas avaliadas durante o trabalho de campo e que constitui um modelo para caracterizar os sistemas de refrigeração que são utilizados nas três fileiras. Também vamos apresentar alguns casos de estudo que servem de base para validar o nosso modelo.

CAPITULO 5 - MODELAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DA FILEIRA DA CARNE, LACTICÍNIOS E HORTOFRUTÍCOLAS

No presente capítulo apresentam-se expressões matemáticas que traduzem as correlações entre as diferentes grandezas avaliadas durante o trabalho de campo. Apresentam-se também as correspondentes curvas características. Posteriormente, efectua-se o estudo de casos de um conjunto de estabelecimentos que pertencem às fileiras estudadas na presente tese.

5.1. INTRODUÇÃO

Os resultados apresentados no capítulo anterior, obtidos a partir do trabalho de campo, permitiram evidenciar um conjunto de grandezas que ajudam a caracterizar o desempenho das indústrias agroalimentares que utilizam sistemas de refrigeração.

A partir desta informação recolhida no trabalho de campo foram construídas expressões matemáticas que correlacionam pares de grandezas. O procedimento seguido recorreu ao método dos mínimos quadrados. O conjunto de equações que resultam deste processo constituem por sua vez um modelo que permite caracterizar os sistemas de refrigeração e o comportamento energético dos estabelecimentos agroalimentares pertencentes a estas três fileiras que são objecto de estudo na presente tese.

De seguida apresentam-se equações para cada uma das fileiras estudadas. Posteriormente, com o intuito de proceder à sua validação, o modelo, suportado neste conjunto de equações, vai ser utilizado na avaliação de algumas situações práticas.

5.2. FILEIRA DA CARNE

5.2.1. Modelo para os sistemas de refrigeração dos matadouros

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre o volume total das câmaras de refrigeração (V , em m^3) e a matéria-prima (MP , em ton) destes estabelecimentos é expressa pela equação 5.1.

$$V = 0,5151 MP - 265,58 \quad (5.1)$$

A regressão linear foi obtida com base nos resultados dos 4 matadouros e apresenta um coeficiente de determinação, R^2 de 0,90.

No gráfico da figura 5.1 apresentamos a representação gráfica da regressão e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%. Esta relação apresenta-se válida para uma produção anual de carne de 500 ton até 5000 ton e apresenta um erro relativo médio de 20,1%.

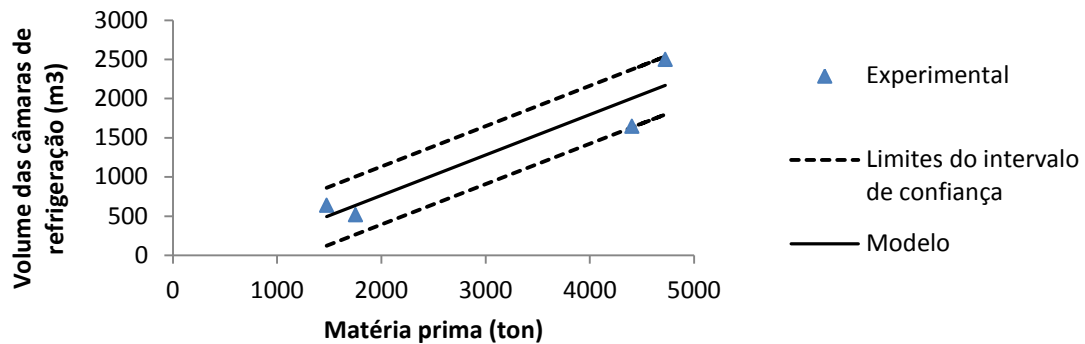


Figura 5.1 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os matadouros.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre a potência eléctrica dos compressores do estabelecimento (P, em kW) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela equação 5.2.

$$P = 0,052 \text{ MP} - 51,457 \quad (5.2)$$

À semelhança da regressão anterior, esta regressão também foi obtida utilizando os resultados dos 4 matadouros e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,71.

Na figura 5.2 apresenta-se o gráfico com a representação da regressão e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

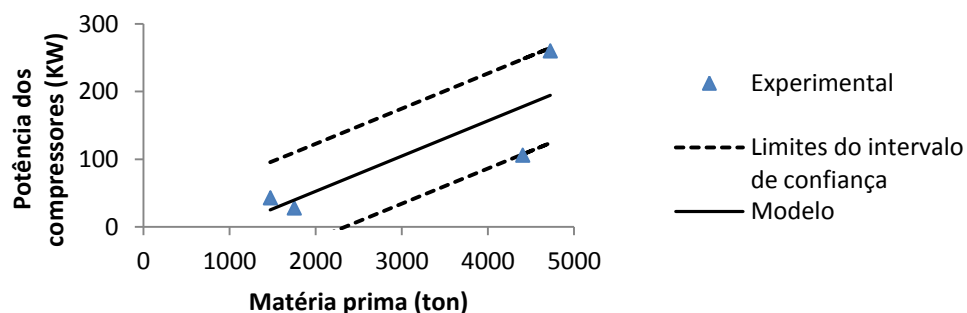


Figura 5.2 - Potência eléctrica dos compressores versus Matéria-prima para os matadouros.

Esta relação apresenta-se válida para uma produção anual de carne de 500 ton até 5000 ton e apresentou um erro relativo médio de 43,8%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela equação 5.3.

$$E = 0,2041 \text{ MP} - 138,97 \quad (5.3)$$

Neste caso a regressão linear também foi obtida com a informação dos 4 matadouros e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,57.

Na figura 5.3 apresenta-se o gráfico com a representação da regressão e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

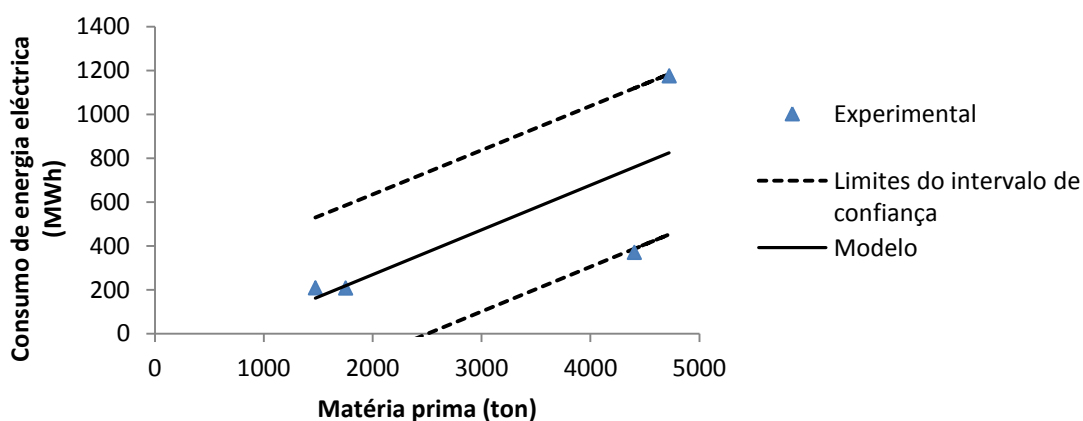


Figura 5.3 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os matadouros.

Esta relação apresenta-se válida para uma produção anual de carne de 500 ton até 5000 ton e apresentou um erro relativo médio de 40,5%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P, em kW) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m^3) é representada pela expressão 5.4.

$$P = 0,1102 \text{ V} - 36,716 \quad (5.4)$$

Esta relação foi obtida com os resultados dos 4 matadouros e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,94.

Na figura 5.4 apresenta-se o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

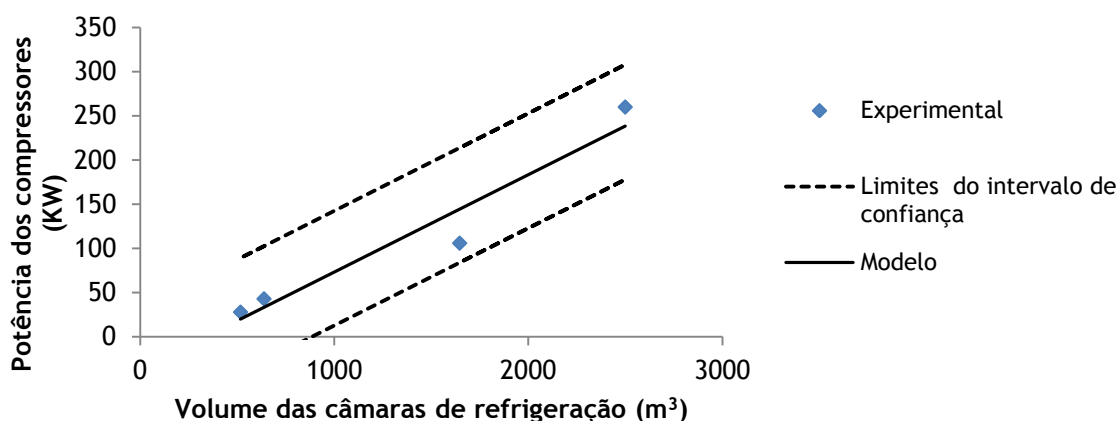


Figura 5.4 - Potência eléctrica dos compressores Versus Volume das câmaras de refrigeração para os matadouros.

A regressão linear é válida para um volume das câmaras de refrigeração desde 500 m³ até 3000 m³ e apresentou um erro relativo de 23,6%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

Por sua vez, a relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m³) do estabelecimento é dada pela equação 5.5.

$$E = 0,4557 V - 112,7 \quad (5.5)$$

Esta regressão foi obtida também com os resultados dos 4 matadouros e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,84.

Na figura 5.5 mostra-se o gráfico com a representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

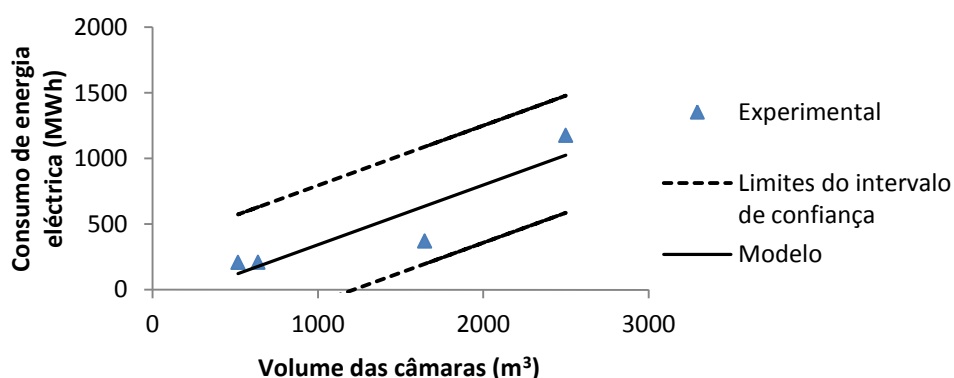


Figura 5.5 - Consumo de energia eléctrica versus o Volume das câmaras de refrigeração para os matadouros.

Esta regressão considera-se válida para um volume das câmaras de refrigeração entre 500 m³ e 3000 m³ e apresentou um erro relativo de 23,6%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P, em kW) e o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) é traduzida através da equação 5.6.

$$E = 4,3082 P + 20,459 \quad (5.6)$$

Também foi obtida com os resultados dos 4 matadouros e resultou um coeficiente de determinação R^2 de 0,97.

No gráfico da figura 5.6 mostra-se a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

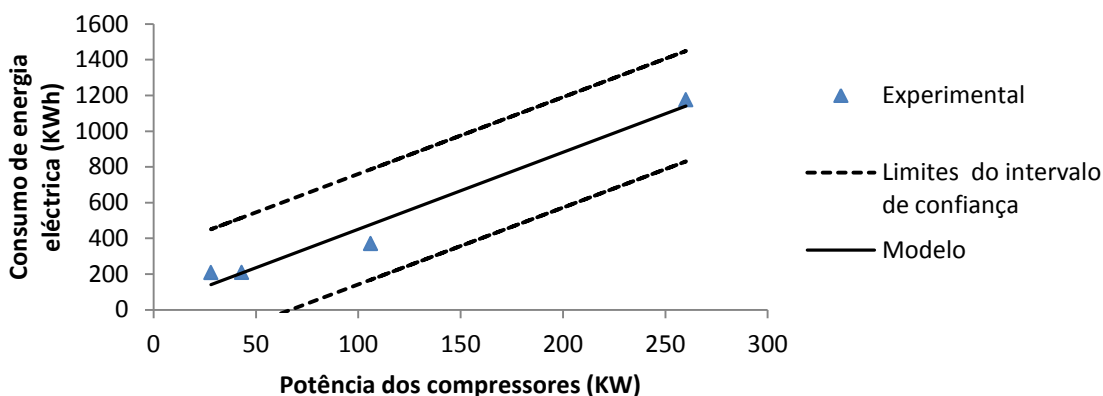


Figura 5.6 - Consumo de energia eléctrica versus a Potência eléctrica dos compressores de refrigeração para os matadouros

A regressão foi obtida para uma potência dos compressores compreendida entre 20 kW e 300 kW e apresentou um erro relativo de 59,8%.

5.2.2. Modelo para os sistemas de refrigeração das salsicharias

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora para as salsicharias, a relação entre o volume das câmaras de refrigeração (V, em m^3) e a matéria-prima (MP, em ton) é traduzida pela equação 5.7.

$$V = 4,3795 MP - 87,42 \quad (5.7)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 12 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 que se obteve foi de 0,82.

Na figura 5.7 apresentamos o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

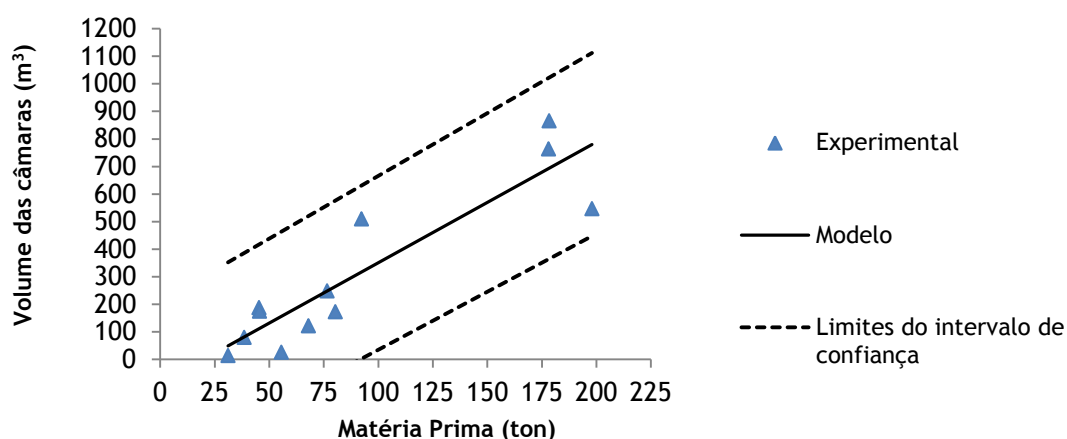


Figura 5.7 - Volume das câmaras de refrigeração versus a matéria-prima para salsicharias.

Esta relação foi obtida para uma transformação anual de carne entre 20 ton e 1000 ton e deu origem a um erro relativo médio de 58,4%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora para a relação entre a potência eléctrica dos compressores (P, em kW) e a matéria-prima (MP, em ton), esta é traduzida através da equação 5.8.

$$P = 0,0702 \text{ MP} + 11,492 \quad (5.8)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 19 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 foi de 0,68.

Na figura 5.8 mostra-se o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

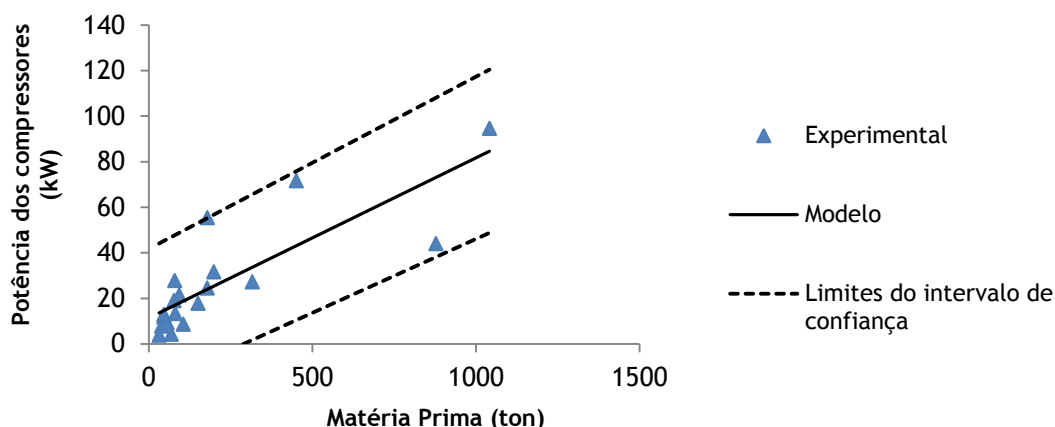


Figura 5.8 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para as salsicharias.

A relação foi obtida para uma transformação anual de matéria-prima compreendida entre 20 ton e 1000 ton e deu origem a um erro relativo médio de 37,7%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia (E, em MWh) e a matéria-prima (MP, em ton) é representada por intermédio da equação 5.9.

$$E = 0,2376 \text{ MP} + 24,18 \quad (5.9)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 15 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,92.

Na figura 5.9 mostra-se o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

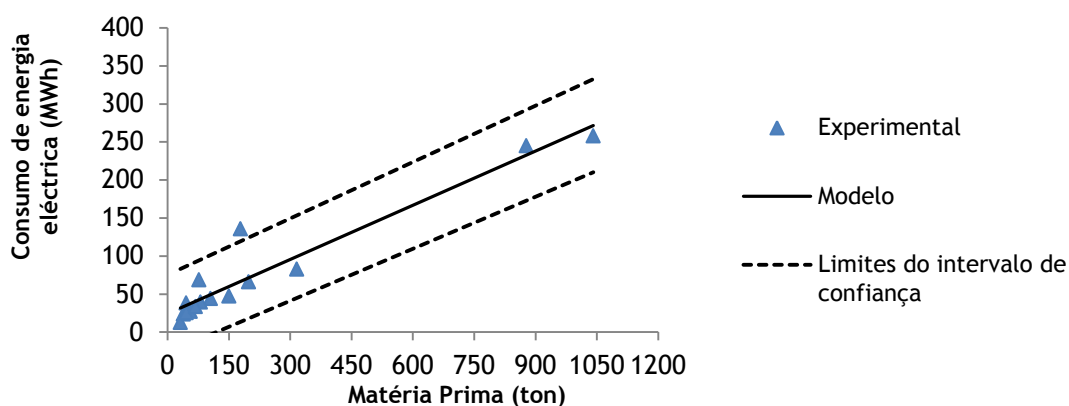


Figura 5.9 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para as salsicharias.

Esta relação é válida para uma quantidade de matéria-prima compreendida entre 20 ton e 1000 ton e apresentou um erro relativo médio de 31,1%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre a potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P, em KW) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m^3) é representada pela equação 5.10.

$$P = 0,0572 \text{ V} + 3,414 \quad (5.10)$$

Esta equação foi obtida com os resultados de 15 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,93.

Na figura 5.10 apresentamos o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

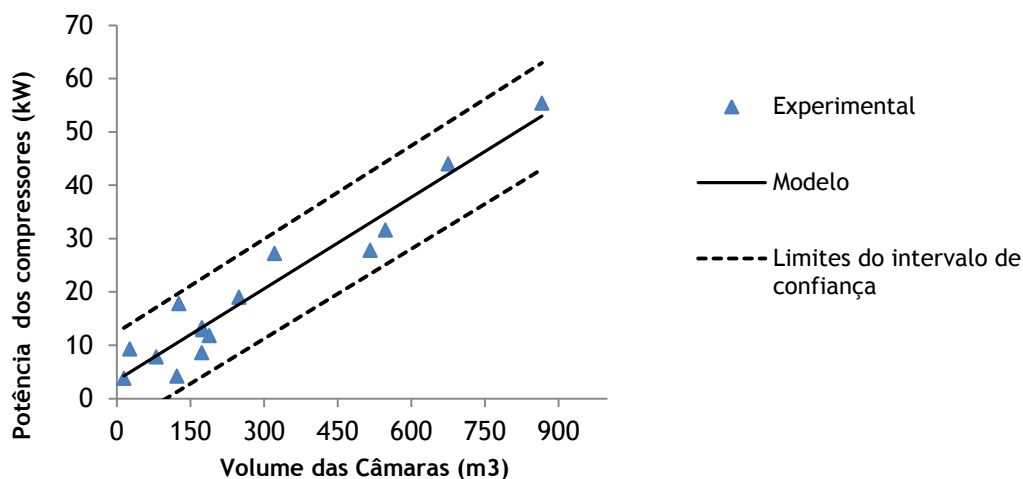


Figura 5.10 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras de refrigeração para as salsicharias.

Esta expressão linear foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 20 m³ e 1000 m³ e deu origem a um erro relativo de 26%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m³) é representado pela equação 5.11.

$$E = 0,3243 V - 6,844 \quad (5.11)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 16 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 foi igual a 0,96.

Na figura 5.11 apresentamos o gráfico com a representação da regressão e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

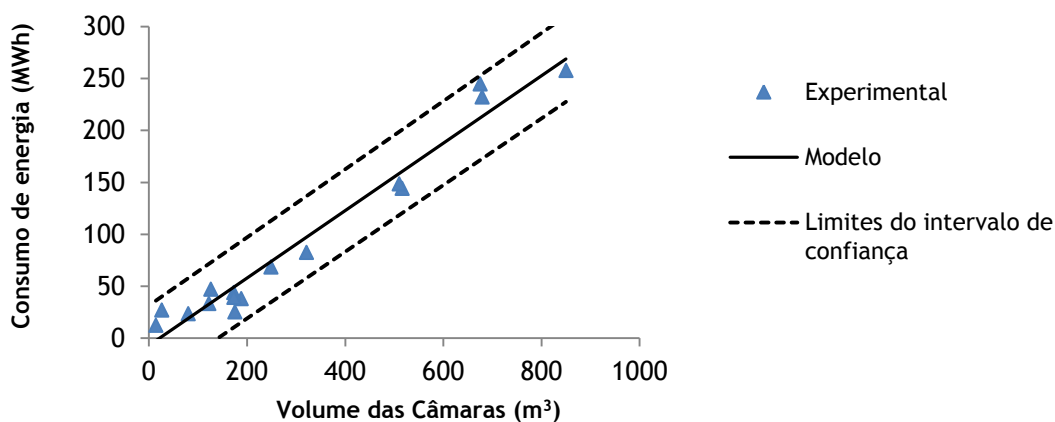


Figura 5.11 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para as salsicharias.

A regressão linear é válida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 20 e 1000 m³ e apresentou um erro relativo de 31,5%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

Passando à relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P, em kW), obteve-se a equação 5.12.

$$E = 2,9045 P + 11,323 \quad (5.12)$$

A relação entre estas duas grandezas foi obtida com os resultados de 17 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,90.

Na figura 5.12 apresentamos o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

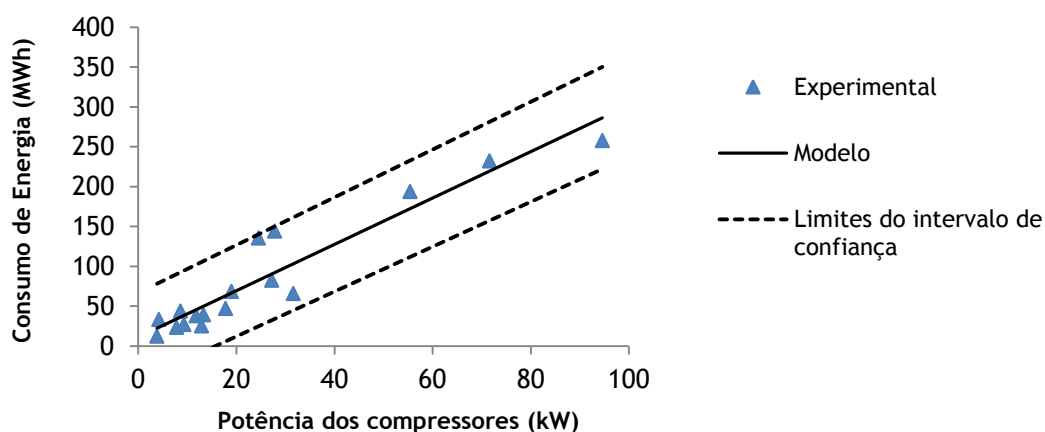


Figura 5.12 - Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores de refrigeração para as salsicharias.

A relação foi obtida para uma potência dos compressores compreendida entre os 5 e 100 kW e apresentou um erro relativo de 32,4%.

5.2.3. Modelo para os sistemas de refrigeração dos estabelecimentos de fabrico de presunto

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora à categoria dos estabelecimentos de fabrico de presunto, a relação entre o volume das câmaras de refrigeração (V, em m³) e a matéria-prima (MP, em ton) é traduzida através da equação 5.13.

$$V = 3,8629 MP + 785,44 \quad (5.13)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 6 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 resultou 0,89.

No gráfico da figura 5.13 mostra-se a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

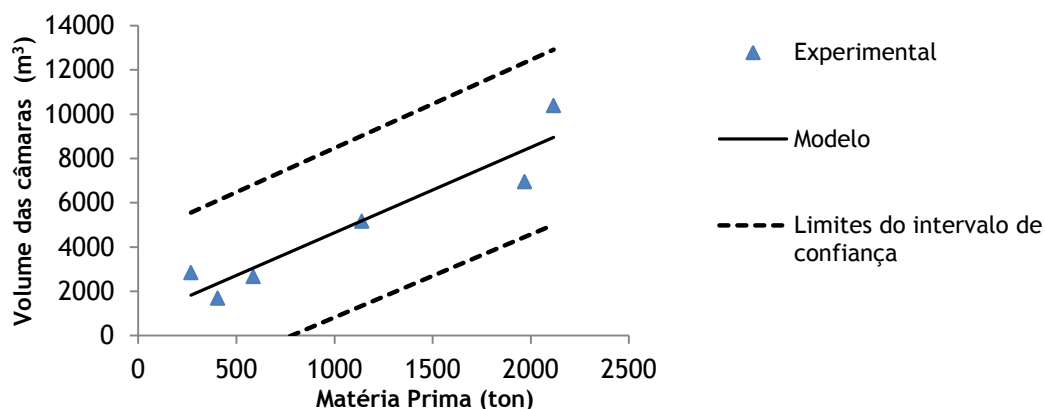


Figura 5.13 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual compreendida entre 50 e 2500 ton e apresenta um erro relativo médio de 20,5%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre a potência dos compressores de refrigeração (P , em kW) e a matéria-prima (MP , em ton) é traduzida pela equação 5.14.

$$P = 0,1082 MP + 86,2 \quad (5.14)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 9 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,73.

No gráfico da figura 5.14 mostramos a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

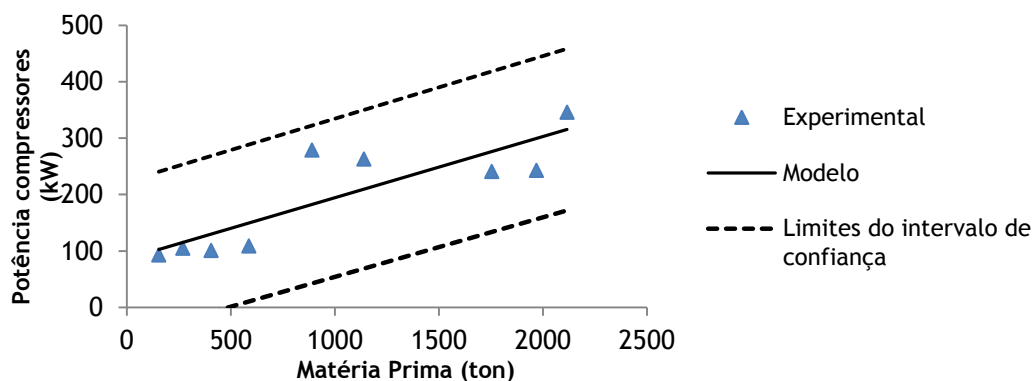


Figura 5.14 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual entre 50 e 2500 ton e apresentou um erro relativo médio de 20,8%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia (E, em MWh) a matéria-prima (MP, em ton) é representada por intermédio da equação 5.15.

$$E = 0,9945 MP + 159,93 \quad (5.15)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 8 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,86.

No gráfico da figura 5.15 representa a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

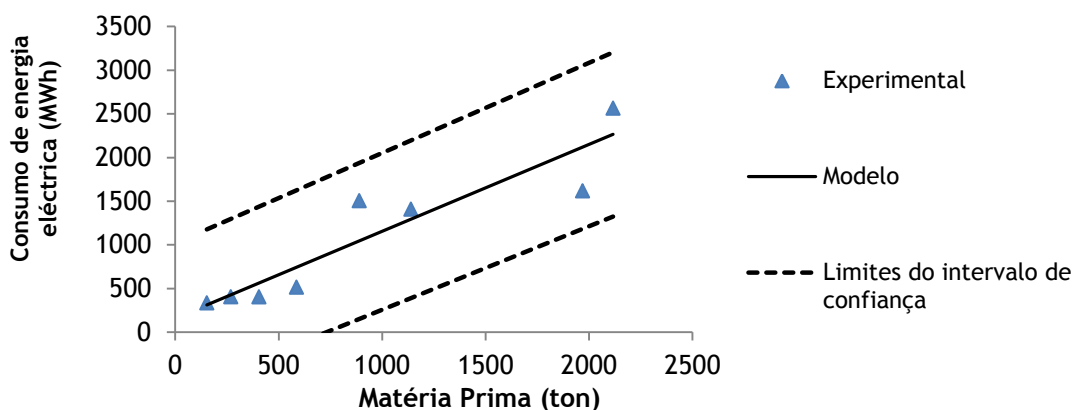


Figura 5.15 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima compreendida entre 50 e 2500 ton e apresentou um erro relativo médio de 22%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre a potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P, em kW) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m^3) é representada por intermédio da equação 5.16.

$$P = 0,0323 V + 32,054 \quad (5.16)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 8 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 que obtivemos foi de 0,90.

No gráfico da figura 5.16 representa a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

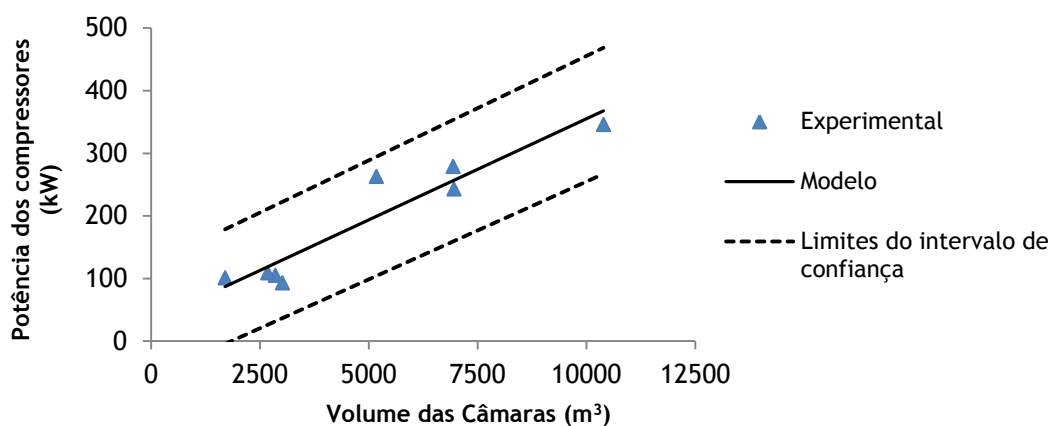


Figura 5.16 - Potência dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração entre 1500 e 12000 m³ e a mesma apresentou um erro relativo médio de 15,3%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e o volume das câmaras de refrigeração (V, em m³) é representada pela expressão 5.17.

$$E = 0,2667 V - 228,61 \quad (5.17)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 8 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R² que obtivemos foi de 0,96.

No gráfico da figura 5.17 mostra-se a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

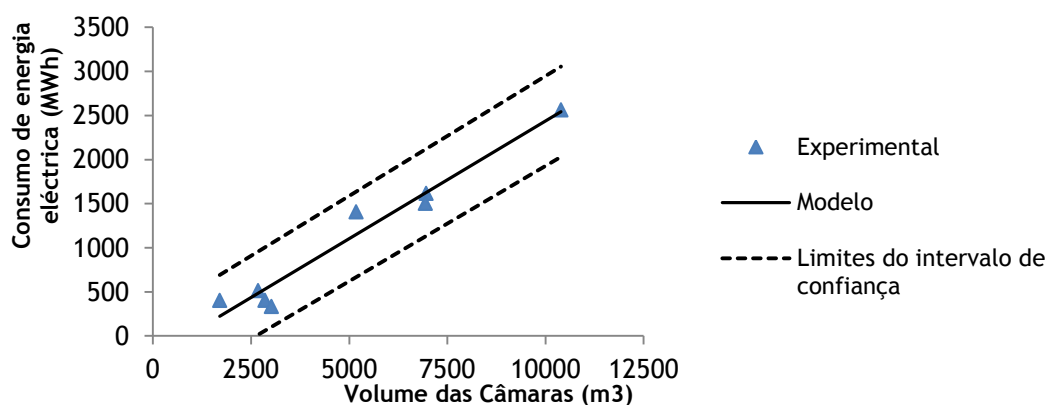


Figura 5.17 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

Esta relação foi obtida para um volume total das câmaras de refrigeração entre 1500 e 12000 m³ e apresenta um erro relativo médio de 22,5%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) a potência dos compressores de refrigeração (P, em kW) e é representada pela equação 5.18.

$$E = 7,7963 P - 404,49 \quad (5.18)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 8 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 que obtivemos foi de 0,95.

No gráfico da figura 5.18 apresenta-se a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

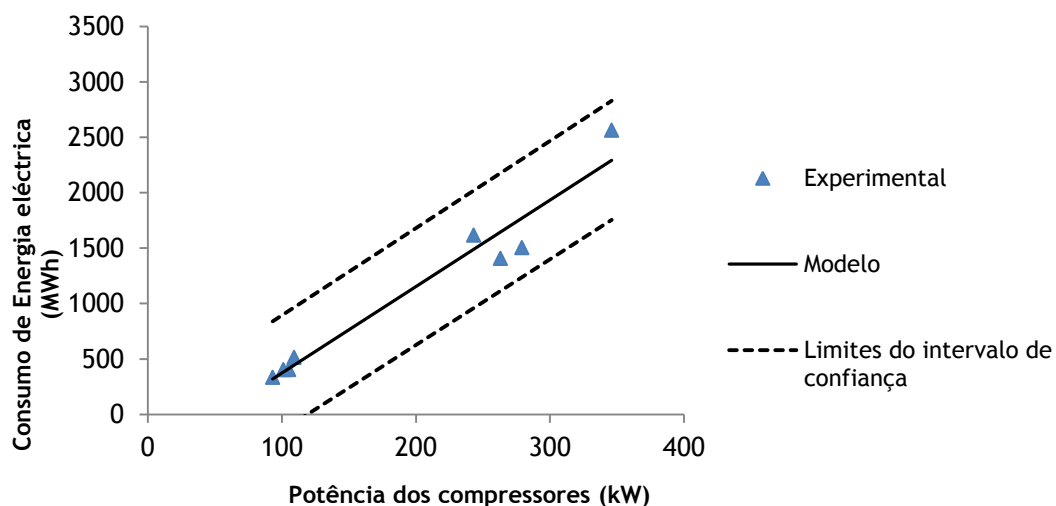


Figura 5.18 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico de presunto.

Esta relação foi obtida para uma potência eléctrica dos compressores de refrigeração 50 até 350 kW e o erro relativo médio obtido foi de 9,8%.

5.3. FILEIRA DOS LACTICÍNIOS

5.3.1. Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de fabrico industrial

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora para a fileira dos lacticínios, a relação entre o volume das câmaras de refrigeração (V, em m^3) e a matéria-prima (MP, em Kl) é representada por intermédio da equação 5.19.

$$V = 1,0014 \text{ MP} + 319,58 \quad (5.19)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 11 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 que obtivemos foi de 0,83.

O gráfico da figura 5.19 representa a regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

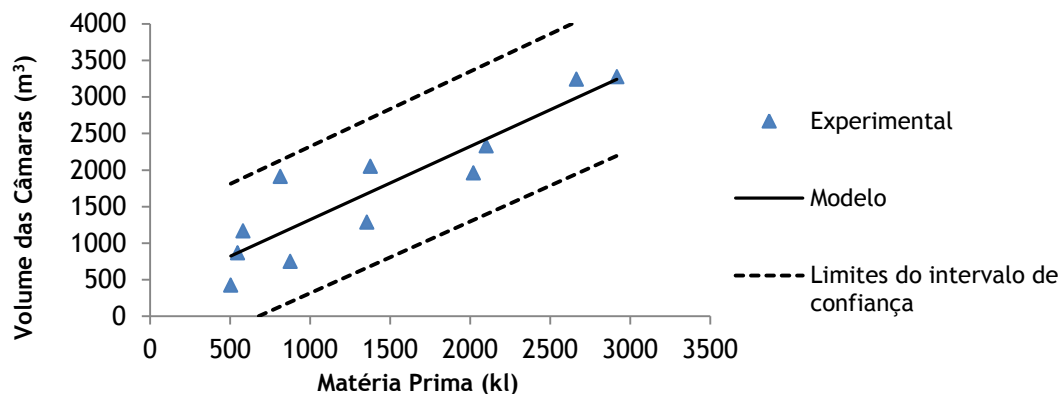


Figura 5.19 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de leite compreendida entre 250 kl e 3000 kl e apresenta um erro relativo médio de 24,5%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P , em KW) e a matéria-prima (MP , em kl) dos estabelecimentos é dada pela expressão (5.20).

$$P = 0,0487 \text{ MP} + 29,899 \quad (5.20)$$

À semelhança da regressão anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados dos 11 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,62.

Na figura 5.20 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

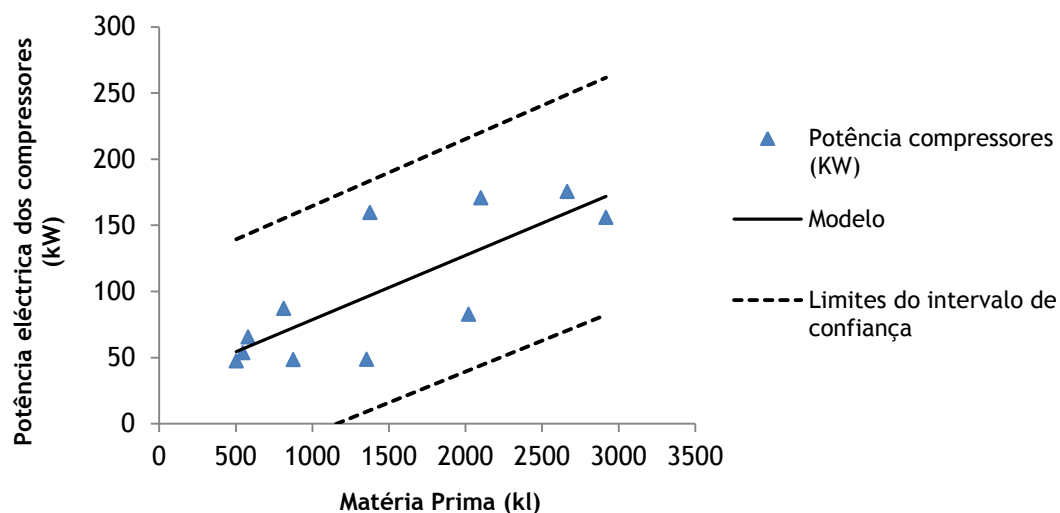


Figura 5.20 - Potência eléctrica dos compressores (E, em MWh) versus a matéria-prima (MP, em Kl) para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual de 250 Kl e 3000 kl e apresenta um erro relativo médio de 18%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a matéria-prima (MP, em Kl) é dada pela expressão (5.21).

$$E = 0,1863 MP + 130,92 \quad (5.21)$$

À semelhança da regressão anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados dos 11 estabelecimentos e apresentou um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,75.

Na figura 5.21 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

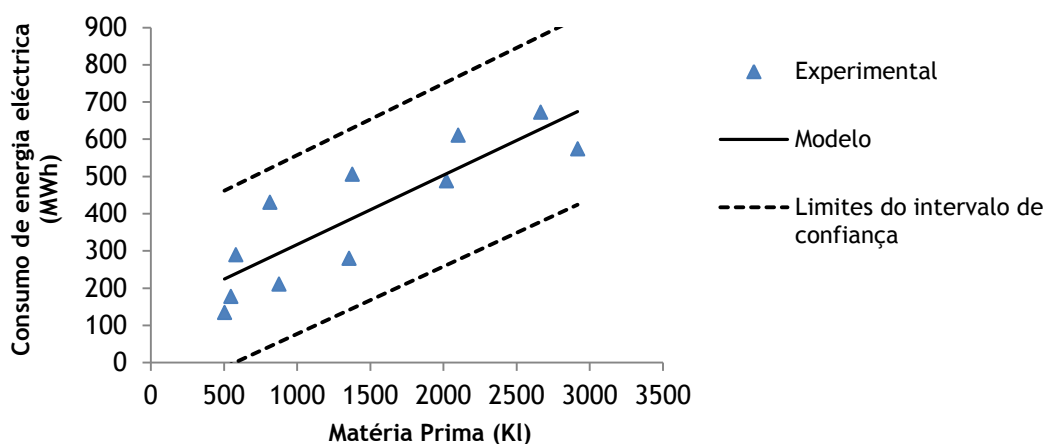


Figura 5.21 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual compreendida entre 250 Kl e 3000 kl e apresentou um erro relativo médio de 22,7%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre a potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P , em kW), o volume das câmaras (V , em m^3) é dada pela expressão (5.22).

$$P = 0,0441V + 19,418 \quad (5.22)$$

Neste caso a relação entre as duas grandezas foi obtida utilizando os resultados de 13 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,84.

Na figura 5.22 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

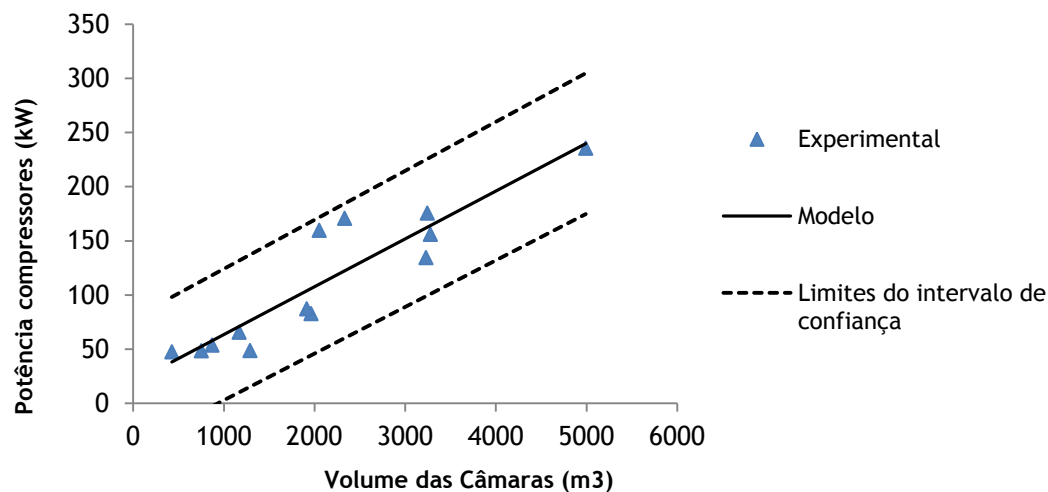


Figura 5.22 - Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração até 250 m^3 e 5000 m^3 e apresentou um erro relativo médio de 24,7%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia do estabelecimento (E , em MWh) e o volume das câmaras (V , em m^3) é dada pela equação (5.23).

$$E = 0,1867 V + 70,295 \quad (5.23)$$

Esta relação foi obtida através dos resultados de 11 estabelecimentos e possui um coeficiente de determinação R^2 de 0,91.

Na figura 5.23 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

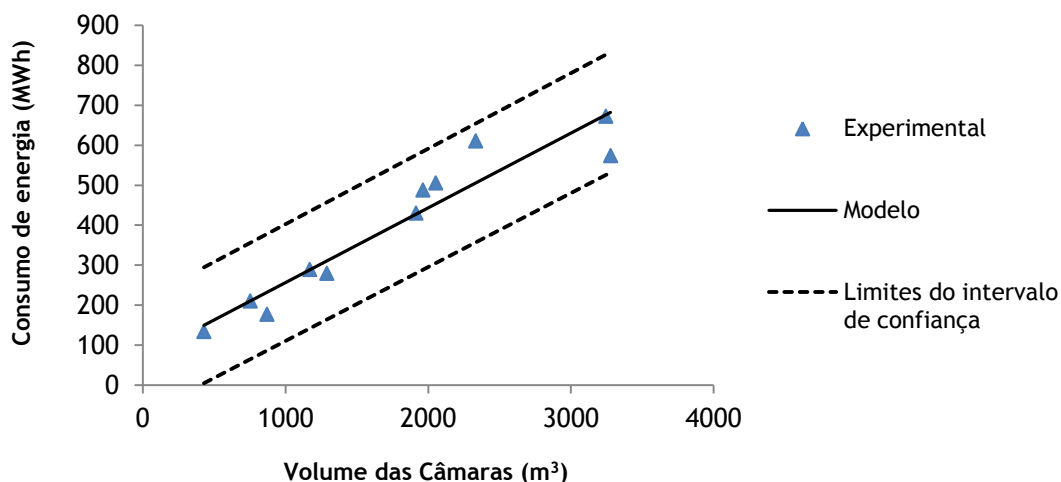


Figura 5.23 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendida entre 250 m³ e 5000 m³ e apresenta um erro relativo médio de 15,7%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

Finalmente, para esta categoria, a relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a potência dos compressores de refrigeração (P, em kW) é dada pela equação (5.24).

$$E = 3,2003 P + 78,803 \quad (5.24)$$

À semelhança da regressão anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados de 11 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R² de 0,85.

Na figura 5.24 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

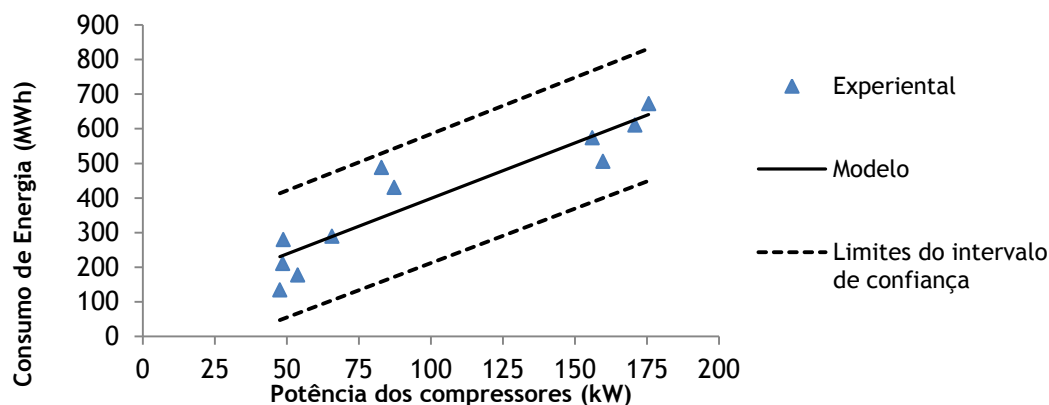


Figura 5.24 - Consumo de energia versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico industrial de queijo.

Esta relação foi obtida para uma potência eléctrica dos compressores de refrigeração até 25 KW e 200 kW e resulta num erro relativo médio de 17,2%.

5.3.2. Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de fabrico artesanal

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora aos estabelecimentos de fabrico artesanal, a relação do volume das câmaras de refrigeração (V , em m^3) e a matéria-prima (MP , em Kl) é representada pela equação 5.25.

$$V = 0,3578 MP + 92,949 \quad (5.25)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 14 estabelecimentos e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,53.

O gráfico da figura 5.25 mostra a regressão entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

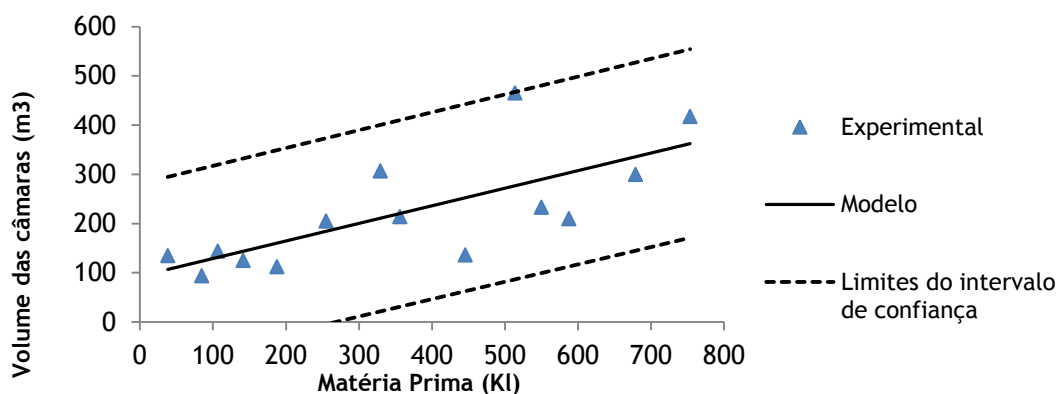


Figura 5.25 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual de 25 Kl a 1000 kl e deu origem a um erro relativo médio de 16,2%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P , em kW) e a matéria-prima (MP , em Kl) é dada pela expressão (5.26).

$$P = 0,0227 MP + 5,6167 \quad (5.26)$$

À semelhança da regressão linear anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados de 14 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,75.

Na figura 5.26 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

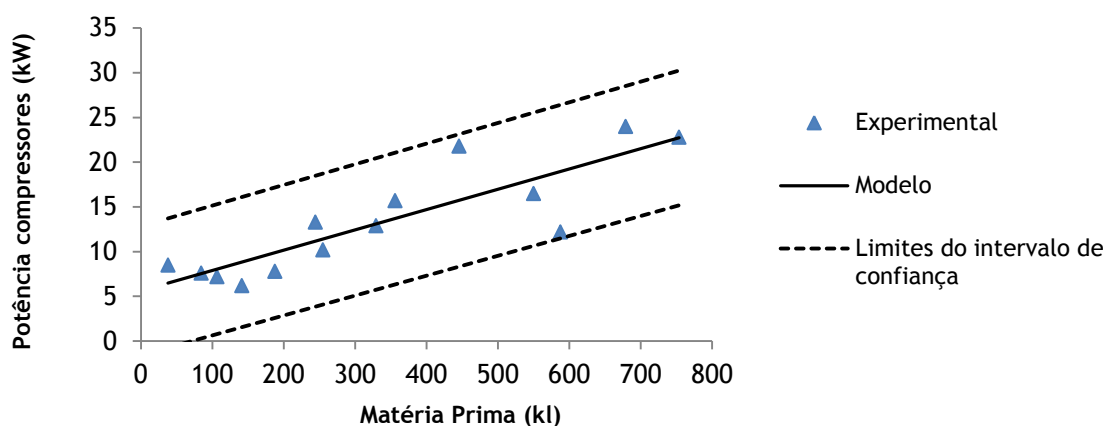


Figura 5.26 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação é válida para uma quantidade de matéria-prima anual entre 25 Kl até 1000 kl e deu origem a um erro relativo médio de 13,8%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre a matéria-prima (MP, em ton) e o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) é dada pela equação 5.27.

$$E = 0,0817 \text{ MP} + 20,325 \quad (5.27)$$

Esta relação foi obtida utilizando os resultados dos 15 estabelecimentos e deu origem a um coeficiente de determinação R^2 de 0,5.

Na figura 5.27 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

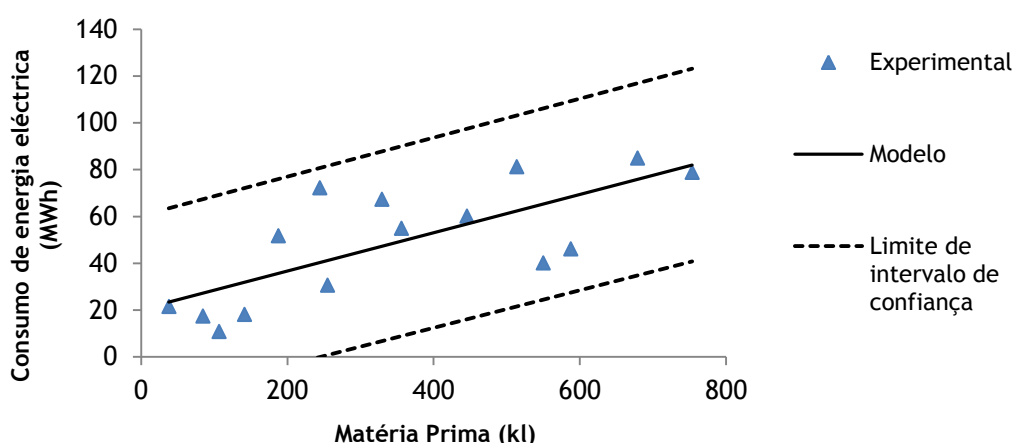


Figura 5.27 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação foi obtida para uma quantidade de matéria-prima anual compreendida entre 25 Kl e 1000 kl, e apresentou um erro relativo médio de 27,9%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação da potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P , em kW) com o volume das câmaras (V , em m^3), é dada pela expressão 5.28.

$$P = 0,0394 V + 5,2094 \quad (5.28)$$

Neste caso a relação entre as duas grandezas foi obtida utilizando os resultados de 16 estabelecimentos e deu origem a um coeficiente de determinação R^2 de 0,7.

Na figura 5.28 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

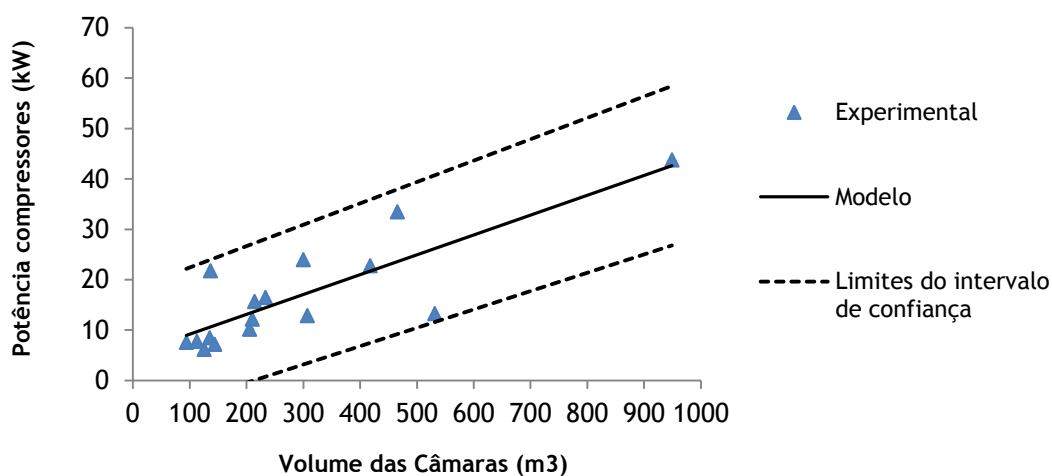


Figura 5.28 - Potência dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre $50 m^3$ e $1500 m^3$, e apresentou a um erro relativo médio de 29,3%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia (E , em MWh) e o volume das câmaras (V , em m^3) é dado pela equação 5.29.

$$E = 0,1406 V + 15,003 \quad (5.29)$$

Esta relação foi obtida através dos resultados de 15 estabelecimentos e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,6.

Na figura 5.29 representamos graficamente a regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

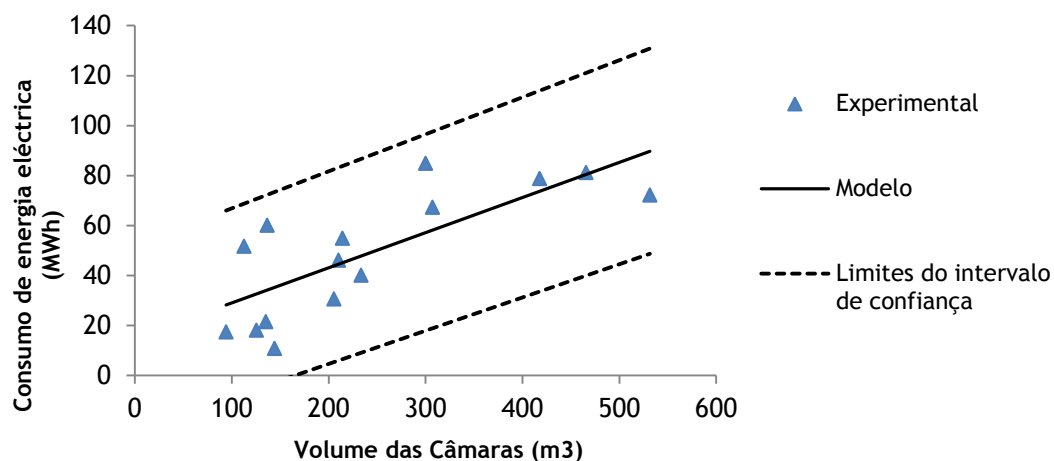


Figura 5.29 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação é válida para um volume das câmaras compreendido entre 50 m³ e 1500 m³, e obteve um erro relativo médio de 15,3%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

Finalmente, para esta categoria, a relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a a potência dos compressores de refrigeração (P, em kW) e é dada pela equação 5.30.

$$E = 2,5668 P + 11,366 \quad (5.30)$$

À semelhança da regressão anterior, esta regressão também foi obtida através dos resultados de 15 estabelecimentos e apresentou um coeficiente de determinação R² igual 0,64.

Na figura 5.30 apresentamos o gráfico da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

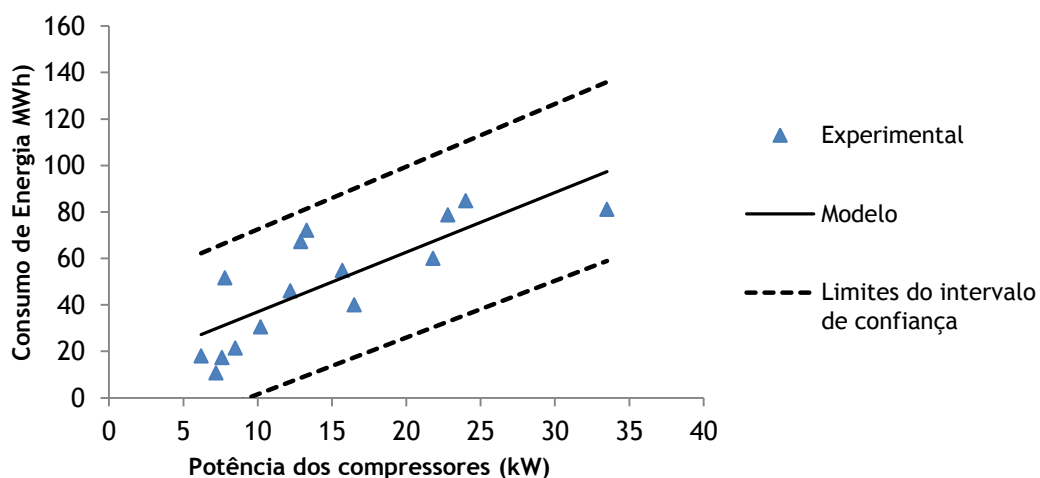


Figura 5.30 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de fabrico artesanal de queijo.

Esta relação foi obtida tendo em conta uma potência eléctrica dos compressores compreendida entre 5 kW e 35 kW, e registou um erro relativo médio de 18,2%.

5.4. FILEIRA DAS HORTOFRUTÍCOLAS

5.4.1. Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de revenda de produtos hortofrutícolas

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Passando agora para os estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas, a relação entre o volume das câmaras de refrigeração (V , em m^3) e a matéria-prima (MP , em ton) é dada pela equação 5.31.

$$V = 0,5335 MP + 19,875 \quad (5.31)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 7 estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,8.

Na figura 5.31, apresenta-se o gráfico com a representação da regressão linear entre estas duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

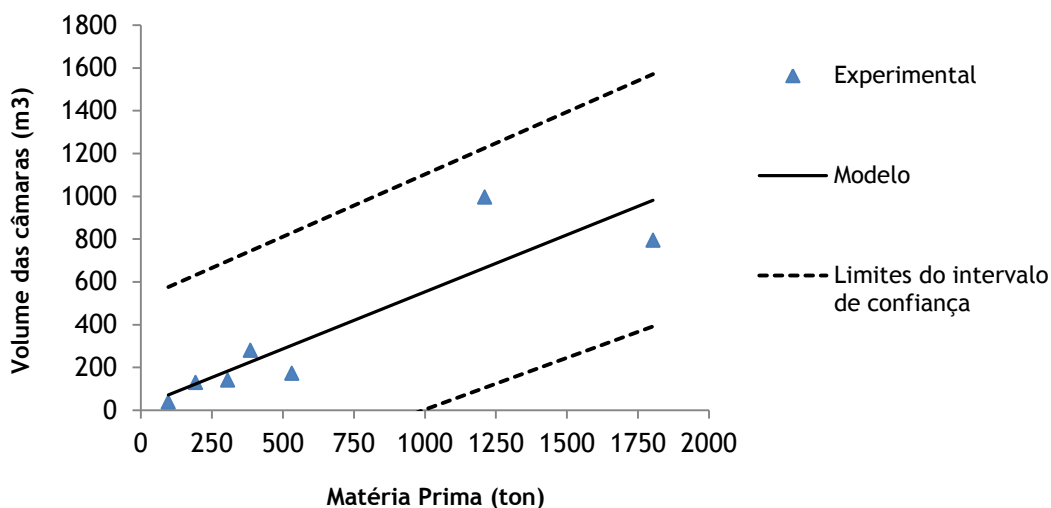


Figura 5.31 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos compreendida entre 50 ton até 2000 ton e apresentou um erro relativo médio de 22%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre potência eléctrica dos compressores (P, em kW) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela expressão 5.32.

$$P = 0,0112 \text{ MP} + 1,9428 \quad (5.32)$$

À semelhança da regressão anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados de 7 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,82.

Na figura 5.32 apresenta-se o gráfico da representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

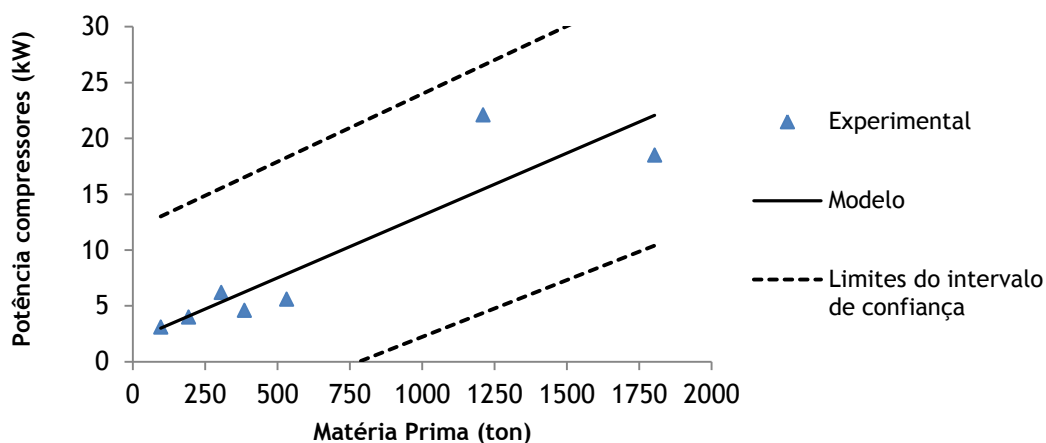


Figura 5.32 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos entre 50 ton e 2000 ton, e apresentou um erro relativo médio de 19,5%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela expressão 5.33.

$$E = 0,0959 \text{ MP} - 6,2559 \quad (5.33)$$

Esta relação foi obtida utilizando os resultados de 6 estabelecimentos de hortofrutícolas e apresenta um coeficiente de determinação R^2 de 0,9.

Na figura 5.33 apresenta-se o gráfico com a representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

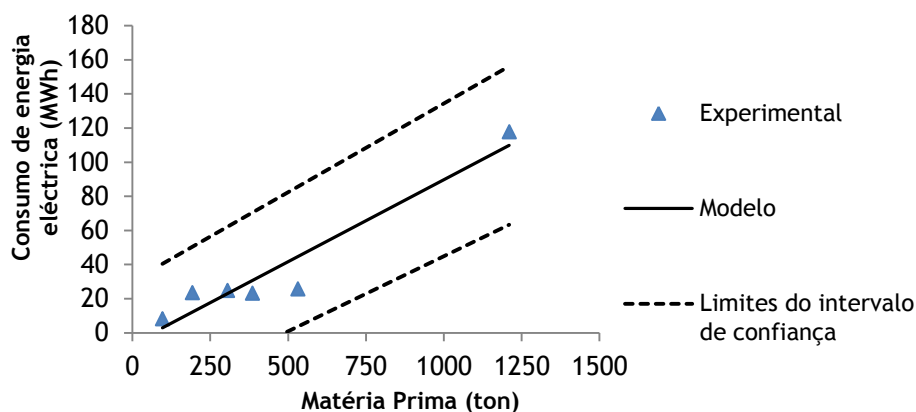


Figura 5.33 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos compreendida entre 50 ton e 2000 ton, e apresentou um erro relativo médio de 17,1%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P , em kW) e o volume das câmaras (V , em m^3), é dada pela expressão 5.34.

$$P = 0,0204V + 1,7304 \quad (5.34)$$

Neste caso a relação entre as duas grandezas foi obtida utilizando os resultados de 7 estabelecimentos e deu origem a um coeficiente de determinação R^2 de 0,98.

Na figura 5.34 apresentamos o gráfico da representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

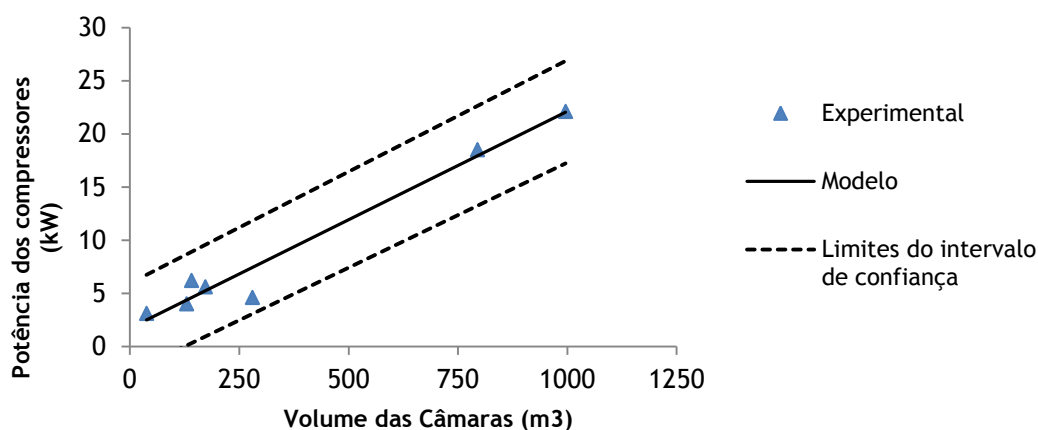


Figura 5.34 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 50 m^3 até 1100 m^3 e deu origem a um erro relativo médio de 12,3%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia (E, em MWh) e o volume das câmaras (V, em m³) é dada pela expressão 5.35.

$$E = 0,1118 V + 4,4669 \quad (5.35)$$

Esta relação foi obtida através dos resultados de 6 estabelecimentos e deu origem a um coeficiente de determinação R² igual a 0,97.

Na figura 5.35 apresentamos o gráfico da representação da regressão linear e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

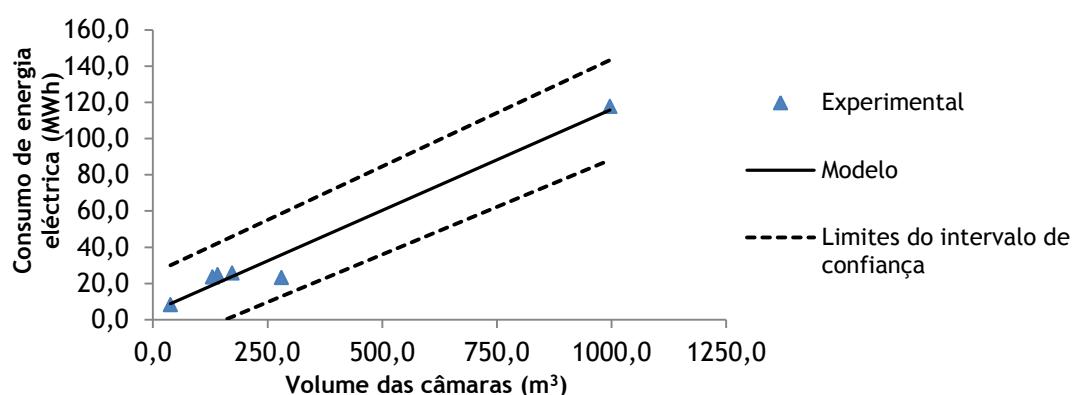


Figura 5.35 - Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 50 m³ e 1100 m³, e apresentou um erro relativo médio de 14,4%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P, em kW) é dada pela expressão (5.36).

$$E = 5,537 P - 4,8814 \quad (5.36)$$

À semelhança da correlação anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados de 6 estabelecimentos e apresenta um coeficiente de determinação R² de 0,98.

Na figura 5.36 mostramos o gráfico da representação da regressão linear correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

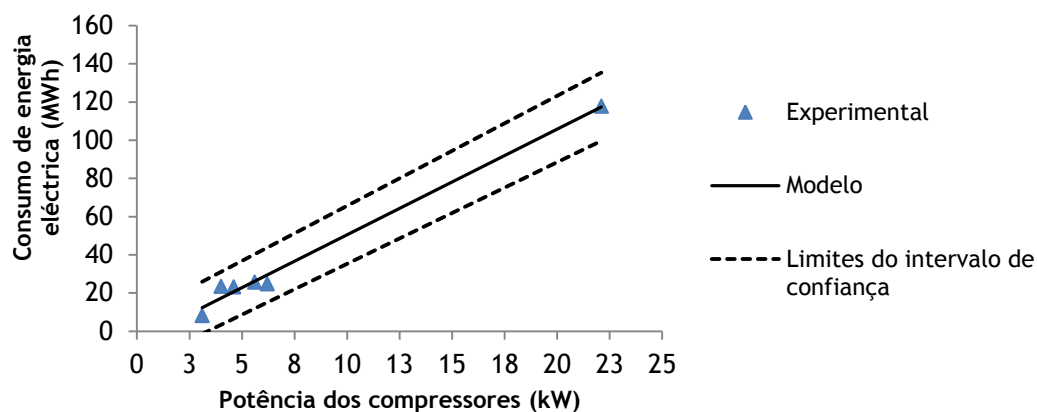


Figura 5.36 Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas.

Esta relação foi obtida para uma potência eléctrica dos compressores de refrigeração entre 3,5 kW e 25 kW, e apresentou um erro relativo médio de 11,6%.

5.4.2. Modelo dos sistemas dos estabelecimentos de centrais de fruta

A) Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima

Para os estabelecimentos de centrais de fruta, a relação entre o volume das câmaras de refrigeração (V , em m^3) e a matéria-prima (MP , em ton) é traduzida pela equação 5.37.

$$V = 0,8914 MP + 267,44 \quad (5.37)$$

Esta relação foi obtida com os resultados de 12 centrais de hortofrutícolas e o coeficiente de determinação R^2 obtido foi de 0,8.

No gráfico da figura 5.37, apresenta-se a representação da relação entre as duas grandezas e os limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

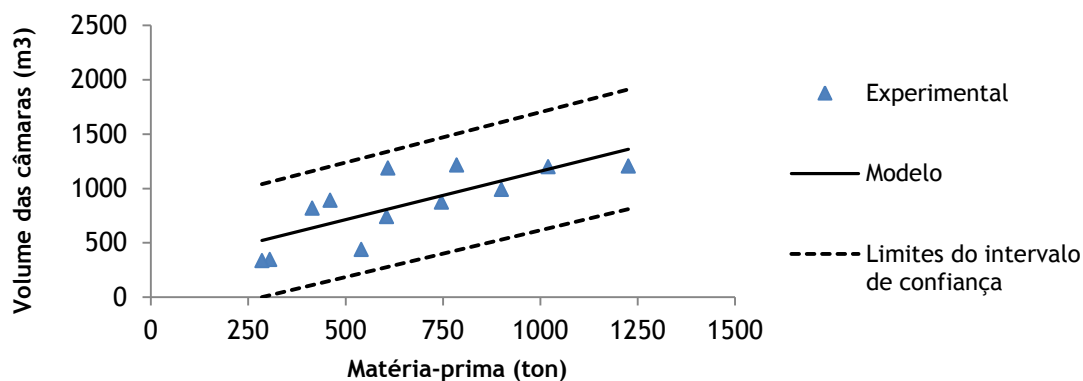


Figura 5.37 - Volume das câmaras de refrigeração versus Matéria-prima, para as centrais de fruta.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos entre os limites de 200 e 1250 ton e apresenta um erro relativo médio de 35,4%.

B) Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima

A relação entre a potência eléctrica dos compressores (P, em KW) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela expressão (5.38).

$$P = 0,0334 MP + 2,9507 \quad (5.38)$$

À semelhança da correlação anterior, esta também foi obtida utilizando os resultados de 12 estabelecimentos e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,8.

Na figura 5.38 apresentamos o gráfico da representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

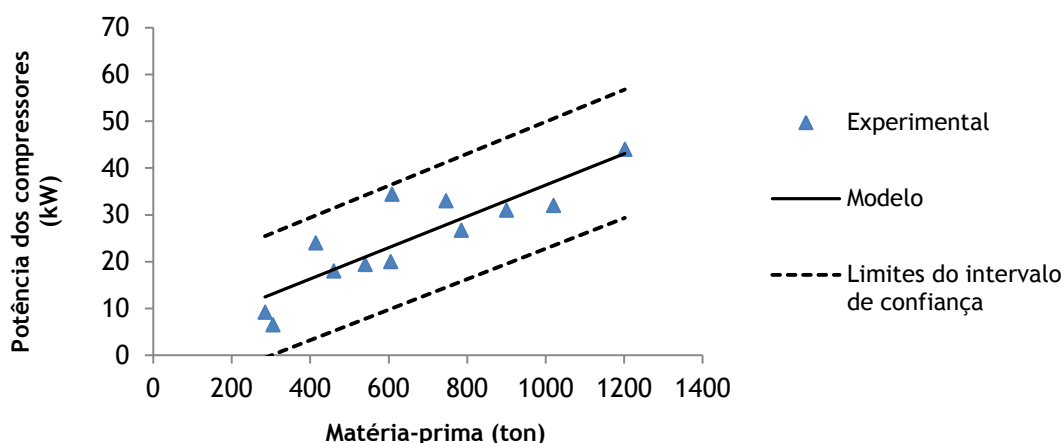


Figura 5.38 - Potência dos compressores de refrigeração versus Matéria-prima, para as centrais de fruta.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos de 200 até 1250 ton e apresenta um erro relativo médio de 27,3%.

C) Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima

A relação entre o consumo de energia eléctrica do estabelecimento (E, em MWh) e a matéria-prima (MP, em ton) é dada pela expressão 5.39.

$$E = 0,0742 MP - 8,423 \quad (5.39)$$

À semelhança das anteriores, esta relação foi obtida utilizando os resultados de 12 centrais de frutas e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,7.

Na figura 5.39 apresentamos o gráfico da representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

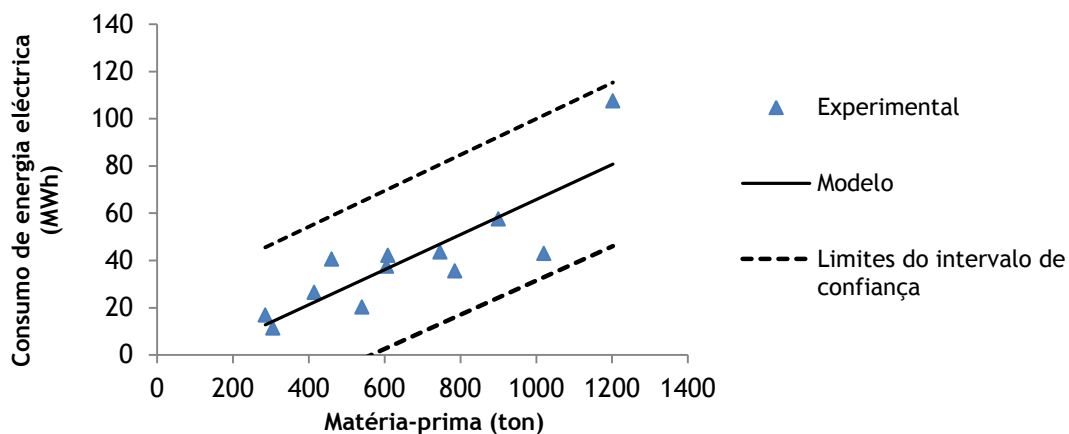


Figura 5.39 - Consumo de energia eléctrica versus Matéria-prima, para as centrais de fruta.

Esta relação foi obtida para uma quantidade anual de produtos entre 200 até 1250 ton e apresentou um erro relativo médio de 31,1%.

D) Potência eléctrica dos compressores versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre potência eléctrica dos compressores de refrigeração (P , em kW) o volume das câmaras (V , em m^3), é dada pela equação 5.40.

$$P = 0,0219V + 4,4048 \quad (5.40)$$

Neste caso a relação entre as duas grandezas foi também obtida através dos resultados de 12 centrais de fruta e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,65.

Na figura 5.40 apresentamos o gráfico da representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

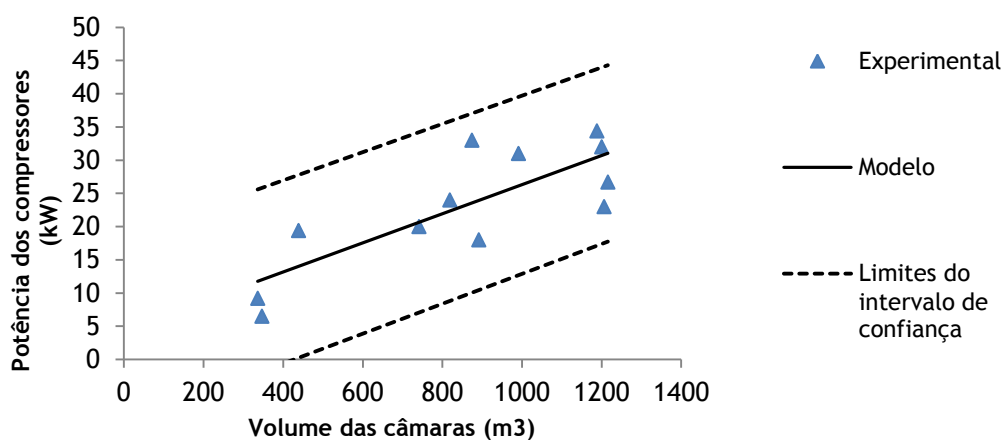


Figura 5.40 - Potência eléctrica dos compressores de refrigeração versus Volume das câmaras, para as centrais de fruta.

Esta relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 200 e 1200 m³ e apresentou um erro relativo médio de 42,3%.

E) Consumo de energia eléctrica versus Volume das câmaras de refrigeração

A relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e o volume das câmaras (V, em m³), é dada pela equação 5.41.

$$E = 0,0326V + 6,7922 \quad (5.41)$$

Esta relação foi obtida através dos resultados de 13 centrais de fruta e apresentou um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,89.

Na figura 5.41 apresenta-se o gráfico com a representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

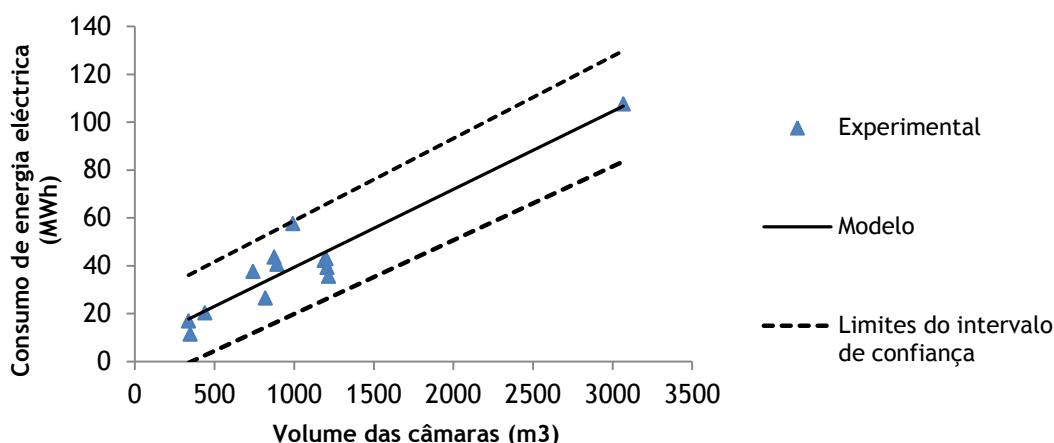


Figura 5.41 - Consumo de energia eléctrica versus o Volume das câmaras, para as centrais de fruta.

A relação foi obtida para um volume das câmaras de refrigeração compreendido entre 200 m³ e 1200 m³ e apresenta um erro relativo médio de 31,5%.

F) Consumo de energia eléctrica versus Potência eléctrica dos compressores

Finalmente, a relação entre o consumo de energia eléctrica (E, em MWh) e a potência dos compressores de refrigeração (P, em kW) é dada pela equação 5.42.

$$E = 1,1916 P + 7,0246 \quad (5.42)$$

Esta relação foi obtida através dos resultados de 12 centrais de fruta e apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,66.

Na figura 5.42 apresentamos o gráfico da representação da correlação e dos limites (superior e inferior) que correspondem ao intervalo de confiança de 95%.

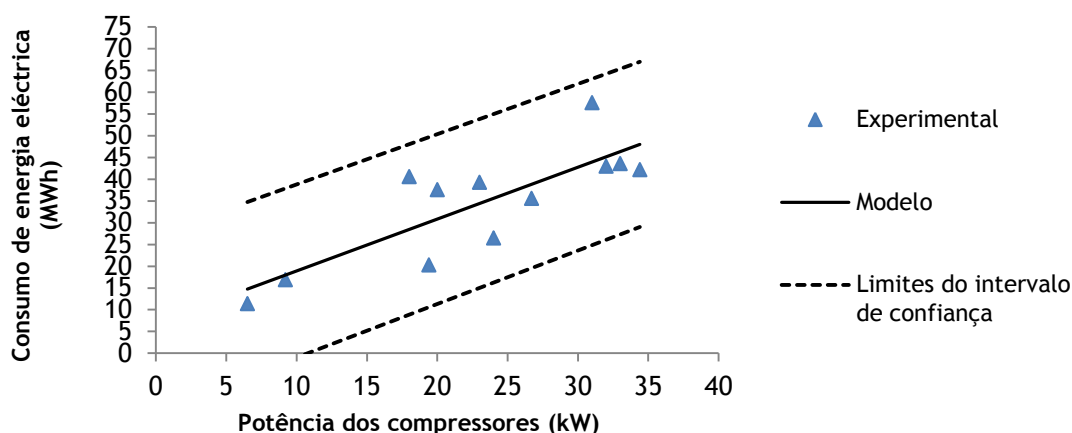


Figura 5.42 - Consumo de energia eléctrica versus Potência dos compressores de refrigeração, para as centrais de fruta.

A relação foi obtida para uma potência dos compressores de refrigeração compreendida entre 5 e 35 kW e apresenta um erro relativo médio de 43,3%.

5.5. ESTUDO DE CASOS

Nesta secção apresenta-se o estudo de casos recorrendo às equações anteriormente apresentadas. O estudo de casos tem o propósito de avaliar a aptidão do modelo como ferramenta de trabalho na caracterização de estabelecimentos que pertençam a qualquer uma das três fileiras estudadas.

Vamos publicar alguns casos de estudo de aplicação das equações anteriormente apresentadas, a resultados práticos de estabelecimentos que não fizeram parte da nossa amostra ou então que sofreram alterações físicas das suas infra-estruturas ou dos sistemas de refrigeração. Com esta tarefa, pretende-se avaliar a aptidão do modelo da regressão linear para caracterizar genericamente qualquer estabelecimento que pertença às três fileiras, objecto de estudo no nosso trabalho. Trata-se portanto de uma forma de validação do mesmo para assim concluir se este é adequado para caracterizar o funcionamento dos estabelecimentos e dos sistemas de refrigeração que lhe estão afectos.

5.5.1. Estudo de caso: Estabelecimento da fileira dos lacticínios de fabrico artesanal

Neste primeiro caso estuda-se um estabelecimento de lacticínios com fabrico baseado num processo artesanal. Este estabelecimento não fez parte do estudo inicial e está localizado na zona industrial de Castelo Branco.

O estabelecimento consiste num edifício construído em painéis de poliuretano de 0,08 m de espessura, protegidos com uma chapa metálica na parte exterior e com uma cobertura também de chapa metálica.

Internamente o estabelecimento é composto por uma zona de recepção e conservação do leite, sala de fabrico, 3 câmaras de refrigeração (1ª fase, 2.ª fase e fase de conservação), sala de lavagem de queijos, sala de expedição, entre outros espaços.

As câmaras de refrigeração estão construídas em painéis de poliuretano de 0,08 m de espessura e encontram-se encostadas à parede do edifício virada a sul. O volume total das três câmaras é de 242 m³.

O estabelecimento possui 4 sistemas de refrigeração. Dois deles são unidades de tratamento de ar instaladas no interior das câmaras de cura do queijo de 1ª Fase e na 2.ª Fase. O terceiro sistema de refrigeração trata-se de uma unidade compacta de circuito directo que está instalada no exterior do edifício para a câmara de conservação que serve para terminar a cura e conservar o produto acabado. Por fim o quarto sistema é uma unidade de condensação que está anexa ao tanque de leite e se destina ao arrefecimento do mesmo. De entre estes sistemas os que mais trabalham são as unidades de tratamento de ar (1ª e 2ª fase da cura do queijo), como iremos mostrar mais à frente, através de uma discriminação de consumos de energia eléctrica que realizamos com analisadores de energia, para aferir o peso da refrigeração neste estabelecimento.

Da análise das características técnicas dos vários compressores, e utilizando a metodologia referida no capítulo 3 a potência eléctrica nominal estimada para o conjunto dos 4 compressores foi de 11,57 KW.

Da actividade desenvolvida durante o ano de 2010, verificamos que o estabelecimento transformou 239766 litros de leite de ovelha e cabra para o fabrico de queijo curado.

As facturas de energia eléctrica indicam um consumo de 47836 kWh (correspondendo a 10284 kgep). As facturas de gás referem um consumo 5628 de gás propano (6359,6 kgep). No global, a distribuição dos consumos energéticos do estabelecimento foi de 61,8% em energia eléctrica e 38,2% em combustíveis.

Passando agora à representação gráfica dos resultados no modelo, apresentamos na figura 5.43 os gráficos com as equações do modelo respeitantes a esta categoria. Nesses gráficos sobrepõem-se os valores correspondentes a este estabelecimento, como resultado de trabalho de campo.

Conforme se constata da figura, os resultados práticos deste estabelecimento ficam todos compreendidos dentro da banda do intervalo de confiança a 95%. Do gráfico a) desta figura, constata-se que para a quantidade de matéria-prima transformada, o volume total das câmaras de refrigeração encontram-se 35% acima do valor indicado pelo modelo, e que para a matéria-prima a potência eléctrica dos compressores está próxima do valor dado pelo modelo, conforme se observa pelo valor da potência real dos compressores que se encontra 4,4% acima do valor esperado (gráfico b)).

Em relação ao consumo de energia, constatamos que para a quantidade de matéria-prima transformada o seu valor real é 19,6% acima do valor expectável (ver gráfico c)). O consumo de

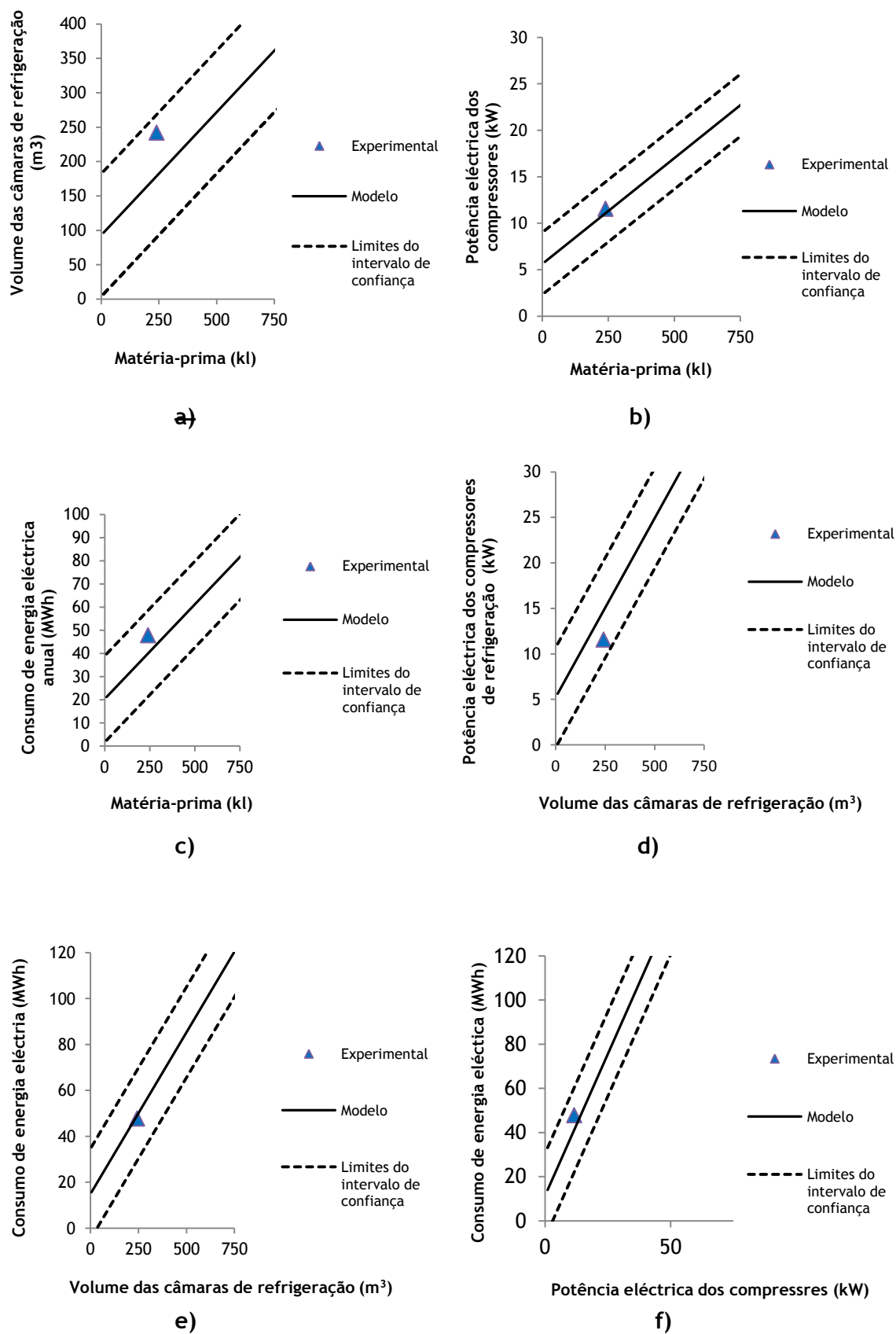


Figura 5.43 - Representação dos resultados práticos de um estabelecimento de lacticínios de fabrico artesanal.

energia em relação ao volume das câmaras de refrigeração e à potência eléctrica dos compressores é inferior 2,5% (ver gráfico e)) e superior 16,5% (ver gráfico f)), respectivamente. Ainda constatamos que para o volume das câmaras real, a potência eléctrica nominal dos compressores real é inferior ao valor expectável pelo modelo o que pode indiciar eventual subdimensionamento dos sistemas de refrigeração, conforme se constata do gráfico d).

Da análise dos resultados podemos concluir que as grandezas fundamentais que caracterizam a actividade deste estabelecimento se enquadram dentro dos resultados fornecidos pelo modelo proposto. Deste modo podemos concluir que o modelo proposto é capaz de reproduzir a actividade de fabrico de queijo artesanal bem como algumas das características dos sistemas de refrigeração.

Uma outra conclusão que se pode retirar com a ajuda do modelo, é que este estabelecimento está a consumir uma quantidade de energia eléctrica superior àquela que é necessária para realizar a sua actividade.

O indicador específico de energia eléctrica (IEEE) do estabelecimento apresenta um valor de 0,199 kWh/l_{MP}, ao passo que o valor médio deste indicador para esta categoria é de 0,147 kWh/l_{MP}. Destes valores concluímos que o indicador específico de energia eléctrica do estabelecimento é 38,2% superior ao valor médio. Neste caso existe um potencial de poupança de energia.

Atendendo às conclusões deste caso de estudo, onde apuramos a existência de um potencial de poupança de energia, efectuamos a medição dos consumos energéticos no estabelecimento, com os analisadores de energia, para apurar os grandes consumidores de energia e assim constatar onde é mais interessante actuar para diminuir os consumos de energia eléctrica.

Na tabela 5.1 apresentamos a desagregação dos principais sistemas consumidores de energia eléctrica.

Tabela 5.1- Distribuição dos consumos de energia eléctrica num estabelecimento de fabrico artesanal.

Tipo de Operação	Consumo de energia eléctrica (kWh)	Valor percentual (%)
Arrefecimento do leite	1588,56	3
Ar comprimido	541,39	1
Câmaras refrigeração	40910,08	77,1
Outros	10089,48	18,9

Destes resultados, conclui-se sem qualquer margem de dúvida que os sistemas de refrigeração são os principais consumidores de energia eléctrica.

O potencial de energia poderia ser alcançado neste estabelecimento se fossem efectuadas as seguintes acções: i) o desvão passasse a ser ventilado, ao contrário do presente momento que se encontra não ventilado, (medimos valores da temperatura de 49°C no interior do desvão); ii) as paredes das câmaras tivessem uma espessura superior à actual e não estivessem encostadas à

parede da envolvente virada a sul; iii) se a envolvente fosse melhor isolada com especial destaque para a cobertura; iv) se o corredor de acesso às câmaras de cura, tivesse climatização ou estivesse melhor isolado, pois verificam-se nesse espaço temperaturas de 28°C. Como as portas são muitas vezes abertas para realizar a actividade e não possuem qualquer equipamento de vedação, ocorre grande infiltração de ar quente para o seu interior, e v) fosse aplicado um plano de manutenção dos equipamentos de frio, devidamente planeado.

Para terminar a análise deste estabelecimento verificamos ainda que em comparação dos consumos de energia eléctrica para esta categoria, constatamos que este estabelecimento consome uma quantidade de energia eléctrica inferior ao valor médio desta categoria que é de 78,8 MWh. Esta diferença está relacionada com o tamanho do estabelecimento, ou melhor dizendo, com a dimensão da actividade, que neste caso, se trata de pequena dimensão.

5.5.2. Estudo de caso: Estabelecimento da fileira dos lacticínios de fabrico industrial de queijo

O estabelecimento em estudo enquadra-se na categoria de estabelecimentos de lacticínios que têm um processo de fabrico industrial com características idênticas às descritas na secção 4.3.3. Este estabelecimento não fez parte do estudo inicial. Encontra-se situado no distrito de Portalegre. Iniciou a sua actividade em 2001 e tem as suas instalações construídas em alvenaria e uma cobertura de fibrocimento, com o desvão pouco ventilado.

O estabelecimento possui 5 câmaras de refrigeração que são construídas em painéis de poliuretano com uma espessura de 0,1m. O volume total das quatro câmaras de refrigeração é de 637,5 m³. Também possui quatro sistemas de refrigeração distribuídos da seguinte forma: uma central de circuito directo (satisfaz as necessidades de frio da câmara de refrigeração números 1,2 e 3); duas unidades de tratamento do ar (satisfazem as necessidades de frio das câmaras 4 e 5); e finalmente uma central de circuito indirecto (tem um sistema individual no circuito primário) para arrefecimento do leite. Os sistemas de refrigeração foram construídos em 1999, possuem compressores da marca Bitzer do tipo semi-herméticos, utilizam o fluido frigorigéneo R22 e no total possuem uma potência eléctrica de 32,48 kW.

Durante o ano de 2010, este estabelecimento recepcionou 701637 litros de leite, que transformou para fabrico de queijo curado. Pela análise das facturas de energia, durante o ano consumiu 221722 kWh de energia eléctrica (correspondente a 47517 kgep) e ainda 15010 litros de gásóleo de aquecimento (12810 kgep).

Na figura 5.44 apresentam-se os resultados práticos correspondentes a este estabelecimento bem como os resultados do modelo desenvolvido.

Numa primeira análise aos seis gráficos da figura, concluímos que os resultados práticos deste estabelecimento, permanecem no interior das bandas do intervalo de confiança de 95%, o que nos leva a concluir que o comportamento dos sistemas de refrigeração e o desempenho energético deste estabelecimento se encontra dentro dos limites preconizados pelo modelo desenvolvido.

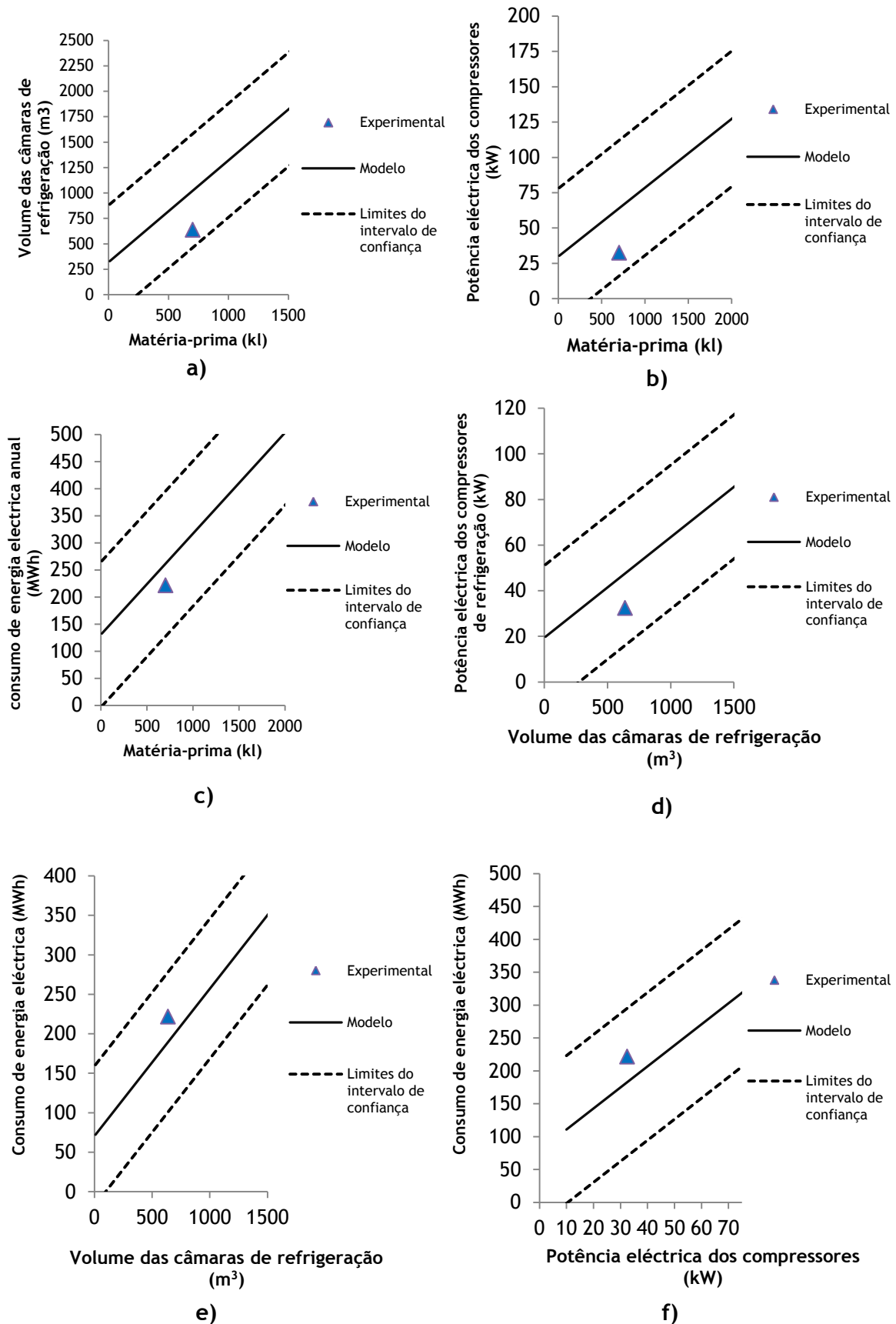


Figura 5.44 - Comparação dos resultados práticos de um estabelecimento de laticínios de fabrico industrial com os valores do modelo.

De uma forma mais pormenorizada, dos gráficos a), b) e c) da figura 5.44, constatamos que para a quantidade de matéria-prima transformada por este estabelecimento, o volume total das câmaras de refrigeração e a potência eléctrica nominal dos compressores e o consumo de energia eléctrica ficam abaixo do previsto pelas correlações, com diferenças percentuais de 60%, 63% e 18%, respectivamente. Do gráfico d) da figura 5.49 também se constata que para o volume real das câmaras de refrigeração do estabelecimento, a potência eléctrica dos compressores também fica abaixo do valor dado pela correlação, em cerca de 46%. Por sua vez, do gráfico e) da mesma figura, conclui-se que para o volume real de câmaras, o consumo de energia é mais elevado que o valor estimado pelo modelo em cerca de 17% e finalmente do gráfico f), o consumo de energia para a potência dos compressores do estabelecimento também é mais elevado que o valor estimado pelo modelo, em cerca de 21%.

Para a matéria-prima que o estabelecimento transforma anualmente, o volume das câmaras de refrigeração e a potência eléctrica dos compressores são inferiores ao valor indicado pelo modelo. Na prática, o problema é solucionado com uma grande movimentação do produto, mediante a sua colocação imediata no mercado. A potência eléctrica dos compressores também é mais baixa do que a recomendada pelo modelo. Esta situação acarreta dificuldades na obtenção das condições ambientais desejadas nas câmaras de cura obrigando ao aumento do tempo de funcionamento do compressor, resultando num maior consumo de energia.

À semelhança do procedimento efectuado para o caso de estudo anterior, também neste caso realizamos a medição dos consumos de energia eléctrica, com os analisadores de energia para apurar os grandes consumidores de energia. Em termos de utilização da energia eléctrica deste estabelecimento, a distribuição anual de consumos, são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Distribuição do consumo de energia eléctrica num estabelecimento de fabrico industrial.

Tipo de Operação	Consumo de energia eléctrica (kWh)	Valor percentual (%)
Recolha do leite	2381	1,1
Coagulação/coalhada	2207	1,0
Moldagem e prensagem	9760	4,4
Processo de cura/Refrigeração	148499	67,0
Revestimento, embalagem e expedição	3223	1,5
Ar comprimido	14616	6,6
Iluminação	7952	3,6
Estação Tratamento de Águas Residuais	4392	2,0
Serviços Auxiliares	28692	12,9

Da análise da tabela 5.2 constatamos que os sistemas de refrigeração são os principais consumidores de energia eléctrica. Dada a elevada percentagem de consumo de energia, é nos equipamentos associados a este tipo de sistemas que deve estar focada a atenção no sentido da obtenção de maiores economias de energia. Os resultados do modelo permitem-nos concluir que este estabelecimento exerce a sua actividade dentro dos parâmetros esperados para a fileira. No

entanto, o seu desempenho, podia ser melhorado, nomeadamente através da redução do consumo de energia.

O indicador específico de energia eléctrica (IEEE) deste estabelecimento corresponde a 0,315 kWh/l_{MP}. Apesar de termos obtido um consumo de energia mais baixo do que o previsto pelo modelo de acordo com o gráfico c) da figura 5.44, também verificamos através dos gráficos e) e f) da mesma figura que existem outras grandezas a apresentar consumos de energia superior aquele que é previsto pelo modelo.

Na realidade, durante o trabalho de campo pudemos constatar várias deficiências, algumas relacionadas com aspectos construtivos e outras por falta de manutenção dos equipamentos. Observamos que o estabelecimento possuía um tanque de banco de gelo, aberto, construído em betão e localizado no interior de uma sala com uma cobertura de fibrocimento. Na figura 5.45, apresentamos os aspectos construtivos e de funcionamento do banco de gelo.

Observamos a existência de equipamentos de refrigeração instalados em locais inadequados principalmente em zonas quentes e sem ventilação. Os condensadores estão igualmente em locais quentes e sem ventilação, proporcionando o aumento das pressões de condensação. Também a construção das infra-estruturas não oferecem grande isolamento do calor em relação ao exterior permitindo a entrada de cargas térmicas para o seu interior, facultando a sua entrada para dentro das câmaras de refrigeração (cura), por permanecerem as portas muito tempo abertas.

Segundo apuramos, algumas câmaras de refrigeração possuem uma baixa capacidade de refrigeração proporcionando um elevado tempo de funcionamento dos compressores. No gráfico b) da figura 5.44 observa-se que a potência eléctrica dos compressores é mais baixa do que aquela que o modelo sugere. A dificuldade em atingir as condições ambientais desejadas no interior das câmaras de refrigeração foi-nos transmitida pelos técnicos do estabelecimento.

Os resultados gerais que caracterizam este estabelecimento permitem-nos concluir que a distribuição global de energia do estabelecimento é de 78,8% de energia eléctrica e 21,2% de combustíveis.



Figura 5.45 - Banco de gelo sem isolamento

5.5.3. Estudo de caso: Estabelecimento da fileira da carne da categoria de salsicharia

O estabelecimento em análise corresponde a uma salsicharia localizada no Alentejo, que não fez parte do estudo inicial. Este estabelecimento desenvolve uma actividade com um processo produtivo similar ao descrito na secção 4.2.3.2.

As suas infra-estruturas são construídas em alvenaria, com caixa-de-ar e a sua cobertura é de telha marselha. Entre a cobertura e a área de trabalho existe uma separação física construída em painel de poliuretano de 0,06 m de espessura.

O estabelecimento iniciou a sua actividade em 1998, possui 3 câmaras de refrigeração, uma sala de fabrico e um fumeiro para secagem dos enchidos. As três câmaras de refrigeração estão construídas em painéis de poliuretano com 0,08 m de espessura e possuem um volume total de 142 m³.

As infra-estruturas e as câmaras de refrigeração encontram-se em bom estado de conservação. Para satisfazer as necessidades de frio o estabelecimento possui 4 unidades individuais de refrigeração (1 unidade individual de refrigeração para cada câmara de refrigeração e 1 unidade para a climatização), todas de temperatura positiva. Os compressores são do tipo semi-herméticos da marca Bitzer e foram construídos em 1997. A potência eléctrica total dos quatro compressores de refrigeração é de 10,52 kW.

Durante o ano de 2010 o estabelecimento desenvolveu uma actividade que proporcionou a transformação de 44,9 ton de matéria-prima e consumiu só energia eléctrica no total de 21,2 MWh de energia eléctrica.

Na figura 5.46 apresentamos os resultados práticos obtidos para esta salsicharia enquadrado pelo modelo desenvolvido.

A primeira constatação que se retira dos gráficos da figura 5.46 é que os resultados que caracterizam o funcionamento da salsicharia se encontram dentro dos limites do intervalo de confiança de 95% apresentado pelo modelo.

Em segundo lugar, observa-se que, com excepção do resultado prático da relação entre a matéria-prima e o volume das câmaras de refrigeração que se encontra acima do valor dado pelo modelo (30% acima), os restantes resultados práticos situam-se abaixo do valor teórico, nomeadamente, a relação entre a matéria-prima e a potência eléctrica dos compressores (39% abaixo), entre a matéria-prima e o consumo de energia (64,3%), entre volume das câmaras de refrigeração e a potência eléctrica dos compressores (9,6% abaixo), entre volume das câmaras de refrigeração e o consumo de energia eléctrica (84,9% abaixo) e finalmente entre a potência eléctrica dos compressores e o consumo de energia eléctrica (97,5% abaixo).

Este resultado permite-nos concluir que esta salsicharia possui um volume de câmaras superior ao valor indicado pelo modelo.

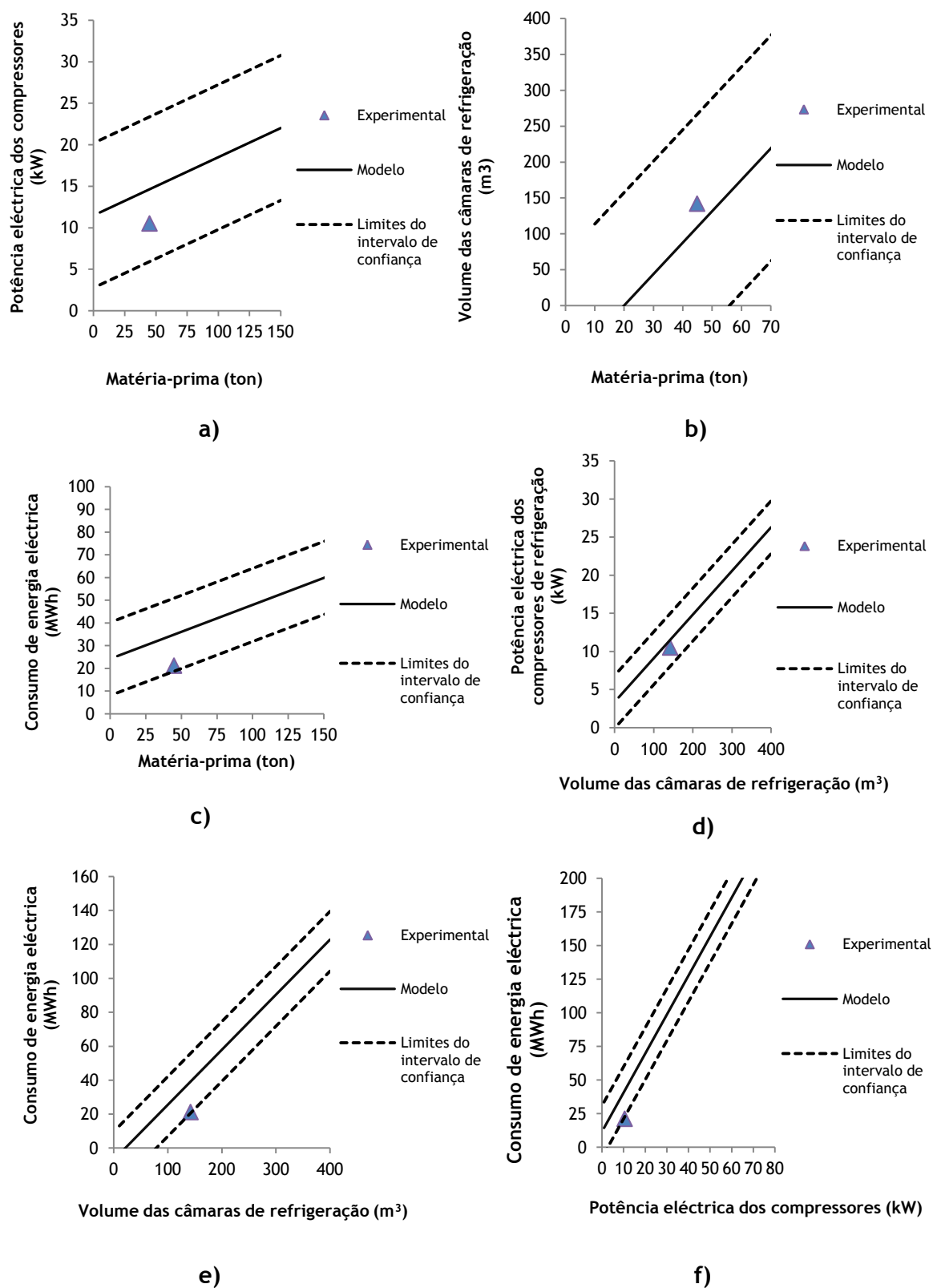


Figura 5.46 - Validação do modelo criado para a categoria das salsicharias da fileira da carne com base nos resultados de um estabelecimento desta categoria que não fez parte da amostra.

Em relação ao baixo consumo de energia apresentado pelo estabelecimento (ver gráfico c)), o resultado é compreensível tendo em conta alguns aspectos que constatamos no local durante a recolha de dados e com as características construtivas. Constatamos por exemplo que a construção do edifício teve em consideração alguns cuidados com o seu isolamento e o da cobertura, evitando a entrada de cargas térmicas para o seu interior (bem isolado), a secagem dos enchidos é efectuada através de fumeiros a lenha e depois são colocados na câmara de refrigeração para estabilização final, neste caso não utiliza unidades de tratamento de ar, proporcionando menores consumos de energia, as unidades de refrigeração estão instalados numa sala de máquinas ventilada e os condensadores arrefecidos a ar estão também em local bem ventilado.

O bom isolamento do estabelecimento favorece a diminuição da entrada de cargas térmicas para o interior do estabelecimento, proporcionando, uma diminuição do funcionamento de algumas unidades de refrigeração, nomeadamente em determinadas épocas do ano, como é o caso da climatização. Também verificamos uma boa manutenção dos sistemas de refrigeração.

Tendo em conta estes factores o indicador específico de energia eléctrica (IEEE) para esta salsicharia é de 472,1 kWh/ton, valor este bem inferior ao valor médio encontrado para a categoria das salsicharias da nossa amostra que é de 660 kWh/ton, conforme apresentado na tabela 4.12. Aliás este valor está próximo de valores encontrados na literatura (EREN, 2008).

Na bibliografia encontramos ainda outros valores mais baixos, deste indicador, como seja o valor de 289,4 kWh/ton (Moreno, 2006) e 460 kWh/ton (López et al., 2005), apresentados na tabela 1.5.

5.5.4. Estudo de caso: Estabelecimento de fabrico de presuntos

Utilizando os resultados da actividade de dois anos no nosso modelo, permite-nos testar o mesmo e verificar a influência da alteração nos sistemas de refrigeração entre os anos de 2008 e 2010, para o estabelecimento.

Neste estudo, analisamos um estabelecimento de fabrico de presuntos (CP2) próximo de Castelo Branco. Este estabelecimento iniciou a sua actividade em 1989 e tem ao serviço 15 trabalhadores.

As suas infra-estruturas são constituídas por um único piso, que engloba dois tipos de construção, uma mais antiga construída em alvenaria com caixa-de-ar e a segunda, mais nova, construída com placas de poliuretano com 0,12m de espessura. A cobertura de ambas as partes é construída com placas de fibrocimento mas possui uma laje de betão a separar o desvão do resto do edifício. O desvão é pouco ventilado.

O processo produtivo utilizado neste estabelecimento encontra-se descrito no ponto 4.2.3.3. Para realizar a actividade o estabelecimento possuía 18 câmaras de refrigeração, distribuídas por câmaras de congelação (1), câmara de descongelação (1), câmaras de estabilização (2) e câmara de conservação (1) e câmaras de cura de presunto (13).

Em termos de sistemas de refrigeração o estabelecimento disponha de 18 sistemas de refrigeração, distribuídos da seguinte forma: 4 unidades individuais de refrigeração; 1 unidade de condensação; e 13 unidades de tratamento do ar.

As principais características deste estabelecimento referentes ao ano de 2008, foram uma transformação de matéria-prima (pernas de suíno) de 1618,82 ton, um volume total das câmaras de refrigeração de 6968 m³, uma potência eléctrica de todos os compressores de refrigeração de 221 kW e finalmente um consumo de energia eléctrica de 1618,82 MWh.

Durante o processo de recolha de dados em 2009, constatamos que os condensadores dos sistemas de refrigeração eram todos arrefecidos por convecção forçada de ar e alguns encontravam-se instalados em cima da cobertura do estabelecimento (condensadores ligados às unidades de tratamento de ar) e os restantes, encontravam-se instalados no interior de uma arrecadação próxima da caldeira de aquecimento de água. Estes últimos, encontravam-se com necessidade manutenção urgente (limpeza), porque se encontravam totalmente obstruídos e não deixavam passar o ar pelo condensador.

O estado desfavorável da localização e a falta de manutenção dos condensadores que se encontravam no interior da arrecadação, levou à recomendação de mandar fazer os trabalhos de limpeza dos condensadores e se possível, transferi-los para um local mais ventilado (exterior do estabelecimento).

A empresa seguiu a recomendação proposta e, durante o ano de 2009, os condensadores foram transferidos para o exterior, local bem ventilado e foi realizada a limpeza dos mesmos.

No seguimento desta alteração os resultados da actividade relativa ao ano de 2010 corresponderam: transformação de matéria-prima de 2029,5 ton; consumo de energia eléctrica de 1662,05 MWh; e mantiveram-se igual o volume das câmaras de refrigeração e a potência eléctrica dos compressores.

Na figura 5.47 apresentamos os resultados do modelo com os resultados práticos obtidos para os dois anos de actividade.

Apesar de haver pouca diferença na localização dos dois pontos que correspondem à actividade do ano de 2008 e 2010, ainda assim observa-se uma melhoria de resultados.

No ano de 2010 registou-se um aumento de transformação de matéria-prima e simultaneamente também se observa um ligeiro aumento de consumo de energia, conforme se constata nos gráficos c), e) e f).

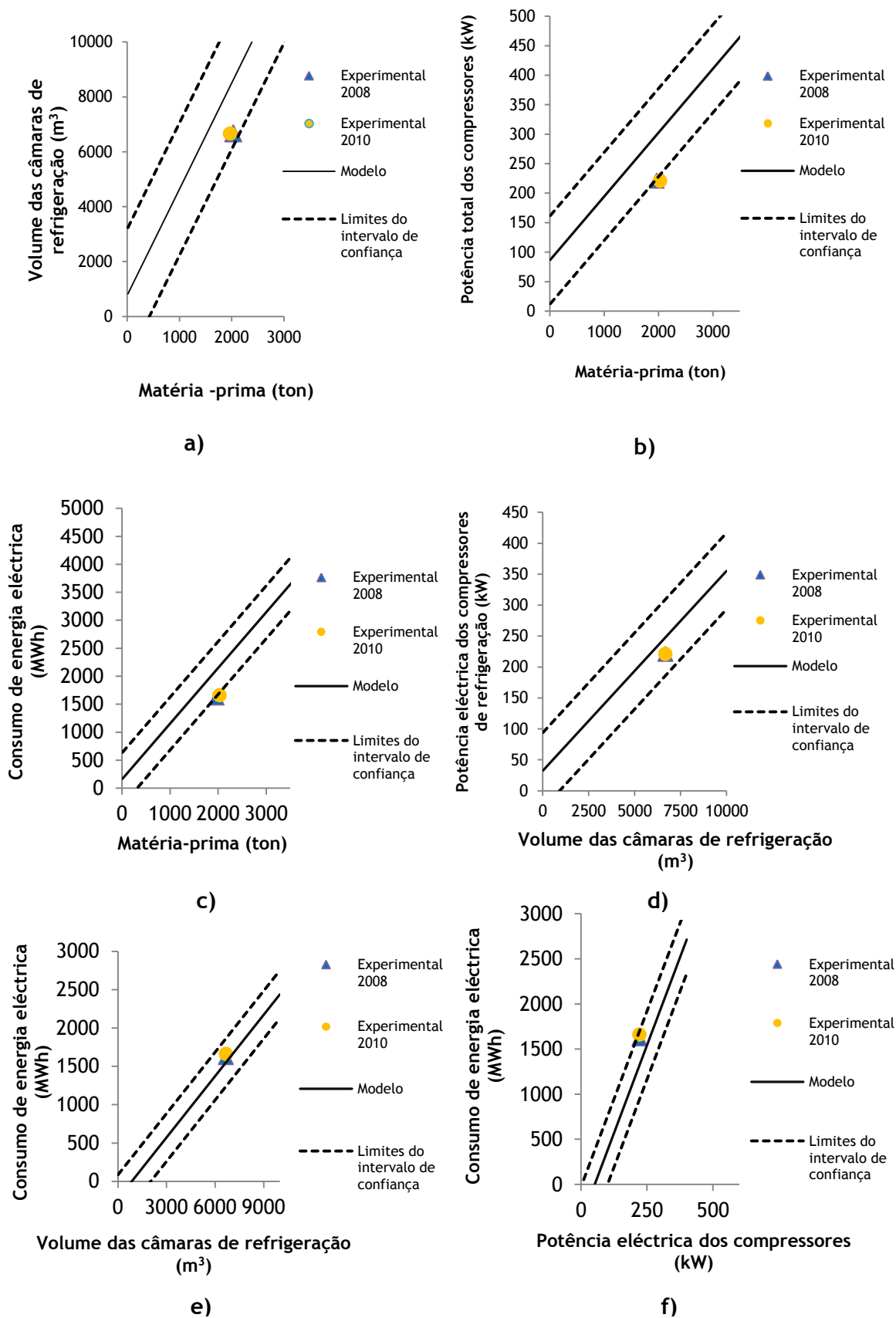


Figura 5.47 - Resultados obtidos através do modelo da fileira da carne aplicado ao estabelecimento de fabrico de presunto (CP2) para o ano de 2008 e 2010.

Outro dado relevante a retirar da análise destes gráficos, nomeadamente, o representado em a), b) e c) é que os pontos encontram-se muito próximos do limite inferior do intervalo, porque este estabelecimento é um dos melhores classificados energeticamente do estudo, através do IEEE mencionado no capítulo anterior.

Analisando melhor os gráficos, para o ano de 2008, constatamos que os resultados para a relação entre o volume das câmaras versus matéria-prima apresenta um valor 29,4 % abaixo do valor expectável pelo modelo do (gráfico a)), à semelhança da relação potência dos compressores versus matéria-prima, que apresenta um valor inferior de 35,4% (gráfico b)), da relação do consumo de energia versus matéria-prima que apresenta um valor inferior em 30,8% (gráfico c)) e a relação entre a potência dos compressores versus volume das câmaras de refrigeração que apresenta um valor inferior em 11,9% (gráfico d)).

Em relação ao ano de 2010, constatamos que os resultados da relação entre o volume das câmaras versus matéria-prima apresenta um valor 25,8 % abaixo do valor expectável pelo modelo do (gráfico a)), também à semelhança da relação potência dos compressores versus matéria-prima, que apresenta um valor inferior de 38,4% (gráfico b)), da relação do consumo de energia versus matéria-prima que apresenta um valor inferior em 31,1% (gráfico c)) e a relação entre a potência dos compressores versus volume das câmaras de refrigeração que apresenta um valor inferior em 11,9% (gráfico d)).

Já quanto aos valores reais das relações entre o consumo de energia versus volume das câmaras ficou 4,5% acima do valor expectável (gráfico e)) e o da relação consumo de energia versus potência eléctrica dos compressores ficou 22,7% acima do valor expectável (gráfico f)), para o ano de 2008. Em relação ao ano de 2010, os valores reais das relações entre o consumo de energia versus volume das câmaras ficou 7,2% acima do valor expectável (gráfico e)) e o da relação consumo de energia versus potência eléctrica dos compressores ficou 26,1% acima do valor expectável (gráfico f)).

Os resultados dos dois anos são próximos entre si e encontram-se todos no interior dos respectivos limites dos intervalos de confiança a 95%. O facto de alguns deles se encontrarem próximo do limite inferior do intervalo de confiança espelha o óptimo desempenho do estabelecimento, com uma melhoria no ano de 2010.

Para além de outros factores, os resultados também mostram que a limpeza e a instalação dos condensadores a ar em local bem ventilado foi uma boa medida de eficiência energética pois mesmo durante o ano muito quente de 2010 obtivemos uma poupança de energia próxima de 0,5%. Os resultados obtidos no modelo também fornecem a informação do bom desempenho energético deste estabelecimento por causa dos valores reais se encontrarem abaixo dos valores recomendados para a maioria das grandezas utilizadas para caracterizar os estabelecimentos.

Com estes resultados constatamos que os indicadores de consumo específico de energia eléctrica (IEEE) do ano de 2008 e 2010 apresentaram um valor igual a 822,3 kWh/ton e 818,9 kWh/ton, respectivamente. Deste modo, constatamos que apesar de ter aumentado a produção e o consumo de energia eléctrica o consumo específico de energia eléctrica diminuiu 3,4 kWh/ton. Apesar de poderem existir vários factores que possam ter contribuído para esta diminuição do

consumo específico, não temos dúvidas que a maior contribuição foi da intervenção nos condensadores, uma vez que a actividade do ano de 2010 realizou-se similarmente à dos anos anteriores.

Com esta melhoria da eficiência energética, em 2010 pouparam-se 6900,2 kWh de consumo de energia eléctrica.

5.6. NOTA CONCLUSIVA

No presente capítulo apresentamos as expressões matemáticas que traduzem as relações entre as diferentes grandezas avaliadas durante o trabalho de campo, para as três fileiras do nosso estudo. Também se apresenta a representação gráfica de cada uma das equações matemáticas e os respectivos intervalos de confiança de 95%.

Terminamos o capítulo com o resultado e a análise de quatro casos de estudo. Os resultados práticos obtidos nos estabelecimentos foram confrontados com os resultados expectáveis pelo modelo criado com o conjunto das equações matemáticas.

No próximo capítulo e último apresentam-se as conclusões que obtivemos para cada uma das fileiras: carne, lacticínios e hortofrutícolas. Finalmente termina-se o capítulo com a apresentação dos principais factores analisados neste estudo, com influência no desempenho energético dos estabelecimentos e dos sistemas de refrigeração em particular.

CAPITULO 6 - CONCLUSÕES

Os estabelecimentos agroalimentares apresentam uma grande diversidade de processos tecnológicos ou de fabrico, dado o elevado número de produtos alimentares que são tratados diariamente. Cada um desses processos possui especificidades próprias e a maioria deles utiliza os sistemas de refrigeração como uma ferramenta indispensável para o fabrico desses produtos.

No sector da refrigeração existem grandes diferenças nos sistemas que são utilizados dentro dos estabelecimentos agroalimentares. No seio das três fileiras estudadas, encontram-se diferenças significativas nas características dos sistemas de refrigeração e também nos próprios consumos de energia eléctrica que apresentam.

Neste último capítulo é efectuada uma revisão ao trabalho desenvolvido e são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

6.1. RECAPITULAÇÃO

As indústrias agroalimentares de três fileiras são estudadas neste trabalho, de forma detalhada, através de um conjunto de estabelecimentos representativos.

A maioria das indústrias agroalimentares que funcionam no sector são micro, pequenas e médias empresas e na maioria das vezes olham para este tipo de sistemas como inevitáveis para a sua actividade mas não tão importantes para tomarem medidas selectivas e de gestão de forma a ficarem integrados dentro dos planos de manutenção e acompanhamento que é planeado no interior das indústrias. Por outro lado, como o sector da refrigeração não está devidamente sinalizado como sector certificado e fiscalizado, e na maioria das vezes é desconhecido pelos empresários das unidades agroalimentares, os sistemas de refrigeração acabam por ser muitas vezes votados para segundo plano por muitas das entidades que com eles trabalham.

Os custos de investimento inicial e de manutenção das boas instalações de refrigeração são elevados e por isso muitas vezes são substituídas por outras de custos mais baixos, com desempenhos menores e com maiores consumos de energia.

Ao longo do trabalho fez-se o levantamento das características dos edifícios associados às actividades de fabrico, para melhor avaliar a sua influência no desempenho dos sistemas de refrigeração.

Também foram caracterizadas as câmaras de refrigeração, tanto no aspecto físico como de localização e de utilização, igualmente para compreender a influência destes factores no funcionamento dos sistemas de refrigeração e no desempenho energético dos estabelecimentos.

Com este trabalho deu-se uma visão sobre como é que os estabelecimentos agroalimentares estão a funcionar, e avaliaram-se as suas principais características: infra-estruturas; câmaras de refrigeração; processos produtivos; sistemas de refrigeração e a forma como utilizam a energia.

A informação recolhida durante o trabalho de campo permitiu estabelecer um conjunto de equações que expressam a relação entre diversas grandezas como, por exemplo, matéria-prima tratada, volume das câmaras de refrigeração e energia consumida, entre outras. Estas equações foram incluídas num modelo simples que posteriormente foi aplicado a casos de estudo envolvendo estabelecimentos das diferentes fileiras. Ao atingir este estado do estudo, pretendemos ainda ir mais longe através da construção de um modelo que engloba equações matemáticas, devidamente validadas, que nos fornece o comportamento energético dos estabelecimentos e dos sistemas de refrigeração em particular para estas três fileiras.

Os resultados e as principais conclusões do presente trabalho são apresentados de seguida para cada uma das fileiras estudadas, mencionando-se posteriormente os aspectos relativos à eficiência energética e ao estudo de casos.

6.1.1. Fileira da carne

- 1- Os resultados permitem concluir que na região em estudo o maior número de estabelecimentos é da categoria das salsicharias (61%), seguido dos estabelecimentos de fabrico de presuntos (27%) e finalmente dos matadouros (12%);
- 2- O maior número de estabelecimentos é do Tipo 3, por causa do elevado número de estabelecimentos de salsicharias, uma vez que os matadouros e os restantes estabelecimentos são todos da categoria do Tipo 2. Em termos económicos a maioria dos estabelecimentos são PME, com um volume de negócios entre 0 a 2 milhões de euros (67%). A média de trabalhadores por estabelecimento é de 16;
- 3- Os matadouros são estabelecimentos de média e grande dimensão, compostos com três zonas fundamentais: zona de recepção de animais, zona de operações (linha de abate de animais) e zona limpa ou de arrefecimento e conservação da carne (refrigeração e congelação);
- 4- As salsicharias são em geral de pequena dimensão e são constituídas por várias zonas geralmente constituídas por câmaras de refrigeração, nomeadamente, zona de recepção de matéria-prima, conservação de carnes, fabrico, maturação de carnes, estufagem e cura, estabilização final e expedição;
- 5- Os estabelecimentos de fabrico de presuntos são em geral de média e grande dimensão e são constituídos também por várias zonas com câmaras de refrigeração ou de atmosfera controlada, nomeadamente, zona de recepção de pernas, de conservação de pernas refrigeradas ou congeladas, de descongelamento, de salga, de pós salga, de estufagem e estabilização final. Para além destes espaços, ainda possuem uma sala de desossa e embalagem e expedição. Tipicamente, este tipo de estabelecimentos possuem muitas câmaras de cura de presunto.
- 6- Em relação à área coberta a maioria dos estabelecimentos possuem uma área compreendida entre 1000 a 2000 m². A maioria das infra-estruturas são construídas em

alvenaria (82%) e as coberturas são em telha de fibrocimento (70%), chapas metálicas (9%) e painéis de “sandwich” (9%). As câmaras de refrigeração são na sua maioria construídas em painéis de poliuretano (55%) e as restantes em alvenaria mais poliuretano (45%);

- 7- Dos estabelecimentos visitados, 27% possuem o desvão pouco ventilado, em 40% o desvão encontra-se fechado e apenas em 33% se registou o desvão ventilado;
- 8- Também constatamos que dos estabelecimentos visitados, 55% têm uma idade entre 11 a 20 anos, 39% têm mais de 21 anos e só 6% têm uma idade inferior a 10 anos, o que indicia já um elevado uso dos estabelecimentos e dos seus equipamentos;
- 9- Os estabelecimentos com menor número de câmaras de refrigeração são as salsicharias (média de 7), seguido dos matadouros (média de 15) e finalmente os estabelecimentos de fabrico de presunto (média de 18). O volume médio das câmaras de refrigeração é de 67 m³ para as salsicharias, 89 m³ para os matadouros e 277 m³ para os estabelecimentos de fabrico de presunto;
- 10- O processo produtivo mais rápido é o dos matadouros, seguido das salsicharias e finalmente o fabrico de presunto, com uma duração média de 1 a 2 dias, 5 a 7 dias e de 150 a 180 dias, respectivamente;
- 11- Nos matadouros as temperaturas estão compreendidas ente -1 a 4°C e a humidade relativa entre 75% e 92%; nas salsicharias as temperaturas estão compreendidas entre 0 a 26°C, podendo chegar aos 60°C nos fumeiros a lenha e a humidade relativa está compreendida entre 60% a 85%; e finalmente, nos estabelecimentos de fabrico de presunto as temperaturas encontram-se entre os 0 a 26°C e a humidade relativa entre 45 a 90%. A temperatura nas câmaras de congelação é de -18°C e na sala de fabrico é de 12°C, em todas as categorias;
- 12- Os sistemas de refrigeração dentro da mesma fileira são diferentes consoantes é o processo de fabrico. Nos matadouros são utilizados sistemas de refrigeração tradicionais, para realizar os processos de arrefecimento e conservação da carne. Os principais sistemas usados são unidades individuais, centrais de circuito directo e unidades de condensação. Alguns dos estabelecimentos também possuem túneis de arrefecimento e congelação rápida.

Nas salsicharias são usados sistemas de refrigeração para a conservação de matéria-prima, estufagem e cura dos enchidos. São utilizados sistemas individuais, unidades de condensação, centrais de frio de circuito directo, sistemas compactos, mini-unidades de tratamento de ar e unidades de tratamento de ar (unidades de secagem).

Nos estabelecimentos de fabrico de presunto os sistemas de refrigeração são usados para as operações de conservação de matéria-prima (refrigeração e congelação), salga, cura, estufagem e estabilização final. Com efeito, os sistemas de refrigeração usados são unidades individuais, centrais de circuito directo e unidades de tratamento de ar (unidades de secagem);

-
- 13- Os compressores de refrigeração são todos de compressão de vapor do tipo herméticos (11%), semi-herméticos (72%) e abertos (7%);
 - 14- Os compressores apresentam um tempo de operação elevado, atendendo a que 57% apresentam um tempo de operação superior a 10 anos e só 43% têm um tempo de operação inferior a 10 anos;
 - 15- Os condensadores utilizados nos sistemas de refrigeração desta fileira são na sua maioria arrefecidos a ar (99%) e só 1% são condensadores evaporativos.
 - 16- Nesta fileira os principais tipos de energia são a eléctrica, gás propano, gasóleo de aquecimento, nafta e gás natural. Globalmente, a distribuição de consumos de energia eléctrica, gás propano, gasóleo de aquecimento, nafta e gás natural é de 85%, 6%, 5%, 3% e 1 %, respectivamente;
 - 17- A utilização da energia eléctrica e os combustíveis pelas diferentes categorias apresenta a seguinte distribuição: 66,4% de energia eléctrica e 15,2% de combustíveis para os matadouros; 84,8% de energia eléctrica e 15,2% de combustíveis, para as salsicharias; e 92% de energia eléctrica e 8% de combustíveis para os estabelecimentos de fabrico de presunto;
 - 18- A média anual do consumo de energia eléctrica por categoria de estabelecimento, são: 491,1 MWh para os matadouros; 127,1 MWh para as salsicharias; e 1034 MWh para os estabelecimentos de fabrico de presunto. Estes evidenciam os estabelecimentos de fabrico de presunto como os maiores consumidores de energia eléctrica dentro da fileira;
 - 19- Os valores médios anuais dos indicadores energéticos e físicos obtidos foram: para os matadouros, CEEP igual 0,049 tep/ton_{MP}, IEEE igual 148,5 kWh/ton_{MP}, MPVC igual a 2,57 ton_{MP}/m³ e PECV igual 0,07 KW/m³; para as salsicharias, CEEP igual a 0,16 tep/ton_{MP}, IEEE igual a 660,17 kWh/ton_{MP}, MPVC igual a 0,71 ton_{MP}/m³ e PECV igual 0,1 KW/m³; e finalmente, para os estabelecimentos de fabrico de presunto, CEEP igual a 0,28 tep/ton_{MP}, IEEE igual a 1208,3 kWh/ton_{MP}, MPVC igual a 0,20 ton_{MP}/m³ e PECV igual 0,04 KW/m³;
 - 20- As potências eléctricas nominais dos compressores de refrigeração encontram-se compreendidas entre 28 a 260 kW para os matadouros, entre 38 a 126,7 kW para as salsicharias e entre 93 a 346 kW para os estabelecimentos de fabrico de presunto;
 - 21- A ocupação das câmaras de refrigeração dada pelo indicador MPVC, apresenta um valor médio de 2,57 ton_{MP}/m³, 0,712 ton_{MP}/m³ e 0,3 ton_{MP}/m³ para os matadouros, salsicharias e estabelecimentos de fabrico de presunto, respectivamente;
Em relação à potência eléctrica dos compressores por unidade de volume (PECV), apresenta um valor mais baixo para o caso dos estabelecimentos de fabrico de presunto, 0,043 kW/m³ e é de 0,072 kW/m³ para as salsicharias e matadouros;
 - 22- O potencial de poupança de energia eléctrica apurado para os matadouros foi de 17% e a poupança será de 21% em relação ao valor de *benchmarking*, utilizado para os países da OCDE. Para as salsicharias o potencial de poupança de energia eléctrica foi de 24% em relação ao valor médio obtido para esta categoria e essa poupança aumenta para 53% em

relação ao valor médio de energia eléctrica referenciados na literatura. Finalmente, o potencial de poupança de energia eléctrica para os estabelecimentos de fabrico de presunto, em relação ao valor médio obtido para esta categoria é de 16,7%.

6.1.2. Fileira dos lacticínios

- 1- Os estabelecimentos desta categoria enquadram-se todos no Tipo 2 e Tipo 3. Em termos económicos são todos estabelecimentos PME, apresentando um volume de negócios entre 0 a 2 milhões de euros (71%) e entre 2 a 10 milhões de euros (29%). Alguns deles têm ao serviço entre 50 a 99 trabalhadores (3%), 10 a 49 trabalhadores (58%) e entre 1 a 9 trabalhadores (39%). A média de trabalhadores ao serviço é de 18;
- 2- Os estabelecimentos desta fileira são de pequena e média dimensão e são compostos genericamente por uma zona de recepção do leite, sala de armazenamento do leite (refrigerado), sala de fabrico, sala de salga, sala de lavagem, câmaras de refrigeração (cura do queijo), câmara de conservação do queijo, sala de expedição, entre outros espaços, nomeadamente sociais. Alguns estabelecimentos, nomeadamente os que possuem o processo de fabrico industrial, possuem tecnologias mais avançadas e realizam a salga do queijo num tanque de água salgada a uma temperatura compreendida entre 6 e 12 °C;
- 3- A maioria dos estabelecimentos possui uma área coberta até 1000 m² (42%), entre 1000 a 2000 m² (36%) e entre 2000 a 3000 m² (13%);
- 4- Os estabelecimentos são construídos em alvenaria (87%), painéis de poliuretano (10%) e alvenaria com painéis de poliuretano (3%). Por sua vez as coberturas são construídas em placas de fibrocimento (58%), chapas metálicas (16%), telha marselha (13%) e finalmente painéis de poliuretano (13%);
- 5- O desvão destes estabelecimentos apresenta várias características, nomeadamente, completamente fechado, (36%), com alguma ventilação (35%) e ventilados (29 %);
- 6- Só 6% dos estabelecimentos é que tem uma idade entre 1 a 10 anos, enquanto 52% possui uma idade entre 11 a 20 anos, 36% tem uma idade entre 21 a 30 anos e 6% têm uma idade entre 31 a 50 anos;
- 7- A maioria das câmaras de refrigeração é construída em painéis de poliuretano (48%), que existem câmaras construídas em alvenaria e painéis de poliuretano (39%) e em alvenaria com corticite (13%). Um aspecto negativo que constatamos diz respeito à localização das câmaras de refrigeração, pois 52% delas encontram-se localizadas inadequadamente (nas paredes voltadas a sul e em locais quentes), 6% encontram-se em locais razoáveis e 42% encontram-se instaladas em locais adequados;
- 8- Em função do grau de tecnologia e do método de fabrico do queijo dividimos os estabelecimentos em duas categorias: categoria de fabrico artesanal (58%) e categoria de fabrico industrial (42%). Os estabelecimentos de fabrico artesanal possuem uma

média de 4 câmaras de refrigeração, com um volume médio unitário de 104 m³, enquanto os estabelecimentos de fabrico industrial, possuem uma média de 8 câmaras de refrigeração e têm um volume unitário médio igual a 264 m³;

- 9- O processo de fabrico não é uniforme ao longo do ano e existem meses em que ocorre uma grande diminuição da produção (meses do verão), chegando mesmos alguns estabelecimentos a parar a actividade.

O processo de fabrico do queijo engloba as etapas da recepção do leite, clarificação/termização, coagulação, corte da coalhada, prensagem, salga, cura (1ª e 2ª fases), conservação e expedição. As condições ambientais de temperatura e humidade relativa encontram-se compreendidas entre 4 a 14 °C e 55 a 92%, respectivamente. O tempo médio de fabrico do queijo curado entre 30 a 60 dias;

- 10- Em relação à actividade verificamos que a matéria-prima transformada nos estabelecimentos, variou entre 38000 l até 16910500 l, do qual resultou uma produção anual de queijos de 6,5 ton e 2014 ton de queijo, anuais.

- 11- Os sistemas de refrigeração são de vários tipos e modelos, nomeadamente sistemas individuais (14,7%), centrais de frio de circuito directo (1,4%), centrais de circuito indirecto (7,3%), unidades de condensação (42,6%), unidades compactas (2,3%), mini-unidades de tratamento de ar (3,2%) e finalmente unidades de tratamento do ar (28,4%);

- 12- Os compressores usados nos sistemas de refrigeração são de compressão de vapor do tipo hermético (23%), semi-hermético (66%) ou abertos (11%). O tempo de operação é muito variável e pode ser avaliada através dos escalões de mais de 20 anos (54%), entre 10 a 20 anos (34%) e inferior a 10 anos (12%).

O principal fluido frigorigéneo usado é o R22 (45%), seguido do R404a (26%), R134a (20,5%), água (5%), água mais glicol (3%) e o Amoníaco (0,5%);

- 13- O principal tipo de condensador usado é o do tipo de tubos e alhetas arrefecido por convecção forçada de ar (99%) e em muito menor quantidade o evaporativo (1%);

- 14- O principal tipo de energia consumida é a eléctrica (58%) seguida dos combustíveis (42%). Dentro dos combustíveis, aparece o gás propano e a nafta com 18% cada, seguidos do gás natural e o gasóleo de aquecimento também com 3% cada um.

Uma repartição dos consumos de energia dentro dos estabelecimentos de fabrico industrial e artesanal permitiu obter para os primeiros, 62% de energia eléctrica e 38% de combustíveis e para os segundos, 63,5% de energia eléctrica e 36,5% de combustíveis; O tarifário eléctrico correspondente aos estabelecimentos de fabrico artesanal praticamente não usa a tarifa tetra-horária ao contrário dos estabelecimentos de fabrico industrial que quase todos usam essa modalidade. Também verificamos que ainda existe um número significativo de estabelecimentos que apresenta na sua facturação eléctrica custos com a energia reactiva pelo facto de possuírem um factor de potência inferior a 0,92;

-
- 15- O consumo médio anual de energia eléctrica dos estabelecimentos de fabrico industrial é de 397,7 MWh enquanto para os da categoria de fabrico artesanal o consumo médio anual é de 78,8 MWh;
 - 16- O valor médio da potência eléctrica nominal dos compressores de refrigeração dos estabelecimentos de fabrico industrial é de 112,8 kW, enquanto para os de fabrico artesanal é de 21,2 kW;
 - 17- Os valores médios anuais do consumo específico de energia primária (CEEP), indicador específico de energia eléctrica (IEEE) e as relações entre a matéria-prima e volume das câmaras de refrigeração (MPVC) e entre a potência eléctrica dos compressores e o volume das câmaras (PEVC), são iguais a 0,1 tep/ton_{MP}, 0,241 kWh/ton_{MP}, 1,14 ton_{MP}/m³ e 0,06 kW/m³, respectivamente, para os estabelecimentos de fabrico industrial e são iguais a 0,06 tep/ton_{MP}, 0,147 kWh/ton_{MP}, 1,54 ton_{MP}/m³ e 0,06 kW/m³, respectivamente, para os de fabrico artesanal. Destes resultados constata-se que a potência eléctrica dos compressores por unidade de volume é igual para os dois tipos de fabrico de queijo (0,06 kW/m³);
 - 18- O potencial de poupança de energia eléctrica estimado é de 32,4% para os estabelecimentos de fabrico industrial e 34% para os estabelecimentos de fabrico artesanal, se forem adoptados os procedimentos que indicamos para a fileira da carne.

6.1.3. Fileira das hortofrutícolas

- 1- Estes estabelecimentos não provocam qualquer tipo de transformação nos produtos e por conseguinte não necessitam de licenciamento industrial.
Em termos económicos, constatamos que 91% dos estabelecimentos apresenta um volume de negócios entre 0 e 2 milhões de euros e 9% apresenta um volume de negócios entre 2 a 10 milhões de euros.
A maioria dos estabelecimentos apresenta ao serviço entre 1 a 9 trabalhadores (91%) e só 9% apresenta entre 10 a 49 trabalhadores. A média de trabalhadores por estabelecimento é de 6,1, sendo este valor o mais baixo das três fileiras do nosso estudo, pelo facto de esta actividade ser muitas vezes sazonal (colheita da fruta);
- 2- Em geral, os estabelecimentos das hortofrutícolas são constituídos por um cais de recepção de produtos, câmaras de arrefecimento rápido e de conservação dos produtos, zona de calibração e rotulagem, armazenamento e zona de expedição.
- 3- Os estabelecimentos são de pequena e média dimensão, tendo 52% uma área coberta até 1000 m², 39% entre 1000 a 2000 m², 5% de 2000 a 4000 m² e finalmente 4% acima de 4000 m²;
- 4- Os materiais das envolventes laterais são na sua maioria em alvenaria (96%) e painéis de poliuretano (4%). No tocante às coberturas, encontramos vários tipos de materiais, tais como, fibrocimento (39%), chapas metálicas (26%), painéis de poliuretano (31%) e telha

-
- marselha (4%). Os desvãos dos estabelecimentos apresentam-se fechados (17%), pouco ventilados (48%) e ventilados (35%);
- 5- Os estabelecimentos de hortofrutícolas são mais novos que os das outras fileiras, pois verificamos que entre 1 a 10 anos existem 44% de estabelecimentos, entre 10 a 20 anos existem 48 % e só 4% dos estabelecimentos têm uma idade entre 21 e 30 anos e 4% entre 30 a 50 anos, respectivamente;
 - 6- Os principais materiais usados nas câmaras de refrigeração são painéis de poliuretano (83%) e em alvenaria revestida de corticite (17%);
A localização das câmaras de refrigeração é considerada boa em 52% das câmaras (afastadas de fontes térmicas), razoável em 13% e deficiente em 35%;
 - 7- As espessuras das paredes das câmaras de refrigeração são geralmente de 0,060 e 0,080 m. Cada estabelecimento possui em média 3 câmaras e o volume médio total das câmaras é de 1485 m³;
 - 8- Em função do tipo de actividade e do processo produtivo os estabelecimentos das hortofrutícolas são divididos em duas categorias: a dos revendedores de fruta e as centrais de produção de fruta. Os produtos que integram a primeira categoria são conservados a temperaturas e humidades relativas de 1 a 4°C e 75 a 95%, respectivamente. As temperaturas podem atingir valores até 14°C, como acontece na conservação de bananas. Os produtos da segunda categoria de estabelecimentos sofrem um arrefecimento rápido quando chegam ao estabelecimento e depois são conservadas entre 0 a 4°C, e uma humidade relativa entre 78 a 98%, dependendo do tipo de produto; A actividade desenvolvida pelos estabelecimentos de revenda é anual e o tempo de permanência dos produtos no estabelecimento está compreendido entre 5 a 10 dias. Já quanto aos estabelecimentos das centrais de fruta, a actividade é sazonal e o tempo de permanência dos produtos nos estabelecimentos é de 5 a 10 dias se for feita conservação normal ou de 10 até 180 dias se a conservação for de atmosfera controlada (com gás inerte);
 - 9- Os principais sistemas de refrigeração utilizados nesta fileira são os sistemas individuais (45%), centrais de circuito directo (30%), unidades de condensação (17,5%), centrais de circuito indirecto (5%) e finalmente centrais compactas de circuito directo (2,5%).
Os principais fluidos frigorigéneos utilizados são o R22 (87%), R404a (9%) e a água mais glicol (4%);
 - 10- Os compressores mais utilizados são os semi-herméticos (81%), seguido do herméticos (13%) e finalmente os abertos (6%). A potência eléctrica nominal dos compressores de refrigeração encontra-se compreendida dentro da gama de 3,1 a 148 kW;
 - 11- Os compressores usados nesta fileira são mais novos, pois 53% possuem menos de 10 anos de operação, 44% apresentam um tempo de operação entre 10 a 20 anos e só 3% têm mais de 20 anos de operação;
 - 12- Os condensadores mais usados são do tipo de convecção forçada de ar (95%), seguidos dos condensadores evaporativos (5%);

-
- 13- O único tipo de energia usado nesta fileira é a eléctrica. Da análise das facturas constatamos que alguns estabelecimentos estavam a usar energia reactiva o que é penalizador por causa do aumento dos custos com a energia. Nestes casos foi recomendada a instalação de uma bateria de condensadores.
 - 14- O estabelecimento L20 possui um sistema de armazenamento de atmosfera controlada (gás inerte) e utiliza uma central de circuito indirecto. Da análise das facturas de energia eléctrica constatamos que este estabelecimento apresenta o menor valor da energia nas horas de ponta o que indica uma gestão cuidada dos sistemas de refrigeração;
 - 15- Os consumos de energia eléctrica dos estabelecimentos, encontram-se compreendidos entre 8230 kWh e 47778 kWh;
 - 16- Os valores médios anuais dos consumos de energia eléctrica para os estabelecimentos de revenda e de centrais de fruta são de 53,1 MWh e 68,6 MWh, respectivamente;
 - 17- Os valores médios anuais dos indicadores CEEP, IEEE, MPVC, PECV, PECMP, CEEV, e CEEPC, para os estabelecimentos de revenda de produtos de hortofrutícolas são 0,02 tep/ton_{MP}, 82,5 kWh/ton_{MP}, 2 ton_{MP}/m³, 36 W/m³, 17,79 W/ton_{MP}, 158,59 kWh/m³ e 5,07 kWh/W, respectivamente;
 - 18- Os valores médios anuais dos indicadores CEEP, IEEE, MPVC, PECV, PECMP, CEEV, e CEEPC, para os estabelecimentos das centrais de fruta são 0,01 tep/ton_{MP}, 60,8 kWh/ton_{MP}, 0,8 ton_{MP}/m³, 25 W/m³, 37,36 W/ton_{MP}, 43,61 kWh/m³ e 1,90 kWh/W, respectivamente;
 - 19- O indicador específico de energia primária (CEEP) indica-nos que o consumo de energia primária é aproximadamente o dobro nos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas, em relação aos estabelecimentos das centrais de fruta. A mesma conclusão é obtida através do indicador específico de energia eléctrica (IEEEE), uma vez que eles estão relacionados entre si. O indicador que relaciona a matéria-prima e o volume das câmaras (MPVC) é superior nos estabelecimentos de revenda o que significa que nas câmaras de refrigeração desses estabelecimentos são movimentadas maiores quantidades de hortofrutícolas. Também o indicador da relação da potência eléctrica dos compressores por unidade de volume (PECV) é maior para os estabelecimentos de revenda, ao contrário do indicador que relaciona a potência eléctrica dos compressores com a quantidade de matéria-prima (PECMP) que é maior para os estabelecimentos das centrais de fruta. O indicador que relaciona o consumo de energia eléctrica com o volume das câmaras de refrigeração (CEEV) é maior para os estabelecimentos de revenda, em concordância com o IEEE e o PECV. Finalmente o indicador que relaciona o consumo de energia eléctrica com a potência dos compressores é superior nos estabelecimentos de revenda também em concordância com os indicadores IEEE e PECV.

6.1.4. Principais factores que influenciam a eficiência energética

Nesta secção apresentamos alguns dos principais aspectos que condicionam a eficiência energética dos estabelecimentos. Alguns destes aspectos foram assinalados na tabela 1.4, e foram observados ao longo do trabalho de campo. A análise da eficiência energética dos estabelecimentos requer entrar em linha de conta com todos os elementos relevantes, i, e., os edifícios, as câmaras de refrigeração, os sistemas de refrigeração e as características da matéria-prima. A análise tem que integrar todos estes elementos uma vez que eles todos exercem uma grande influência entre si. Destacam-se de seguida os principais aspectos:

- 1- A idade avançada das infra-estruturas dos estabelecimentos contribuem para a diminuição da qualidade térmica dos materiais e permitem a entrada de cargas térmicas por condução nas paredes e por infiltrações de ar para o interior dos edifícios. Nestas condições, se as câmaras de refrigeração também apresentarem as mesmas características os sistemas de refrigeração trabalham mais tempo, consumindo mais energia eléctrica. Obtivemos o maior valor do indicador IEEE (249 kWh/ton_{MP}) para o matadouro CM3 que apresenta estas características em oposição com outros que desempenham uma actividade similar e apresenta um valor de IEEE menor, conforme foi discutida na secção 4.4, alínea I;
- 2- A melhoria da qualidade térmica dos materiais em conjunto com as configurações das infraestruturas, nomeadamente as paredes e a cobertura contribuem fortemente para a melhoria da eficiência energética do estabelecimento. O estabelecimento CS10 apresenta o mais baixo valor de IEEE da fileira das salsicharias ($262,1 \text{ kWh/ton}_{MP}$) por apresentar bons materiais e características de construção, tal como foi discutido na secção 4.4, alínea II;
- 3- O tempo de operação dos sistemas de refrigeração e a falta de manutenção dos mesmos são dois factores fundamentais para o desempenho energético dos sistemas de produção de frio, pois ambos contribuem para a diminuição da eficiência frigorífica dos sistemas com o consequente aumento de consumo de energia. O estabelecimento CS5 possui-a estas características e como consequência apresentou o mais elevado valor do IEEE ($897,6 \text{ kWh/ton}_{MP}$), conforme analisado na secção 4.4, alínea III;
- 4- A localização física dos sistemas de refrigeração em condições adversas (zonas de temperaturas elevadas) e as suas condições operacionais de funcionamento têm uma forte influência no desempenho energético dos sistemas e em particular dos estabelecimentos. Quando estes estão sujeitos a uma forte acção das condições ambientais exteriores adversas, diminui a eficiência e consequentemente aumenta o consumo de energia. O estabelecimento CP8 possui unidades de secagem instalados no exterior e o seu valor do IEEE é mais elevado ($1693,5 \text{ kWh/ton}_{MP}$) ao de todos os restantes estabelecimentos de fabrico de presunto, conforme analisado na secção 4.4, alínea IV).

-
- 5- O exercício da actividade a um nível muito abaixo da capacidade nominal para o qual é desenhado o estabelecimento (funcionamento a carga parcial) é um factor fortemente penalizador para o seu desempenho energético, pois as instalações ficam sobredimensionadas consomem mais energia e não produzem as quantidades para as quais estão projectadas. De entre os estabelecimentos da categoria de presuntos existiu um que em 2008 trabalhou a carga parcial e apresentou o maior valor de IEEE ($2202,3 \text{ kWh/ton}_{MP}$), de acordo com a análise da secção 4.4, alínea v);
 - 6- As condições ambientais externas exercem uma influência muito grande no desempenho dos sistemas de refrigeração visto que têm uma grande influência no funcionamento do condensador, proporcionando o aumento da pressão de condensação e assim aumentar os consumos de energia eléctrica. Neste caso os condensadores devem estar limpos, à sombra e se possível sobredimensionados. Conforme se constata na tabela 1.4, por cada 1°C de aumento da temperatura de condensação, aumenta em 3% o consumo de energia. No nosso estudo, através de medições de energia, constatamos que um estabelecimento aumentou os seus consumos de energia do Mês de Janeiro para o Mês de Julho em 25,7%, conforme apresentado na secção 4.4, alínea VI);
 - 7- A instalação de componentes dos sistemas de refrigeração, nomeadamente condensadores em desvãos não ventilados afecta a sua eficiência. Em virtude da temperatura elevada no interior do desvão verifica-se um aumento da pressão de condensação penalizando o funcionamento do ciclo e aumentando o consumo de energia. No nosso estudo constatamos que a promoção de ventilação ao desvão e a dois sistemas de refrigeração proporcionaram uma melhoria no IEEE em 22,9%, conforme apresentado na secção 4.4, alínea VII.
 - 8- A abertura excessiva das portas das câmaras de refrigeração dos produtos, proporciona a entrada de grandes quantidades de ar prejudicando o desempenho energético dos estabelecimentos. Dois estabelecimentos similares, com a mesma actividade de revenda de hortofrutícolas, aquele que realiza a abertura das portas com muita frequência apresenta um IEEE superior ($97,4 \text{ kWh/ton}_{MP}$) em relação ao outro que não tem esse procedimento ($\text{IEEE}=82,1 \text{ kWh/ton}_{MP}$), conforme analisado na secção 4.4, alínea VIII.
 - 9- As cortinas de ar instaladas nas portas das câmaras de refrigeração, são uma boa opção para evitar a entrada de ar para o interior das câmaras de refrigeração, melhorando a eficiência do sistema. Os estabelecimentos F2 e F7 são similares e realizam a mesma actividade de revenda de hortofrutícolas. O estabelecimento F7 possui-a cortina de ar e apresentou um IEEE de $60,2 \text{ kWh/ton}_{MP}$ e o F2 apresentou um IEEE superior, $81,2 \text{ kWh/ton}_{MP}$, de acordo com a análise da secção 4.4, alínea IX);
 - 10- A existência de antecâmaras para protecção das portas das câmaras de refrigeração também são uma boa opção para a melhoria da eficiência energética, pois têm um efeito semelhante às das cortinas de ar, isto é, evita a entrada de ar quente para o interior das câmaras de refrigeração e ainda protege os produtos. Dentro da categoria dos estabelecimentos de revenda de hortofrutícolas existe um único estabelecimento que

-
- possui as suas câmaras de refrigeração no interior de uma antecâmara e apresentou o valor mais baixo do valor de IEEE (48,4 kWh/ton_{MP}) e realiza uma actividade similar aos restantes, conforme analisado na secção 4.4, alínea X);
- 11- As paredes das câmaras com reduzida espessura e expostas a elevadas cargas térmicas exteriores provocam o aumento do funcionamento dos sistemas de refrigeração. O estabelecimento F5 foi o que apresentou uma espessura das paredes da câmara mais baixa (0,06m) e apresentou o valor mais elevado do IEEE (122,2 kWh/ton_{MP}), conforme analisado na secção 4.4, alínea XI);
 - 12- A deficiente vedação das portas das câmaras de refrigeração facultam a infiltração de ar do exterior para o seu interior proporcionando o aumento do funcionamento dos sistemas de refrigeração. O estabelecimento F21 possui-a uma elevada danificação das vedações das portas e por conseguinte apresenta um IEEE mais elevado (83,2 kWh/ton_{MP}) em relação aos que lhe são similares, conforme discutido na secção 4.4, alínea XII);
 - 13- A ausência ou deficiência do isolamento da conduta de aspiração do compressor conduz ao aumento do sobreaquecimento do fluido frigorigéneo à entrada do compressor prejudicando o seu funcionamento. O estabelecimento F14 não possui a conduta de aspiração do sistema de refrigeração isolada, proporcionando efeito no sobreaquecimento do fluido frigorigéneo e por conseguinte apresentou um IEEE mais elevado (64 kWh/ton_{MP}) comparativamente aos estabelecimentos similares, conforme analisado na secção 4.4, alínea XIII);
 - 14- A utilização de um sistema de comando automático da central frigorífica e a utilização de equipamentos de variadores de velocidade dos ventiladores do condensador e evaporador melhora o desempenho energético dos sistemas de refrigeração. O estabelecimento F22 possui uma central de controlo automático e variador de velocidade dos ventiladores do condensador e dos evaporadores e apresentou o valor baixo do IEEE (58,5 kWh/ton_{MP}), conforme analisado na secção 4.4, alínea XIV.

6.1.5. Modelo matemático

O trabalho de campo permitiu recolher diversa informação acerca da interligação entre parâmetros que caracterizam os sistemas de refrigeração dos estabelecimentos das diferentes fileiras. Foi possível estabelecer expressões matemáticas que expressam a correlação entre pares de parâmetros como, por exemplo, matéria-prima e volume das câmaras de refrigeração, ou a matéria-prima e consumo de energia eléctrica, entre outros. Globalmente foram estabelecidas 42 equações matemáticas, que fornecem a relação existente entre pares de grandezas com base na aplicação de métodos estatísticos da regressão ou correlação linear. Estas expressões figuram num modelo simples que foi construído de modo a disponibilizar informação que permita avaliar o comportamento dos sistemas de refrigeração e os respectivos consumos de energia eléctrica em qualquer estabelecimento real.

O modelo foi validado, com quatro casos de estudo e os resultados obtidos apresentam uma boa aproximação entre os valores teóricos e os resultados práticos dos estabelecimentos.

Este modelo tanto pode servir para analisar um estabelecimento real como pode ser usado como uma ferramenta preditiva de valores para trabalhos de projecto de estabelecimentos agroalimentares destas três fileiras.

Estudamos a aplicação do modelo a dois estabelecimentos da fileira dos lacticínios: um de fabrico de queijo artesanal e o outro de fabrico de modo industrial. Em ambos os casos verificou-se que os resultados práticos dos estabelecimentos enquadram-se todos dentro dos valores dos limites do intervalo de confiança de 95%. Em alguns casos os valores práticos aproximaram-se dos valores expectáveis fornecidos pelo modelo, com uma proximidade de 4,4%.

Também estudamos uma salsicharia que não fez parte do nosso estudo, à semelhança dos dois casos anteriores e constatamos que os pontos que caracterizaram a sua actividade também se encontravam todos dentro do intervalo de confiança de 95%. Quando à análise dos pontos no modelo, com excepção da relação entre a matéria-prima e o volume das câmaras, os restantes valores apresentavam-se abaixo dos valores expectáveis pelo modelo indiciando um bom desempenho do estabelecimento. Para esta salsicharia o valor do IEEE foi de 472,2 kWh/ton_{MP}, portanto inferior ao valor médios obtido para esta categoria de estabelecimentos que foi de 660 kWh/ton_{MP}.

Por ultimo, no quarto caso analisamos dois anos de actividade de um estabelecimento que integrou o nosso estudo. A diferença das condições de funcionamento, consistiram na mudança de local de condensadores que se encontravam localizados próximo de fontes de calor para um local mais ventilado e da sua respectiva limpeza. Os resultados da actividade dos anos de 2008 e 2010 encontram-se dentro dos limites de intervalo de 95%. Constatamos que os pontos ficam próximos entre si com valores inferiores aos expectáveis. Com esta intervenção o estabelecimento apresentou uma poupança de energia de 2008 para 2010 de 0,5%. O valor do IEEE correspondente ao ano de 2008 foi de 822,3 kWh/ton_{MP} e o de 2010 foi de 818,9 kWh/ton_{MP}. Com estes resultados concluímos que o modelo proposto é capaz de reproduzir a actividade destas categorias de estabelecimentos bem como as características dos sistemas de refrigeração.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do presente estudo pretendemos dar a conhecer como funcionam os estabelecimentos das fileiras mais relevantes das indústrias agroalimentares. A falta de informação sobre as características dos sistemas de refrigeração e os consumos de energia dos estabelecimentos das fileiras da carne, dos lacticínios e das hortofrutícolas levou-nos a aprofundar os aspectos mais relevantes sobre as suas características principais, com especial relevo para o tipo de infra-estruturas, processos produtivos, sistemas de refrigeração e respectivos consumos de energia.

Conhecer os consumos de energia dos estabelecimentos e avaliar se esses consumos são os mais adequados ao tipo de função e actividade que desempenham é actualmente um dos maiores interesses das empresas e da comunidade em geral.

Neste estudo confirmamos que os sistemas de refrigeração são os principais elementos consumidores de energia eléctrica e identificamos vários factores que afectam o seu desempenho energético e o dos estabelecimentos.

Para compreender a relação da influência das principais variáveis entre si, construímos um modelo matemático para avaliar a relação entre os consumos de energia, potências eléctricas dos compressores de refrigeração, volume das câmaras de refrigeração com a matéria-prima transformada nos estabelecimentos. É uma ferramenta inovadora, pois não existe na literatura, modelo semelhante, para nos fornecer a relação entre as diversas grandezas nem para nos fornecer as características de funcionamento destes estabelecimentos.

Atendendo às limitações do presente estudo, como trabalho futuro, teria interesse em desenvolver os seguintes aspectos:

- a) Realização de uma análise energética global ao sistema termodinâmico constituído pelo edifício do estabelecimento e todos os equipamentos do seu interior e analisar todas as grandezas que entram e saem do sistema, incluindo a modelação do conjunto dos equipamentos inseridos no edifício, com destaque para os sistemas de refrigeração. Através dessa modelação, o objectivo seria estimar a quantidade de energia eléctrica e de combustíveis que são necessários usar, para realizar os processos produtivos e obter os produtos. Certamente que os resultados obtidos não seriam coincidentes, com os valores reais, mas seria uma ferramenta fundamental para optimização dos processos de fabrico dos estabelecimentos agroalimentares. Posteriormente pode realizar-se a comparação entre as energias determinadas pelo modelo teórico e aquelas que na prática o estabelecimento consomem. Com esta modelação será possível estimar teoricamente os consumos de energia dos sistemas de refrigeração e avaliar os seus desempenhos e apurar ainda os factores que afectam a sua eficiência.
- b) Alargar o presente estudo a um maior número de estabelecimentos e determinar o valor médio geral de consumos de energia que corresponda às melhores práticas disponíveis. Depois através destes valores, realizar a classificação dos estabelecimentos por classes energéticas (como exemplo A,B,C,D,..) consoante os desvios alcançados entre o valor médio considerado padrão, por exemplo de *benchmarking* e os valores reais obtidos. Os resultados deste projecto certamente que obtêm resultados técnicos muito relevantes e de certeza, um impacto positivo sobre a indústria agroalimentar, porque primeiro ficávamos a conhecer o estado do tecido industrial e segundo seria um incentivo para os proprietários melhorarem a sua classificação. Outro aspecto relevante é o conjunto de informação que começa a circular entre a comunidade em geral, colmatando a lacuna actualmente existente.
- c) Podemos ainda ir mais longe mediante a construção de um modelo teórico que permita ser alimentado, não só com os dados principais dos estabelecimentos, mas também ainda, com um conjunto de características principais das infra-estruturas,

câmaras de refrigeração, sistemas de refrigeração, processo produtivo, entre outros. O modelo com estas características, avalia por comparação esses dados com outros que ele já possui no seu interior e que correspondem às características das melhores práticas disponíveis.

Desta comparação o modelo disponibiliza a classificação energética do estabelecimento, indicadores principais e sugeria ainda às empresas as mudanças que terão que fazer para os estabelecimentos melhorarem a sua classificação energética. Uma versão informática deste modelo poderia ser acessível às empresas para terem a possibilidade não só de saber a classificação do seu estabelecimento, mas também de realizar as alterações necessárias, para melhorar a sua classificação, se fosse o caso disso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelaziz, E.A., Saidur, R. e Mekhilef, S., 2011. *A Review on energy saving strategies in industrial sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 150-168.

Ademe, 2000. *Diagnóstico énergétique des installations frigorifiques industrielles*. Ademe-Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l' Energie, Paris.

Ademe, 2003. *Energy consumption for refrigeration in Europe*. Ademe - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. Paris. [consultado em 22-03-2013]. Disponível em: <http://www.google.pt/url?q=http://www2.ademe.fr/servlet/getBin%3Fname%3D56700260A84D89BE2D48C0644C62BB4E1199903023789.pdf&sa=U&ei=b9kYUuaKHoak7AaXiYGoAQ&ved=OCB0QFjA&usg=AFQjCNHZiesDLM30Bs07mF7pok3oKXqO3g>.

Alcaraz, E.T., Ojer, J.M.P., 1985. *Instalaciones frigoríficas. Sistemas de refrigeración indirecta*. Montages e Instalaciones. 177 (11), 81-84.

AlQdah, K., 2010. *Potential opportunities for energy savings in a Jordanian poultry company*. Energy Conservation and Management 51, 1651-1655.

Álvaro, A.H., 2001. *Post cosecha*. ARDA- Serveis al sector agroalimentaria, Lleida, Espanhã.

Amerling, C., 2001. *Tecnología de la carne: antologia*. Editorial Universidade Estatal à Distância, Euned.

APA, 2012. Licenciamento de estabelecimentos. Agência Portuguesa do Ambiente, APA. Lisboa. [consultado em 21-10-1012]. Disponível em: <http://sniamb.apambiente.pt/LAdigital/>

Armando, T.J.C.G.L., 2011. Desenvolvimento de um Guia de Medição e Verificação do Desempenho Energético, Tese de Mestrado. Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Arnau, J., Serra, X., Comaposada, J., Gou, P. e Garriga, M., 2007. *Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products*. Meat Science 77, 81-89.

Artés, F., 1987. *Refrigeración y comercialización hortofrutícolas en la Región de Murcia*, II Edición ed. CEBAS-CSIC.

Artés, F., 2004. *Le rôle du froid dans le maintien de la qualité et l'amélioration de la sécurité des produits alimentaires d'origine végétale*, Bulletin de L'IIF 1.

ASHRAE, 1986. *Engineering Analysis of Experimental Data*. Ashrae Guideline 2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.

ASHRAE, 2006. *System practices for ammonia and carbon dioxide refrigerants Chapter 3* ASHRAE Handbook—Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE, 2007. *Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications*. Ashrae-American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.

Avara, A. e Daneshgar, E., 2008. *Optimum placement of condensing units of split-type air-conditioners by numerical simulation*. Energy and Buildings 40, 1268-1272.

Barbosa, S.F., 1990. *O leite e os seus produtos*. Classica Editora.

Batlle, J.B., 2004. *Aplicaciones del frío en la industria alimentaria*. Cano Pina S.L., Ediciones CEYSA, Barcelona.

Beattie, P. e Barton, T., 2002. *Eco-Efficiency Manual for Meat Processing*. Meat and Livestock Australia Ltd. Queensland Government. [consultado em 12-12-2012]. Disponível em: <http://ptech.pcd.go.th/p2/userfiles/consult/6/eco-eff10.pdf>.

Bellas, I. e Tassou, S.A., 2005. *Present and future applications of ice slurries*. International Journal of Refrigeration, 28, 115-112.

Bertrand, A., 2006. *La production du froid dans le milieu agro-alimentaire, industriel et tertiaire*. Centre de Ressources des Technologies pour l'Environnement (CRTE).

Billiard, F., 2003. *Nouveaux développement de la chaîne du froid: spécificités des pays chauds*. Bulletin of the the International Institute of Refrigeration- N.º 2003-3, 4-14.

Bitzer, 2010. Programa de dimensionamento de elementos e acessórios. Software, versão 5.1.2. Bitzer Kuehlmaschinenbau GmbH. Germany. [consultado em 10-08-2011]. Disponível em: <http://www.bitzer.de>.

Bojic, M., Lee, M. e Yik, F., 2001. *Flow and temperatures outside a high-rise residential building due to heat rejection by its air-conditioners*. Energy and Buildings 33, 737-751.

Bosma, J., 1995. *Inventory study of the energy conservation potencial in cold storage insulations in the Netherlands*. 19 International Congress of refrigeration, II, 382-591.

Bowater, F.J., 2000. *A new approach to monitoring energy and optimising cold storage costs*. FJB Systems [consultado em 07-01-2013]. Disponível em: <http://www.fjb.co.uk/wp-content/themes/fjb/publications/A%20New%20Approach%20to%20Energy%20Monitoring.pdf>.

Bowater, F.J., 2001. *Rapid Carcass Chilling Plants Compared to Conventional Systems*, The International Institute of Refrigeration. London .[consultado em 05-01-2013]. Disponível em: [http://www.fjb.co.uk/wp-content/themes/fjb/publications/Rapid%20 Carcass%20Chilling%20vs%20Conventional.pdf](http://www.fjb.co.uk/wp-content/themes/fjb/publications/Rapid%20Carcass%20Chilling%20vs%20Conventional.pdf).

Braga, J., 2008. "Eficiência Energética no Sector Industrial, Região Alentejo". Seminário " Eficiência Energética no Sector Industrial, Região Alentejo". CIP - Confederação da Indústria Portuguesa, 23 Setembro, Vidigueira.

Brown, G., Lewis, C., 2006. *Motor System Optimisation*. Energy Associates, Lda. Electricity Commission Industrial Motors Efficiency Pilot Project.

Burfoot, D., Reavell, S., Wilkinson, D. e Duke, N., 2004. *Localised air delivery to reduce energy use in the food industry*. Journal of Food Engineering 62, 23-28.

Cai, J., 2008. Control of Refrigeration Systems for Trade-off between Energy Consumption and Food Quality Loss, Thesis Master. Automation and Control, Department of Electronic Systems. Aalborg University, Aalborg East, p. 134.

Canales, C.C. e Vidal, A.P., 2005. Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Lácteo. Ministerio de Medio Ambiente. España.

Canning, P., 2010. *Fuel for Food: Energy Use in the U.S. Food System. Food Related Energy Use Increased*. Economic Research Service, Vol 8, 6.

Carmona, J.F.O., 2009. Guía Práctica Selección de los elementos de una instalación frigorífica. Sector de Enseñanza de CSIF en Sevilla, Sevilla.

Casp, V.A. e Abril, R.J., 2003. Procesos de conservación de alimentos. Madrid, España, A. Madrid Vicente.

Casqueiro, M.M.M.D., 2010. Estudo dos Procedimentos de M & V em Projectos de Eficiência Energética, Tese de Mestrado. Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial. Universidade de Aveiro, Aveiro.

CCE, 2003. Recomendação da Comissão relativa à definição de micro, pequenas e médias empresas. Recomendação 2003/361/CE da Comissão, de 6 de Maio. Jornal Oficial da União Europeia. Bruxelas.

CE, 2006. Plano de Acção para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial. Comissão Europeia, Bruxelas.

Çengel, Y.A., 1997. Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer, 1.º ed. McGraw-Hill.

Chau, K.V., 1992. *Cooling and storage of fruits and vegetables*. Anais II Congresso Brasileiro Refrigeração Ventilação e ar Condicionado, Abrava. São Paulo, 21-25.

Chow, T.T., Lin, Z. e Wang, Q.W., 2001. *Flow analysis of condenser cooling air delivery via building light well*. Applied Thermal Engineering 21, 831-843.

Christophe, B., 2010. Économie d'énergie dans les centrales frigorifiques : La haute pression flottante. White paper on Energy Efficiency. Schneider Electric SA. [consultado em 14-11-2012]. Disponível em: <http://www.schneider-electric.fr/documents/original-equipment-manufacturers/pdf/white-paper-fr.pdf>.

Chuaa, K.J., Choua, S.K., Hoa, J.C. e Hawladera, M.N.A., 2002. Heat pump drying: Recent developments and future trends. Dry Technol 20 (8), 1559-1577.

CIAA, 2010. Data & trends of the European Food and Drink Industry -2009. Confederation des Industries Agro-Alimentaires de l'Union Européenne, Bruxelas.

Cleto, L.T., 2007a. Aplications of CO2 as refrigerant in industrial refrigeration sector, The use of Natural Refrigerants, São Paulo, Brasil.

Cleto, L.T., 2007b. Applications of ammonia as refrigerant fluid in air conditioning and industrial refrigeration sector, The use of Natural Refrigerants, São Paulo, Brasil.

Clodic, D., Duminil, M., Ducros, R., 1999. Le froid efficace dans l'industrie. ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.

Coquinot, J.P., Chapon, J.F., 1992. Entreposage frigorifique des pommes et des poires: equipement, 1. ed. Ctifl-Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris.

Costa, Ê.C., 1982. Refrigeração, 3.º ed. Editora Edgard Blücher Ltd., São Paulo, Brasil.

Coulomb, D., 2008. *Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment*. Trends in Food Science & Technology 19, 413-417.

COWI, 1999. COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark. Internal data.

CySTE, 2011. Guía de prácticas de eficiencia energética en sistemas de refrigeración industrial. Consultoría y Servicios en Tecnologías Eficientes, S.A. de C.V. (CySTE) and Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Defra, 2012. Dairy Processing. DEFRA. [consultado em 10-04-2013]. Disponível em: <http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=electrical%20energy%20reduction%20in%20refrigeration%20and%20air&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.arubacoolin>

[g.com%2Fdls%2FWhite_Paper.pdf&ei=qlHQe2WI829PaXhgfgG&usg=AFQjCNHU72eF5fduLTq4RJE2tN_UkSs9sQ.](http://www.un.org/esa/sustdev/marrakech/EnergyConsumption.pdf)

DESA, 2004. Sustainable Energy Consumption in Africa. UN-DESA Report. Nairobi, Kenya [consultado em 20-02-2013]. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/marrakech/EnergyConsumption.pdf>.

Devotta, S. e Sicars, S., 2005. Refrigeration, in: Jarraud, M., Topfer K. (Ed.), IPCC/TEAP Special Report: Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, Nairobi.

DGV, 2013. Operadores de actividade económica Direcção Geral de Veterinária.Ministério da Agricultura e pescas. Lisboa. [consultado em 07-05-2013]. Disponível em: <http://www.dgv.min-agricultura.pt/portal/page/portal/DGV/genericos?generico=19447&cboui=19447>.

Dinçer, I., 2003. Refrigeration Systems and Applications. John Wiley & Sons, Ltd., Ed. WILEY.

Doménech, R.L., 2008. Evaluación experimental de una planta frigorífica de doble etapa de compresión trabajando con un compresor compound. Análisis de los efectos de desrecalentamiento y subenfriamiento utilizando como fluido de trabajo el HFC-404A., Departamento de Termodinámica Aplicada. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Domínguez, R.R., 2011. Sistemas de Refrigeración - Evaluación de la eficiencia integral. Ingeniería Energética General. http://www.energianow.com/Articulos/sistema_refrigeracion_eficiencia.pdf.

Dossat, R.J., 2004. Principles of Refrigeration. John Wiley & Sons, Inc, New York.

Duiven, J.E. e Binard, P., 2002. *Refrigerated storage: new developments*. Bulletin of the the International Institute of Refrigeration- N.º 2002-2.

EC, 2003. Programa Europeu Motor Challenge-Módulo de Accionamento de Força Motriz. European Commission, Bruxelas.

EC, 2005. "Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries". European Commission. Bruxelas.

EC, 2006. Programa Europeu Motor Challenge-Módulo de Sistemas Frigoríficos. European Commission, Bruxelas.

Egolf, P.W., O., S., 2003. A Review from Physical Properties of Ice Slurries to Industrial Ice Slurry Applications, Scientific Conference and Business Forum, Yverdon-les-Bains, Switzerland, April 23-26, pp. 15-25.

EI, 2009. Sustainable Practices in Irish Beef Processing. Transforming Irish Industry - Enterprise Ireland. Ireland.

EIA, 2011. World Energy Outlook 2011. EIA - International Energy Agency.

EIA, 2012. Availability of low GWP alternatives to HFCs - Feasibility of an early phase-out of HFCs by 2020, Environmental Investigation Agency. EIA, London.

Elleson, J.S. e Freund, S.W., 2004. Benchmarking the energy performance of industrial refrigeration systems. Interim Draft Report, Industrial Refrigeration Consortium, College of Engineering. University of Wisconsin-Madison.

EREN, 2008. Plan de Asistencia Energética en el Sector Cárnico, Ente Regional de la Energía de la Castilla Y León. Madrid. [consultado em 06-09-2012]. Disponível em: <http://www.energia.jcyl.es/web/jcyl/binarios/188/735/Carnicos.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername1=Cache-Control&blobheadername2=Expires&blobheadername3=Site&blobheadervalue1=no-store%2Cno-cache%2Cmust-revalidate&blobheadervalue2=0&blobheadervalue3=PortalEREN&blobnocache=true>.

ETSU, 1994. Energy Consumption Guide 37: Cold Storage Sector. Energy Efficiency Office. Department of the Environment, United Kingdom.

ETSU, 2000. Energy efficient refrigeration technology- The fundamentals. Good Practice Guide 280- Best practice Programme. ETSU. England.

ETSU, 2004. How to save energy and money in refrigeration- Refrigeration : Guidebook 4. Efficiency Energy Earnings. European Commission. [Consultado em 11-03-2013]. Disponível em: <http://www.ttssogutma.com/dokumanlar/refrigeration.pdf>.

Eurostat, 2011. Europe en chiffres-Annuaire d'Eurostat. [consultado em 17-04-2013]. Disponível em: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Europe_in_figures_-_Eurostat_yearbook/fr.

Eurostat, 2012. Energy, transport and environment indicators. European Commission, Bruxelas.

Evans, J., 2007. Cold storage of food. *Review of available information on energy consumption and energy savings options*. FRPERC- Food Refrigeration and Process Engineering Research Centre. University of Bristol.

Evans, J.A., Foster, A.M., Zilio, C., Reinholdt, L., Fiiin, K., Scheurs, M., Bond, C., Houska, M. e Van Sambeek, T.W.M., 2013. *Initiatives to reduce energy use in cold stores*. IOR-The Institute of Refrigeration.

Fadda, S., Aymerich, T., Hugas, M. e Garrida M., 2004. *Tipología de pequeñas y medianas industrias productoras de embutidos curados de Cataluña*. Eurocarne, 123, 105-112.

FAO, 2009a. How to Feed the World in 2050. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. [consultado em 10-05-2013]. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf.

FAO, 2009b. The state of food and agriculture-Livestock in the balance. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.[consultado em 10-05-2013]. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>.

FAO, 2012. FAO Statistical Yearbook 2012. World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. [consultado em 10-05-2013]. Disponível : <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>.

Faramarzi, R., Coburn, B.A., Sarhadian, R., 2002. *Showcasing energy efficiency solutions in a cold storage facility, Comercial Buildings: Tecchnologies, Designs, Performance Analysis and Building Industry Trends*-3.107. ACEEE.

FEI, 2002. Finnish Expert Report on Best Available Techiques in Slaughterhouses and Installations for the Disposal orvRecycling of Animal Carcasses and Animal Waste. The Finnish Environment-Environment Protection, Helsinki.

Filho, L.C.N., 2008. Refrigeração e Alimentos. Faculdade de Engenharia dos Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campina, Brasil.

Flapper, J., 2009. Environement impact analysis and benchmarking in the dairy processing industry. Master Thesis. University of Groningen.

Foster, A., Zilio, C., Corradi, M., Reinholdt, L. e Evans, J., 2013. Freely available cold store energy models. 2nd IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain-Paris-2013.

Fraser, H.W., 1998. Tunnel de refroidissement par air pulsé pour le conditionnement des fruits et des légumes frais. Division de l'Agriculture et des Affaires rurales du MAAARO, Vineland. Ontário.

Fritzson, A. e Berntsson, T., 2005. *Efficient energy use in a slaughter and meat processing plant--opportunities for process integration*. Journal of Food Engineering 76, 594-604.

Fritzson, A. e Berntsson, T., 2006. *Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry--opportunities for improvements in future energy markets*. Journal of Food Engineering 77, 792-802.

Gameiro, W., 2002. Energy Costs.... Are Changing Refrigeratiin Design, in: IIAR (Ed.), Ammonia Refrigeration Conference, Kansas.

Garcia, J.J.A. e Rubio, H.R.P., 2002. Eficiência Energética y Normativa de Sistemas de Refrigeración y aire Acondicionado. Área de Ingeniería en Recursos Energéticos. Universidad de Guadalajara, Guadalajara.

Gautherin, W., Fournaison, L. e Guilpart, J., 2007. *Évaluation des gisements d'économies d'énergie-Filière des produits laitiers et fromagers*. Revue Générale du Froid & du Conditionnement d'air 1077, 31-40.

Gigiel, A. e Collett, P., 1989. *Energy consumption, rate of cooling and weight loss in beef chilling in UK slaughter houses*. Journal of Food Engineering 10, 255-273.

González-Ramírez, J.E., Leducq, D., Arellano , M. e Alvareza, G., 2013. *Energy consumption optimization of a continuous ice cream process*. Energy Conversion and Management 70, 230-238.

Gosney, W.B., 1966. *Compound compression refrigeration cycles*, Proceedings of the Conference of Internacional Institute of Refrigeration, Munich, Germany, 60-72.

Gou, P., 1998. Dinámica del secado del jamón curado, in: Arnau, J., Monfort, J.M. (Ed.), El jamón curado: Tecnología y análisis de consumo. Estrategias Alimentarias S.L.- EUROCARNE, Simposio especial-44th International Congress of Meat Science and Technology. 1 de septiembre. Barcelona,

Gregório, J.P.P., 2010. Medição do Desempenho na Cadeia de Abastecimento Agro-industrial, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial. Universidade de Aveiro, Aveiro.

Guerra, F., 1996. Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso Integral de citricultura. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical, 242-257.

Guilpart, J., 2009. *L'audit énergétique appliqué au froid : Contenu, attendus, impacts*. Viandes Prod. Carnés 27 (2), 45-50.

Gutiérrez, J.B., 2000. Ciencia Bromatológica: Principios Generales de Los Alimentos. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.

Hajidavalloo, E. e Eghtedari, H., 2010. *Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser*. International Journal of Refrigeration 33, 982-988.

Helgerud, H.E. e Sandbakk, M., 2009. *Energy efficiency in the food and drink industry - the road to Benchmarks of Excellence*. ECEEE, 1001-1108.

Hilton, G., 2013. *Reducing energy use in the cold storage industry - A case study*. Ecolibrium, 44-50.

Hinde, D., Zha, S. e Lan, L., 2009. *Carbon dioxide in North American supermarkets*. ASHRAE Journal, 18-26.

IARW, 2010. 2010 Global Cold Storage Capacity Report. Victoria Salin, Texas A&M University, Alexandria, Virginia.

ICAEN, 2009. Estudi i analisi dels resultats de les diagnosis energètiques en sales d'especejament carni. Institut Català d'Energia, Departament d'Agricultura Alimentació i Acció Rural, Comunitat Europea.[consultado em 16-05-2013]. Disponível em : http://www20.gencat.cat/docs/icaen/09_Agricultura,%20Ramaderia%20i%20Pesca/documents/arius/651123_resultats_diagnosis_carni.pdf.

ICAEN, 2010. Estudi i analisi dels resultats de les diagnosis energètiques en càmeres frigorífiques de fruita. Institut Català d'Energia, Departament d'Agricultura Alimentació i Acció Rural, Comunitat Europea.[consultado em 17-05-2013]. Disponível em: http://www20.gencat.cat/docs/icaen/09_Agricultura,%20Ramaderia%20i%20Pesca/documents/arius/651123_informe_final_cambres_frigorifiques.pdf.

IFC, 2007a. Environmental, Health, and Safeety Guidelines for Dairy Processing. IFC-International Finance Corporation. World Bank Group. Washington, USA.

IFC, 2007b. Environmental, Health, and Safeety Guidelines for Meat Processing. IFC-International Finance Corporation. World Bank Group. Washington, USA.

IGP, 2012. Carta Administrativa Oficial de Portugal. IGP-Instituto Geográfico Português, Lisboa.www.igeo.pt.

IIF, 2008. 100 ans d'innovation dans le froid. Revue Générale du Froid et du Conditionnement d'air et l' Association Française du Froid, Paris.

IIR, 1982. Economie D'Énergie en matière de froid. International Institut of Refrigeration, Paris.

IIR, 2004. *Les coulis de glace: une technologie prometteuse*, Note Technique sur les Technologies du Froid. IIR-International Institute of Refrigeration, Juillet 2004, Paris.

Inaba, I., 2000. *New challenge in advanced thermal energy transportation using functionally thermal fluids*. Int. J. Therm. Sci vol. 39, 991-1003.

INE, 2009. Anuário Estatístico de Portugal 2008. Instituto Nacional de Estatística, IP, Lisboa.

INE, 2011a. Actividade económica. Instituto Nacional de Estatística.[consultado em 08-05-2013]. Disponível em: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0004041&contexto=pi&selTab=tab0

INE, 2011b. Anuário Estatístico de Portugal 2010. Instituto Nacional de estatística, IP, Lisboa.

INE, 2012a. Estatísticas Agrícolas 2011. Instituto Nacional de Estatística. Estatísticas Oficiais, Lisboa.

INE, 2012b. Evolução do Sector Empresarial em Portugal 2004-2010. Instituto Nacional de Estatísticas, IP., Lisboa.

James, S., 1996. *The Chill Chain "from Carcass to Consumer"*. Meat Science 43, 203-216.

James, S., 2006. Principles of food refrigeration and freezing, in: Hui, Y.H. (Ed.), Handbook of food science, technology, and engineering. Boca Raton: Taylor & Francis.

James, S.J. e James, C., 2002. Meat refrigeration. Woodhead Publishing, Abington, England.

James, S.J. e James, C., 2010. *The food cold-chain and climate change*. Food Research International 43, 1944-1956.

James, S.J. e James, C., 2011. *Improving energy efficiency within the food cold-chain*, 11th International Congress on Engineering and Food (ICEF 2011), Athens, Greece.

James, S.J., Swain, M.J., Brown, T., Evans, J.A., Tassou, S.A., Ge, T., Eames, I., Missenden, J., Maidment, G. e Baglee, D., 2009. *Improving the Energy Efficiency of Food Refrigeration Operation*. IOR-The Institute of Refrigeration Proc. Inst. R. 2008-09.5-1.

Joyce, D. e Burgi, A., 1993. *It's such a Waste of Energy*. Dairy Research and Development Corporation (DRDC), Melbourne, Australia.

Juárez, M., C., P. e Fontecha, J., 2000. Aplicaciones del frío a los productos lácteos, in: Lamúa, M. (Ed.), Aplicación del frío a los alimentos. Instituto del Frío. AMV Ediciones , Mundi Prensa, Madrid, pp. 259-291.

Kapustenko, P.O., Ulyev, L.M., Boldyryev, S.A. e Garev, A.O., 2008. *Integration of a heat pump into the heat supply system of a cheese production plant*. Energy 33, 882-889.

Kazachki, G.S. e Hinde, D.K., 2006. *Secondary coolant systems for supermarkets*. ASHRAE Journal, 34-46.

Koelet, P.C., 2002. Frio Industrial: Fundamentos, diseño y aplicaciones. A. Madrid Vicente, Ediciones.

Korsström, E. e Lampi, M., 2001. Best available techniques (BAT) for the Nordic dairy industry. Danish Environmental Protection Agency, The State Pollution Control Authority, Norway, Swedish Environmental Protection Agency. [consultado em 15-01-2013]. Disponível em: <http://www.ripecap.net/Uploads/595.pdf>.

Kuffi, K., Defraeye, T., Lescouhier, S. e Nicolai, B.M., 2013. Assessment of fast chilling methods for beef carcass cooling: CFD approach. 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, Paris, 2013.

Landymore, K., 2012. Electrical energy reduction in refrigeration and air conditioning. Smartcool Systems Inc. [consultado em 14-05-2013]. Disponível em: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=electrical%20energy%20reduction%20in%20refrigeration%20and%20air&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.arubacoolin.com%2Fdl%2FWhite_Paper.pdf&ei=qIHQe2Wl829PaXhgfgG&usq=AFQjCNHU72eF5fduLTq4RJE2tN_UkSs9sQ.

Langley, C., 2009. Refrigeración. Principios, Prácticas y Funcionamiento. Paraninfo, España.

Little, A.D., 1996. Energy savings potencial for comercial refrigeration equipment. Cambrigde, Arthur D. Little, Inc.

López, A., Esnoz, A., Carles, B. e Coronas, A., 2005. Estudi tecnològic del fred a la indústria agroalimentària i les seves millors tecnologies disponibles en consum d'energia. Institut Català d'Energia. Sociedad Espanola de Cièncias y Técnicas del Frio.

López, R.A. e Rodríguez, J., P. Z., 2000. Productos Vegetales: Regulación de los Pocesos Fisiológicos Post-Recolección, in: Lamúa, M. (Ed.), Aplicación del Frio a los Alimentos. AMV Ediciones e Mundi Prensa, Instituto del Frio-Madrid, pp. 69-103.

López, R.G., 2005. Frio Industrial, Vol. 1 ed. Marcombo, S. A., España.

Lung, R.B., Masanet, E. e McKane, A., 2006. The role of emerging technologies in improving energy efficiency: Examples from the food processing industry, Proceedings of the Twenty-Eighth Industrial Energy Technology Conference, May 9-12, New Orleans.

Magalhães, L., 2012. Enquadramento macroeconómico da indústria Agro-Alimentar em Portugal. Deloitte Portugal e Federação das indústrias Portuguesas Agro-Alimentares (FIPA).

Manske, K.A., 1999. Performance Optimization of Industrial Refrigeration Systems. Master of Science Thesis. University of Wisconsin-Madison.

Manske, K.A., Reindl, D.T. e Klein, S.A., 2001. *Evaporative condenser control in industrial refrigeration systems*. International Journal of Refrigeration 24, 676-691.

Marth, E.H., 1998. *Extended Shelf Life Refrigerated Foods: Microbiological Quality and Safety*. Food Technology 52, Issue 2, 57-62.

Martín, P.A., 2005. Tecnología del Frío y Frigoconservación de Alimentos. AMV Ediciones, Madrid.

Marvillet, C., 2001. Application industrielle du froid. Editions T.I.- Techniques de l'ingénieur, France. [consultado em 23-02-2013]. Disponível em: <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/production-de-froid-machines-frigorifiques-et-refrigerants-42211210/applications-industrielles-du-froid-be9756/>.

Matínez-Jávega, J.M., 1997. La frigoconservación en naranjas e mandarinas. Phytoma 90, 136-140.

Mattarolo, L., 1990. Refrigeration and food processing to ensure the nutrition of the growing world populatio. Progress in the Science and Technology of Refrigeration in Food Engineering, Proceedings of meetings of commissions B2, C2, D1, D2-D3, September 24-28, 1990, Dresden Germany), Institut International du Froid, Paris (France), 43-54.

McFarland, M. e Bivens, D. B., 2007. *Energie, efficacité et environnement*. Revue Générale du Froid & du Conditionnement d'air 1077, 42-47.

Melinder, Å., 2007. Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Dept. of Energy Technology. School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Sweden.

Melinder, Å., 2008. General properties and characteristics of aqueous solutions used in indirect systems, 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Dinamarca.

Mirade, P.S., Perret, B., Guillemin, H., Picque, D., Desserre B., Montel, M.C. e Corrieu, G., 2012. *Quantifying energy savings during cheese ripening after implementation of sequential air ventilation in an industrial cheesemaking plant*. Energy 46, 248-258.

MLA, 2009. Red Meat Processing Industry Energy Efficiency Manual, Meat & Livestock Australia, Australia.

Monteiro, V., 2005. Novas Técnicas de Refrigeração Comercial em Hotelaria. LIDEL, Edições Técnicas, Lda, Lisboa.

Moreno, I.M., 2006. Eficiència energètica en el sector carni i Situació a Catalunya. Generalitat de Catalunya- Institut Català d'Energia.

Mujumdar, A., S. e Law, C. L. , 2010. *Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing*. Food and Bioprocess Technology 3, Issue 6, 843-852.

Muller, D.C.A., Marechal, F.M.A., Wolewinski, T. e Roux, P.J., 2007. *An energy management method for the food industry*. Applied Thermal Engineering 27, 2677-2686.

Murray, A.N., 2010. Theoretical Calculations of Energy usage and Carbon Emissions From Food Processing Plants. Andrew Murray Consulting. Hermanus. [consultado em 23-02-2013]. Disponível em: <http://www.foodengineering.co.za/images/Murray%20paper%20for%20lufost.pdf>.

Nguyen, T.L.T., Hermansen, J.E. e Mogensen, L., 2010. *Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU*. Energy Policy 38, 2561-2571.

Nouri, J., Lotfi, F. H., Borgheipour, H., Atabi, F., Sadeghzadeh, S. M. e Moghaddas, Z., 2013. An analysis of the implementation of energy efficiency measures in the vegetable oil industry of Iran: a data envelopment analysis approach. Journal of Cleaner Production 52, 84-93.

Nunes, J., Domingues, C., Dinho, P. e Pitarma, R., 2008. Avaliação Termográfica de Instalações de Refrigeração, CLME´2008, 2-4 Setembro, Maputo.

OCDE, 2002. Manual de Frascati. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. Paris.

Okos, M., Rao, N., Drecher, S., Rode, M. e Kozak, J., 1998. Energy Usage in the Food Industry. American Council for an Energy-Efficient Economy. [consultado em 11-05-2013]. Disponível em: <http://www.aceee.org/pubs/ie981.htm>.

OME, 1999. Meat and Livestock. Ontario Ministry of the Environment.

Ordóñez, J.A., 1998. Tecnología de los alimentos - Alimentos de origen animal, 1.º ed. Editorial Síntesis, Madrid.

Ortega, M.A., Escrivá, G.E., Álvarez-Bel, C. e Domijan, A., 2011. Active demand response strategies to improve energy efficiency in the meat industry, World Renewable Energy Congress 2011. Energy End-Use Efficiency Issues (EEE), Linköping- Sweden.

Pagan, R., Prasad, P., Price, N. e Kemp, E., 2004. Eco-efficiency for the Queensland Food Processing Industry. Queensland Government. [consultado em 12-05-2013]. Disponível em: <http://www.ecoefficiencygroup.com.au/Portals/0/Eco-efficiency%20Toolkit%20for%20the%20Queensland%20Food%20Processing%20Industry.pdf>.

Pala, A., 2013. *Structural Breaks, Cointegration, and Causality by VECM Analysis of Crude Oil and Food Price*. International Journal of Energy Economics and Policy 3, 238-246.

Palm, B., 2007. *Refrigeration systems with minimum charge of refrigerant*. Applied Thermal Engineering, vol. 27 (10), 1693-1701.

Parikh, H.R., Nair, G. M. e Modi, V.V. , 1990. *Some Structural Changes during Ripening of Mangoes by Abscissic Acid Treatment*. Annals of Botany 65, 121-127.

Pearson, A., 2013. Operating experiences of low charge ammonia systems in the cold chain, 2nd International Conference on the Cold Chain, PARIS , April 2-4,Paris.

Pearson, A.M., 1994. La función muscular y los cambios postmortem, in: Price, J., Schweigert, B. S. (Ed.), Ciencia de la carne y de los productos carnicos. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, pp. 139-173.

Pereira, C.A.B., Pereira, R.H., Marques, R.P. e Parise, J.A.R., 2004. *Experimental analysis of a heat pump assisted recuperative air dehumidifier*. Thermal Engineering 5, 56-61.

Pereira, R.N., Vicente, A.A., 2010. *Environmental impact of novel thermal and nonthermal technologies in food processing*. Food Res Int 43, 1936-1943.

Perera, C.O. e Rahman, M. S., 1997. *Heat pump dehumidifier drying of food*. Trends in Food Science & Technology Vol. 8, 75-79.

Picque, D., Guillemain, H., Mirade, P.S., Didienne, R., Lavigne, R. e Perret, B., 2009. *Effect of sequential ventilation on cheese ripening and energy consumption in pilot ripening rooms*. Int. Dairy J. 19, 489-497.

PIEEP, 2000. Informe sobre Oportunidades y Possibilidades de Mejora de la Eficiencia Energética. Empresa MSGP Magnasco S.A. Planta "Don Atilio". Tandil. , Buenos Aires.

Pineda, M.T.S., 2001. Ingeniería del Frío: Teoría y Práctica, 1.^a ed, Madrid, España.

Plemper, G.S. e Stace, G., 2003. *Climate change levy and its application within the dairy industry*. Int J Dairy Technol 56, 69-75.

Poulsen, K.P. e Singh, R.P., 1986. Energy in World Agriculture. Elsevier, New York.

Prakash, B. e Singh, R. P., 2008. Energy Benchmarking of Warehouses for Frozen Foods. Public Interest Energy Research (PIER) Program Contract and Research Project Reports. California Energy Commission, PIER Program.

Prändl O., 1994. Sacrificio de los animales, con excepción de las aves, in: Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H. (Eds.), Tecnología e Higiene de la Carne. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, 79-88.

Prasad, M., 2007. Refrigeration And Air Conditioning. Indian Institute of Technology. New Age International. India.

Prasad, p., Pagan, R., Kauter, M. e Price, N., 2004. Eco-efficiency for the Dairy Processing Industry. UNEP- Working Group for Cleaner Production in the Food Industry.

Prasertsan, S., Saen-Saby, P. , 1998. *Heat pump drying of agricultural materials*. Drying Technology Vol. 16, nº1, 2, 235-250.

Price, J., Schweigert, B.S. (Eds.), 1994. Ciencia de la Carne y de los Productos Carnicos, 2.^a edición ed. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza (España).

Pruzaesky, F.C., Ticona, E.M., Braga, S.L. e Parise, J.A.R., 2008. *Pasta de gelo e nanofluidos em sistemas de refrigeração*. Climatização & Refrigeração 47-60.

Qureshi, T.Q. e Tassou, S.A., 1996. *Variable-speed capacity control in refrigeration systems*. Applied Thermal Engineering 16, 103-113.

Raeisi, A.H., Suamir.IN e Tassou, S.A., 2013. *Energy storage in freezer cabinets using phase change materials*, in: IIR (Ed.), 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain. Refrigeration Science and Technology Proceedings, Paris, France.

Ramírez, C.A., Blok, K., Neelis, M. e Patel, M., 2006a. *Adding apples and oranges: The monitoring of energy efficiency in the Dutch food industry*. Energy Policy 34, 1720-1735.

Ramírez, C.A., Patel, M., Blok, K. e 2006b. *How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries*. Energy 31, 2047-2063.

Ramirez, C.A., Patel, M. e Blok, K., 2006. *From fluid milk to milk powder: Energy use and energy efficiency in the European dairy industry*. Energy 31, 1984-2004.

Reindl, D.T., Jekel, T. B. e Elleson, J.S., 2005. Industrial Refrigeration Energy Efficiency Guidebook. IRC, Industrial Refrigeration Consortium. The University Wisconsin, Madison.

Rosset, P., Beaufort, A., Cornu, M. e Poumetrol, G., 2002. *La chaine du froid en agroalimentaire*. Cahier de Nutrition et de Diététique 34, 2, 124-130.

Saidur, R., Rahim, N.A., Ping, H.W., Jahirul, M., Mekhilef, S. e Masjuki, H.H., 2009. *Energy and emission analysis for industrial motors in Malaysia*. Energy Policy 37, 2009-2037.

Sandberg, P. e Söderström, M., 2003. *Industrial energy efficiency: the need for investment decision support from a manager perspective*. Energy Policy 31, 1623-1634.

Sarvisé, A.M., 1993. Les installations frigorífiques de la indústria agroalimentària. Departament d'Indústria i Energia. Institut Català d'Energia. .

Savell, J.W., Mueller, S.L. e Baird, B.E., 2005. *The chilling of carcasses*. Meat Science 70, 449-459.

Saygin, D., Worrellb, E., Patela, M.K. e Gielenc, D.J., 2011. *Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries*. Energy, 36, 6661-6673.

Silva, C.L.M., Gonçalves, E. M. e Brandão, T.R.S. , 2008. *Freezing of Fruits and Vegetables*, in: Evans, J.A. (Ed.), Frozen Food Science and Technology. Blackwell Publishing, 165-183.

Singh, R.P., 1986. *Energy Sccounting of Food Processing Operations*. In Energy in Food Processing (Ed R. Paul Singh) Elsevier.

Singh, R.P., 2008. Benchmarking Study of the Refrigerated Warehousing Industry Sector in California. Public Interest Energy Research (PIER) Program Contract and Research Project Reports.California Energy Commission, PIER Program.

Singh, R.P. e Heldman, D. R., 1993. Introduction to Food Engineering, 2.^a ed. Academic Press Inc., Orlando-Florida.

Soponronnarit, S., Swasdisevi, T., Wetchacama, S. e Wutiwiwatchai, W., 2001. *Fluidised bed drying of soybeans*. Journal of Stored Products Research 37, 133-151.

Standards, E., 2001. EN 13215- Condensing units for refrigeration - Rating conditions, tolerances and presentation of manufacturer's performance data. European Standard, EN Standard. Czech Republic.

States, N., 2001. Best Available Techniques (BAT) in Nordic Slaughterhouses. Nordic States.

Swain, M., 2006. *Energy use in food refrigeration - Calculations, assumptions and data sources*. FRPERC- Food Refrigeration and Process Engineering Research Centre. University of Bristol.

Swain, M.J., Evans, J.A. e James, S.J., 2009. *Energy consumption in the UK food chill chain-primary chilling*. Food Manufacturing Efficiency. IFIS Publishing 2 (2), 25-33.

Tassou, S.A., 2011. *Energy consumption and conservation in food retailing*. Applied Thermal Engineering 31, 147-156.

Tassou, S.A., Lewis, J.S., Ge, Y.T., Hadawey, A. e Chaer, I., 2010. *A review of emerging technologies for food refrigeration applications*. Applied Thermal Engineering 30, 263-276.

Tassou, S.A. e Qureshi, T.Q., 1998. *Comparative performance evaluation of positive displacement compressors in variable -speed refrigeration applications*. Int. J. Refrig. 21, 29-41.

Teitel, M., Levi, A., Zhao, Y., Barak, M., Bar-lev, E. e Shmuel, D., 2008. *Energy saving in agricultural buildings through fan motor control by variable frequency drives*. Energy and Buildings 40, 953-960.

Tejada, L., Sanchez, E., Gomez, R., Vioque, M. e Fernandez, S. J. , 2002. *Effect of freezing and frozen storage on chemical and microbiological characteristics in sheep milk cheese*. Journal of Food Science 67 (1), 126-129.

Thomas, S. e Thomas, B.F., 1973. *Psychrotrophic bacteria in refrigerated bulk-collected raw milk*. Dairy ind. 38 (11).

Tomovic, V., M., Petrovic, L. S., Jokanovic, M. R., Tomovic, M.S., Tasic, T. A., Ikonc, P. M. e Sumic, Z. M., 2011. *Rapid chilling effect on the bacterial populations of pork carcasses*. Romanian Biotechnological letters 16. N,º 6, 6766-6775.

Toresen, K., Kjött, N., Herlevsen, S., Pontoppidan, O. e Hansen, P.I.E., 2001. Nordic slaughterhouses BAT document. The Danish Meat Research Institute, Roskilde, Denmark.

Toro, J.F.C., 2006. Tecnología Frigorífica. Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Trust, C., 2007. Industrial refrigeration equipment: A guide to equipment eligible for Enhanced Capital Allowances. Technology information leaflet ECA768. Carbon Trust.

UNEP, 2000. Cleaner Production Assessment in Meat Processing. Cowi Consulting Engineers and Planners AS, Denmark. United Nations Environment Programme. Danish Ministry Environment and Energy.

UNEP, 2002. Prevención de la contaminación en la Industria láctea. UNEP. Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL) Plan de Acción para el Mediterráneo. Barcelona (España).

UNEP, 2003. 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee. UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, Nairobi.

UNEP, 2006. Class of 2006: Industry Report Cards on Environment and Social Responsibility. UNEP.

UNEP, 2011. 2010 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee. UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, Nairobi.

Unido, 2010. Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking, United Nations Industrial Development Organization, Austria.

USAID, 2011. Guía de prácticas de eficiencia energética en sistemas de refrigeración industrial. USAID-Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

USDE, 2009. Efficiency Valuation Organization, International Performance Measurement and Verification Protocol. U.S. Department of Energy's Federal Energy Management Program (FEMP).

Ventanas, J. e Andrés, A.I., 2001. Tecnología del jamon Ibérico: de los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma. Mundi-Prensa.

Ventanas, J. e López, R.C., 2001. *Dinâmica y control del proceso de secado del jamón Ibérico en secaderos y bodegas naturales y en câmaras climatizadas*, in: Ventanas, J. (Ed.), Tecnología del Jamón Ibérico. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Venturini, O.J., 2005. Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial. MME - Ministério de Minas e Energia. Electrobrás e Procel.

Victoria, S., 2009. *Energy Efficiency Best Practice Guide Industrial*, 3. State Government Victoria, Melbourne.

Virmond, E., Schacker, R.L., Albrecht, W., Althoff, C.A., De Souza, M., Moreira, R.F.P.M., et al., 2011. *Organic solid waste originating from the meat processing industry as an alternative energy source*. Energy 36, 3897-3906.

Walstra P., W.J.T.M., J. e G.T., 2006. *Dairy Science and Technology Handbook*. Boca Raton, FL:Taylor & Francis Group.

Wang, L., 2008. *Energy Efficiency and Management in Food Processing Facilities*. CRC Press, USA.

Wang, S.K., 2001. *Handbook of air conditioning and refrigeration*, 2nd ed.

Wang, S.K., Lavan, Z., 1999. *Air-Conditioning and Refrigeration*. Mechanical Engineering Handbook, in: Kreith, F. (Ed.). Boca Raton: CRCPress LLC.

Wardrop, 1997. *Guide to Energy Efficiency Opportunities in the Dary Processing Industry*. Wardrop Enginnering Inc. National Dary Council of Canada.

Werner, S., Vaino, F. e Cleland, D.J., 2005. *Survey of energy use by the New Zealand cold storage industry*. Massey University, Palmerston North.

Widell, K.N. e Eikevik, T., 2010. *Reducing power consumption in multi-compressor refrigeration systems*. International Journal of Refrigeration 33, 88-94.

Winandy, E.L. e Cuevas, B. C., 2003. *Analysis of the oil return in a pair of scroll compressors working in parallel at part load*. Applied Thermal Engineering 23, 623-636.

Wojdalski, J., Drózd, B. e Brocki, H., 2008. *Effectiveness of electrical energy and water consumption in a small-size dairy processing plant*. TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.-Ol Pan 8, 303-309.

Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L. e Harnisch, J., 2009. *Industrial energy efficiency and climate change mitigation*. Energy Efficiency 2, 109-123.

Xu, T. e Flapper, J., 2009. *Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry*. Energy Policy 37, 5334-5341.

Xu, T. e Flapper, J., 2010. *Reduce energy use and greenhouse gas emissions from global dairy processing facilities*. Energy Policy 39, 234-247.

Xu, T. , Flapper, J. e Kramer, K.J., 2009. *Characterization of energy use and performance of global cheese processing*. Energy 34, 1993-2000.

Zanotti, 2011. Refrigeration Systems & Technology. Italy.[consultado em 04-09-2012]. Disponível em: http://www.zanotti.com/product_categories/view/4.

ANEXO A - INQUÉRITO USADO NA RECOLHA DA INFORMAÇÃO NOS ESTABELECIMENTOS

INQUÉRITO DE RECOLHA DE DADOS NOS ESTABELECIMENTOS

SECTOR:	Carne <input type="checkbox"/>	Lácteos <input type="checkbox"/>	Hortofrutícola <input type="checkbox"/>
NÚMERO DE INQUÉRITO:			
DATA DA 1ª VISITA:	2ª VISITA:	3ª VISITA:	

1. DADOS GERAIS DA INDÚSTRIA

1.1 Empresa

Nome ou designação social:		
Endereço da sede:		
Localidade:	Código Postal:	Coordenadas GPS:
Concelho:		Distrito:
Telefone:	Fax:	Email:
Pessoa a contactar:		Cargo:
Telefone:	Email:	

2. Designação da Empresa

Designação:
Classificação de atividade - CAE:

3. CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

Empresa: Micro <input type="checkbox"/> Pequena <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> PME <input type="checkbox"/> Grande <input type="checkbox"/>
Ano de entrada em funcionamento:
Número de trabalhadores:
Área coberta da fábrica (m²):
Horário de trabalho/turnos:
Horas de funcionamento anual:
Volume de negócios da Empresa em 2008 (€):

¹ Classificação das empresas:

Dimensão	Número de Efectivos	Volume de Negócios ou Balanço Total
Micro	< 10	<= 2 Milhões de Euros
Pequena	< 50	<= 10 Milhões de Euros
PME	< 250	<= 50 Milhões de Euros (VN) ou <= 43 Milhões de Euros (BT)
Média	As PME que não forem micro ou pequenas empresas	

4. MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS DA EMPRESA

Valores da matéria-prima em 2008	
Mês	Matéria-Prima (Kg) / l
Janeiro	
Fevereiro	
Março	
Abril	
Maio	
Junho	
Julho	
Agosto	
Setembro	
Outubro	
Novembro	
Dezembro	

Valores da matéria-prima em 2008	
Mês	Matéria-Prima (Kg) / l
Janeiro	
Fevereiro	
Março	
Abril	
Maio	
Junho	
Julho	
Agosto	
Setembro	
Outubro	
Novembro	
Dezembro	

5. VALORES MENSAIS DA PRODUÇÃO

Valores da matéria-prima em 2008	
Mês	Tipo/Produção (Kg)
Janeiro	
Fevereiro	
Março	
Abril	
Maio	
Junho	
Julho	
Agosto	
Setembro	
Outubro	
Novembro	
Dezembro	

Valores da matéria-prima em 2008	
Mês	Tipo/Produção (Kg)
Janeiro	
Fevereiro	
Março	
Abril	
Maio	
Junho	
Julho	
Agosto	
Setembro	
Outubro	
Novembro	
Dezembro	

6. CONSUMOS DE ENERGIA NA INDÚSTRIA

Consumos e custos anuais de energia na indústria		
Tipo de Energia	Quantidades	Custos anuais (€)
Electricidade (kWh/ano)		
Gasóleo (litros)		
Gás Natural (m ³)		
Gás Propano (m ³)		
Nafta (Ton)		
Outras _____		

7. CARACTERÍSTICAS DO TARIFÁRIO E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Fornecedor actual de energia eléctrica da indústria:

Opção Tarifária actual:

Ciclo Horário:

Potência Requisitada (kVA):

Potência Instalada (kW):

Potência Contratada (kW):

Valor médio do Factor de Potência:

Existe alguma unidade de condensadores eléctricos na indústria? Sim ☐ Não ☐

Existem dados disponíveis sobre variações diárias e sazonais do consumo de electricidade? Sim ☐ Não ☐

Existe uma curva de carga diária? (anexar fotocópia) Sim ☐ Não ☐

8. DESAGREGAÇÃO DE CONSUMOS POR EQUIPAMENTOS OU SECTORES

Desagregação de consumos por equipamentos ou sectores produtivos			
		Quantidade (kWh)	% do total
ELECTRICIDADE	Força motriz - motores		
	Refrigeração		
	Aquecimento		
	Iluminação		
	Movimentação		
	Outros		
	Total		
OUTROS CONSUMOS			
	Total	Total	Total

9. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

10. FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO

11. CARACTERÍSTICAS DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

NÚMERO DA CÂMARA:

Tipo de Produtos:

Condições externas: Temperatura = °C; Humidade relativa = %

Condições internas: Temperatura = °C; Humidade relativa = %

Dimensões: Comprimento = m; Largura= m; Altura= m

Capacidade nominal: Toneladas

Capacidade média: Toneladas

Tipo de construção e materiais:

☐ Sandwich ☐ Metálica ☐ Alvenaria ☐ Alvenaria com revestimento

Tipo de isolamento e vedação:

☐ Poliuretano ☐ Cortiça ☐ Esferovite ☐ Outro_____

Tipo de piso da câmara:

☐ Betão ☐ Metálico ☐ Poliéster ☐ Madeira ☐ Outro_____

Isolamento das tubagens

☐ Neoprene ☐ Poliuretano ☐ Lã de rocha ☐ Outro_____

Localização da câmara (Layout):

Câmara interior ☐ Câmara exterior ☐

Observações:

Fontes de calor:**Iluminação**

Incandescente ☐ Fluorescente ☐ Led ☐ Outro _____ Potência instalada _____

Frequência e modo de utilização

< 1 pessoa/hora ☐ 1 pessoa/hora ☐ 2 a 5 pessoas/hora ☐ 6 a 10 pessoas/hora ☐
> 10 pessoas/hora ☐ Entrada de máquinas ☐ Existência canais transportadores ☐
Outro _____

Ganhos térmicos

Anomalias: Borrachas deficientes ☐ Isolamento afectado ☐ Juntas afectadas ☐
Acessos: Com antecâmara climatizada ☐ Sem antecâmara climatizada ☐ Porta com fecho ☐
Porta manual ☐ Existência de cortinas ☐

Produto

Tipo: _____

Quantidade: _____

Temperatura de entrada (°C): _____

Temperatura da câmara (°C): _____

Temperatura de conservação do produto (°C): _____

Tipo de embalagem: _____

12. CRACTERISTICAS DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO**12.1- Tipo de Sistema de refrigeração**

Sistema individual (DX)	<input type="checkbox"/>
Central de Frio (DX)	<input type="checkbox"/>
Central de Frio Circuito Indireto	<input type="checkbox"/>
Sistema compacto	<input type="checkbox"/>
Unidade de tratamento de ar	<input type="checkbox"/>
Mini-Unidades de tratamento de ar	<input type="checkbox"/>

12.2- Características do Sistema de refrigeração

Número do Sistema de Frio:

12.2.1- Compressor

Marca:

Modelo:

Tipo:

Quantidade:

Tipo de fluido frigorigéneo:

Potência elétrica (kW):

Motor:

Potência frigorífica (kW):

Observações:

Marca:

Modelo:

Tipo:

Quantidade:

Tipo de frigorigéneo:

Potência elétrica (kW):

Motor:

Potência frigorífica (kW):

Observações:

12.2.2- Condensador

Marca:

Modelo:

Tipo:

Capacidade (kW):

Nº Ventiladores:

Potência elétrica do ventilador (kW):

Observações:

Marca:

Modelo:

Tipo:

Capacidade (kW):

Nº Ventiladores:

Potência elétrica do ventilador (kW):

Observações:

12.2.3-Evaporadores

Marca:

Modelo:

Tipo:

Capacidade (kW):

Nº Ventiladores:

Potência elétrica do ventilador (kW):

Observações:

Marca:

Modelo:

Tipo:

Capacidade (kW):

Nº Ventiladores:

Potência elétrica do ventilador (kW):

Observações:

13- OBSERVAÇÕES GERAIS

Válvulas, filtros, visor, válvulas de expansão, tubagens, temperaturas locais:

14- CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS INSTALAÇÕES DE PRODUÇÃO DE FRIO

15- Sistema de ar comprimido

Sistemas individualizados Sim ☐ Não ☐

Sistema central Sim ☐ Não ☐

16- Características dos geradores de fluidos térmicos:

Número de gerador: _____

Tipo de gerador

Caldeira de vapor ☐ Caldeira de água ☐ Fluido térmico ☐ Outro _____

Características dos geradores

Potência (kW) _____ Capacidade (Kg/hora) _____ Pressão de serviço (Bar) _____

Recuperador de calor ☐

Combustível

Electricidade ☐ Fuel ☐ Gasóleo ☐ Lenha ☐ Gás ☐ Outros _____

Sistemas de distribuição:

Isolamento tubagens ☐

Estado do isolamento: Bom ☐ Razoável ☐ Mau ☐

17- MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No âmbito da melhoria de eficiência energética já fez alguns investimentos?

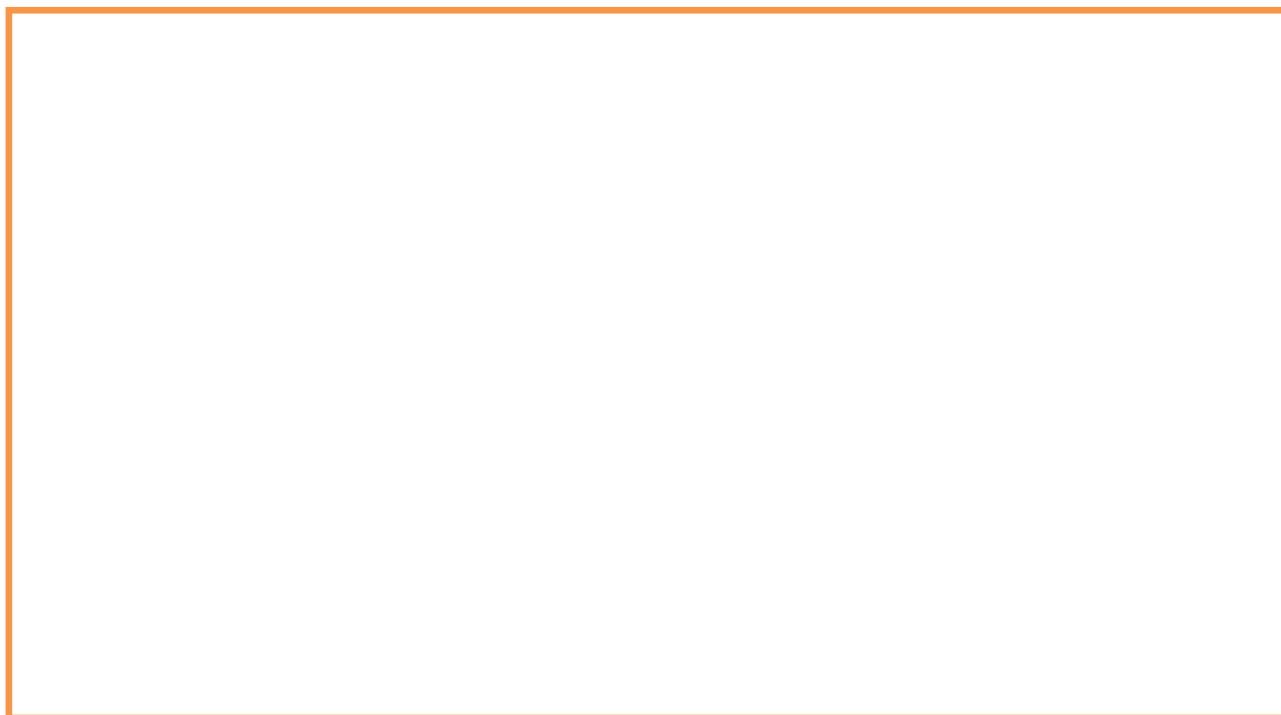
Sim ☐ Não ☐

Se sim, quais e quando?

Para investir na melhoria de eficiência energética qual o investimento médio previsto (€)?

Quais são os principais obstáculos à implementação de medidas de eficiência energética?

18- OBSERVAÇÕES GERAIS

A large, empty rectangular box with an orange border, intended for general observations or comments.

ANEXO B - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS DA FILEIRA DA CARNE

Matadouros

Estabelecimentos	CAE	Sector de Actividade	Início de Actividade	N.º Trabalhadores	Volume de Negócios (€)	Classificação da Indústria (1)	Tipo de estabelecimento
CM1	10110	Abate de gado - produção de carne	1990	21	1 987 436	Pequena	2
CM2	10110	Abate de gado - produção de carne	2000	28	3 228 587	Pequena	2
CM3	10110	Abate de gado - produção de carne	1982	59	6 656 410	PME	2
CM4	10110	Abate de gado - produção de carne	1995	41	7 840 665	Pequena	2

Salsicharias

Estabelecimentos	CAE	Sector de Actividade	Início de Actividade	N.º Trabalhadores	Volume de Negócios (€)	Classificação da Indústria (1)	Tipo de estabelecimento
CS1	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1998	5	203 670	Micro	3
CS2	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1992	6	352 430	Micro	3
CS3	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1997	5	560 199	Micro	3
CS4	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1992	20	2 768 522	Pequena	2
CS5	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1990	6	305 345	Micro	3
CS6	10130	Fabricação de produtos à base de carne	2003	8	350 765	Micro	2
CS7	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1998	9	782 334	Micro	3
CS8	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1994	5	538 455	Micro	3
CS9	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1995	11	396 036	Pequena	3
CS10	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1995	11	1 999 150	Pequena	3
CS11	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1998	4	192 148	Micro	3
CS12	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1995	18	2 649 112	Pequena	2
CS13	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1982	10	489 923	Pequena	2
CS14	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1990	6	199 470	Micro	3
CS15	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1970	12	754 725	Pequena	3
CS16	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1993	4	323 075	Micro	3
CS17	10130	Fabricação de produtos à base de carne	2003	3	192 000	Micro	3
CS18	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1985	7	237 450	Micro	3
CS19	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1995	37	4 468 356	Pequena	2
CS20	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1986	12	714 320	Pequena	3

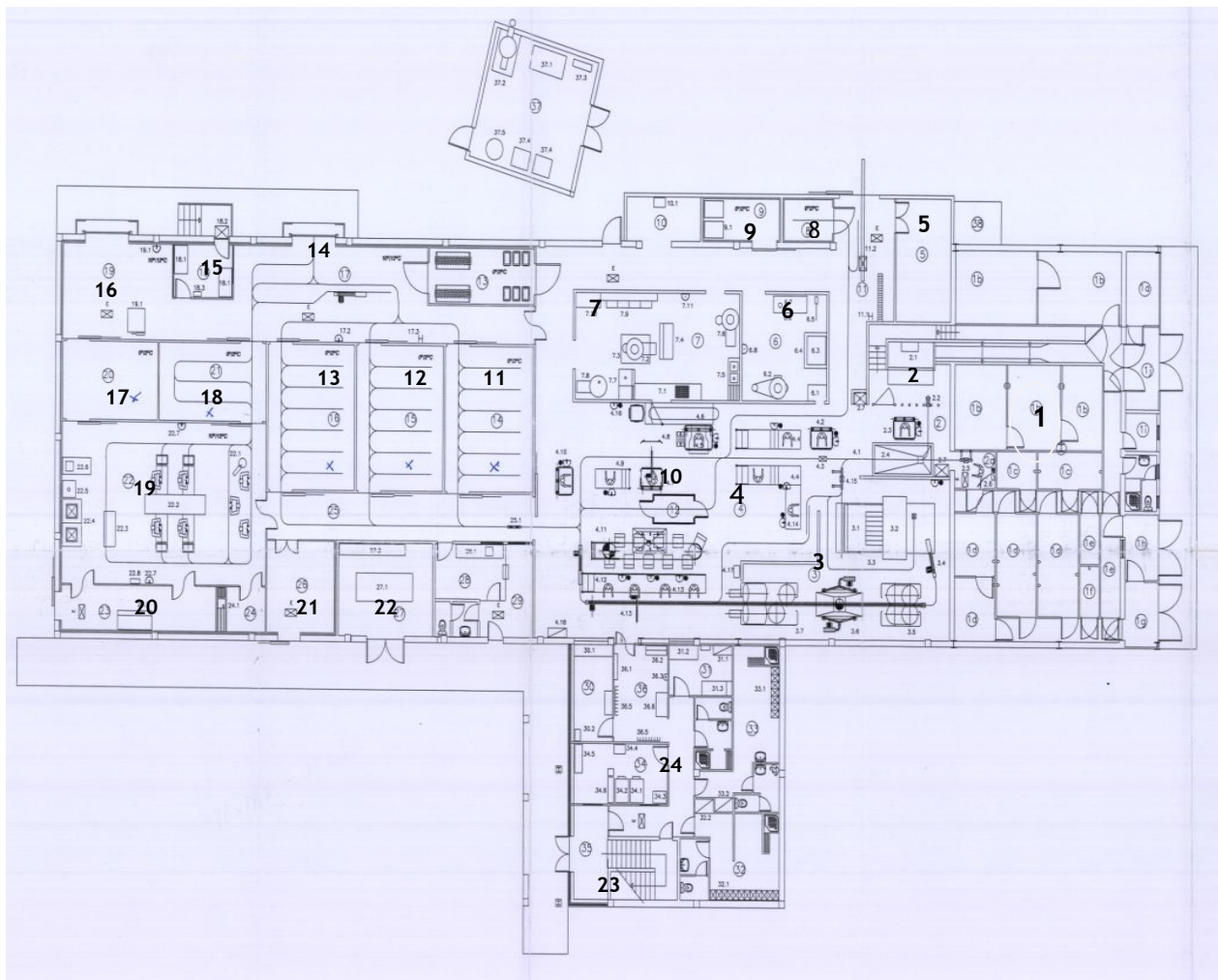
Estabelecimentos de fabrico de presunto

Estabelecimentos	CAE	Sector de Actividade	Início de Actividade	N.º Trabalhadores	Volume de Negócios (€)	Classificação da Indústria (1)	Tipo de estabelecimento
CP1	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1998	7	1 609 714	Micro	2
CP2	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1989	15	5 132 498	Pequena	2
CP3	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1990	35	3 998 400	Pequena	2
CP4	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1996	31	5 050 380	Pequena	2
CP5	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1977	12	996 615	Pequena	2
CP6	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1980	17	1 114 340	Pequena	2
CP7	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1977	28	3 491 633	Pequena	2
CP8	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1995	29	3 114 519	Pequena	2
CP9	10130	Fabricação de produtos à base de carne	1990	17	1 190 365	Pequena	2

Classificação das empresas:

Dimensão	Número de Effectivos	Volume de Negócios ou Balanço Total
Micro	< 10	<= 2 Milhões de Euros
Pequena	< 50	<= 10 Milhões de Euros
PME	< 250	<= 50 Milhões de Euros (VN) ou <= 43 Milhões de Euros (BT)
Média	As PME que não forem micro ou pequenas empresas	

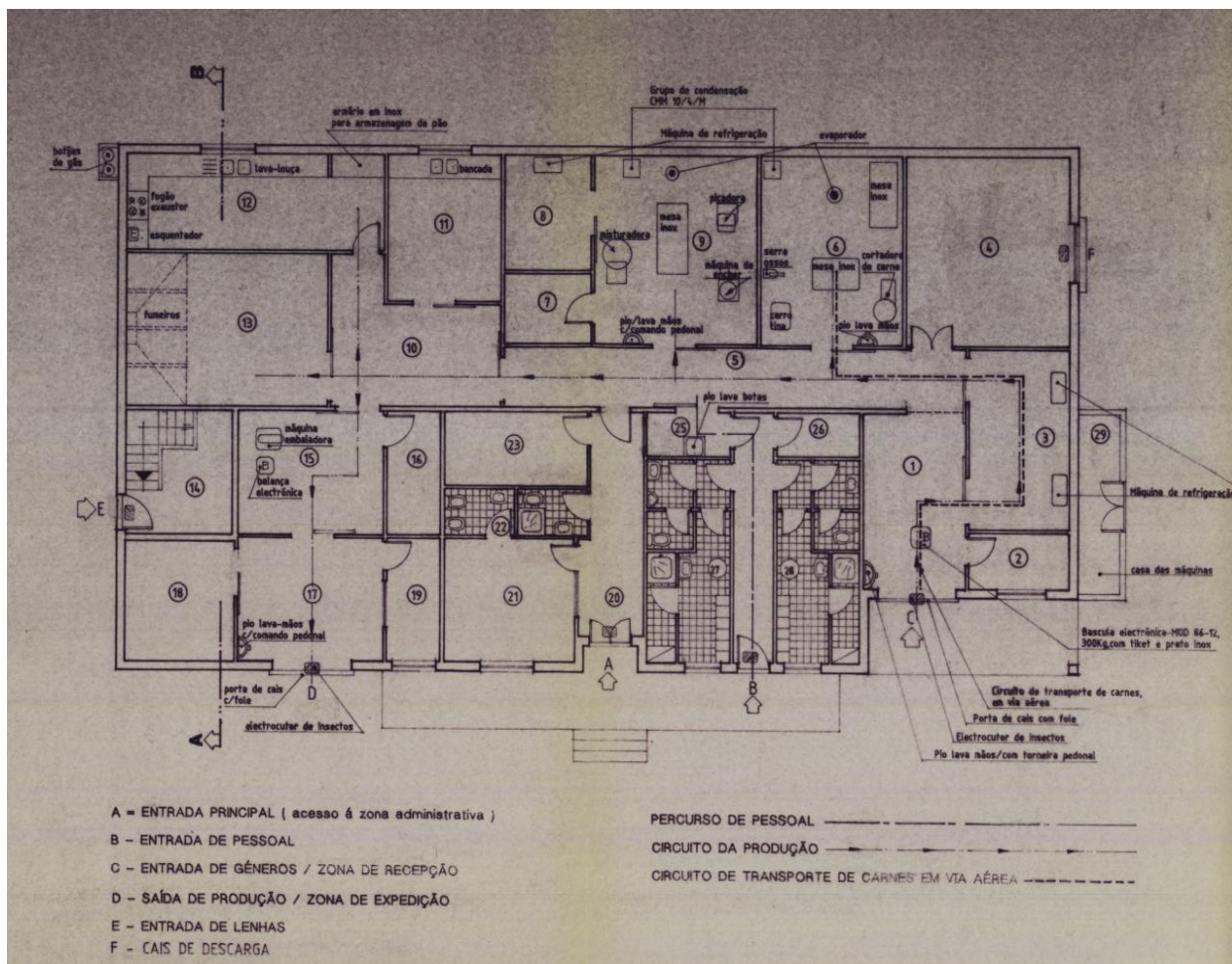
ANEXO C - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE UM MATADOURO



LEGENDA:

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1. Abegoarias | 9. C.F.M.R.E'S | 17. C.F.Carnes |
| 2. Insensibilização/sangria | 10. C. F. Suspeitos | 18. C.F.Carcaças |
| 3. Depilação | 11. C.F. Carcaças | 19. Sala de Desmancha |
| 4. Evisceração | 12. C.F.Carcaças | 20. Sala de lavagens |
| 5. Sala de couros | 13. C.F.Carcaças | 21. Armazém |
| 6. Sala de patas | 14. Expedição de carcaças | 22. Central Frigorifica |
| 7. Triparia | 15. Gabinete de controlo | 23. Entrada de pessoal |
| 8. C.F.Rejeições | 16. Expedição de carnes | 24. Escritórios |

ANEXO D - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE SALSICHARIA



LEGENDA:

- | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1. Zona de recepção | 11. Sala de lavagem | 21. Escritorio Geral |
| 2. Escritório | 12. Cozinha | 22. WC |
| 3. Câmara de recepção de carcaças | 13. Fumeiro | 23. Armazém |
| 4. Armazém geral | 14. Acesso às lenhas | 24. WC |
| 5. Corredor de serviço | 15. Rotulagem e embal. | 25. Wall |
| 6. Sala de desmancha | 16. Armazéns de rótulos | 26. Armazém |
| 7. Armazém de condimentos | 17. Expedição | 27. Instalações sanitárias |
| 8. Câmara de maturação | 18. Câmara de secagem | 28. Instalações sanitárias |
| 9. Sala de fabrico | 19. Escritório | 29. Casa das máquinas |
| 10. Hall de fumeiro | 20. Hall de entrada | |

1.Recepção de matérias-primas	8. Câmaras frigorífica de cura de (2.ªfase)
2.Câmara de congelação	9. Câmaras frigorífica de cura (3.ªfase)
3.Câmara de descongelação	10. Câmaras frigorífica do produto acabado
4.Câmara de salga	11. Corredor
5.Câmaras frigoríficas de cura em ciclo contínuo	12.Sala de corte e desossa
6.Câmaras de cura e estufagem	13.Sala de fatiados

ANEXO F - CLASSIFICAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS DA FILEIRA DOS LACTICÍNIOS

Características dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios de fabrico industrial

Estabelecimentos	CAE	Sector de Actividade	Início de Actividade	N.º Trabalhadores	Volume de Negócios (€)	Classificação da Indústria (1)	Tipo de estabelecimento
L1	10510	Indústria do leite e seus derivados	1990	40	3881320	Pequena	2
L2	10510	Indústria do leite e seus derivados	1991	13	1104865	Pequena	2
L3	10510	Indústria do leite e seus derivados	1991	16	1121741	Pequena	2
L4	10510	Indústria do leite e seus derivados	1992	30	2977679	Pequena	2
L5	10510	Indústria do leite e seus derivados	2001	16	2682656	Pequena	2
L6	10510	Indústria do leite e seus derivados	1989	25	1873511	Pequena	2
L7	10510	Indústria do leite e seus derivados	2000	14	773944	Pequena	2
L8	10510	Indústria do leite e seus derivados	1982	64	6650627	Pequena	2
L9	10510	Indústria do leite e seus derivados	2001	7	596368	Micro	3
L10	10510	Indústria do leite e seus derivados	1995	45	9115728	Pequena	2
L11	10510	Indústria do leite e seus derivados	1998	14	697241	Pequena	2
L12	10510	Indústria do leite e seus derivados	1996	35	2179144	Pequena	2
L13	10510	Indústria do leite e seus derivados	1996	40	5203678	Pequena	2

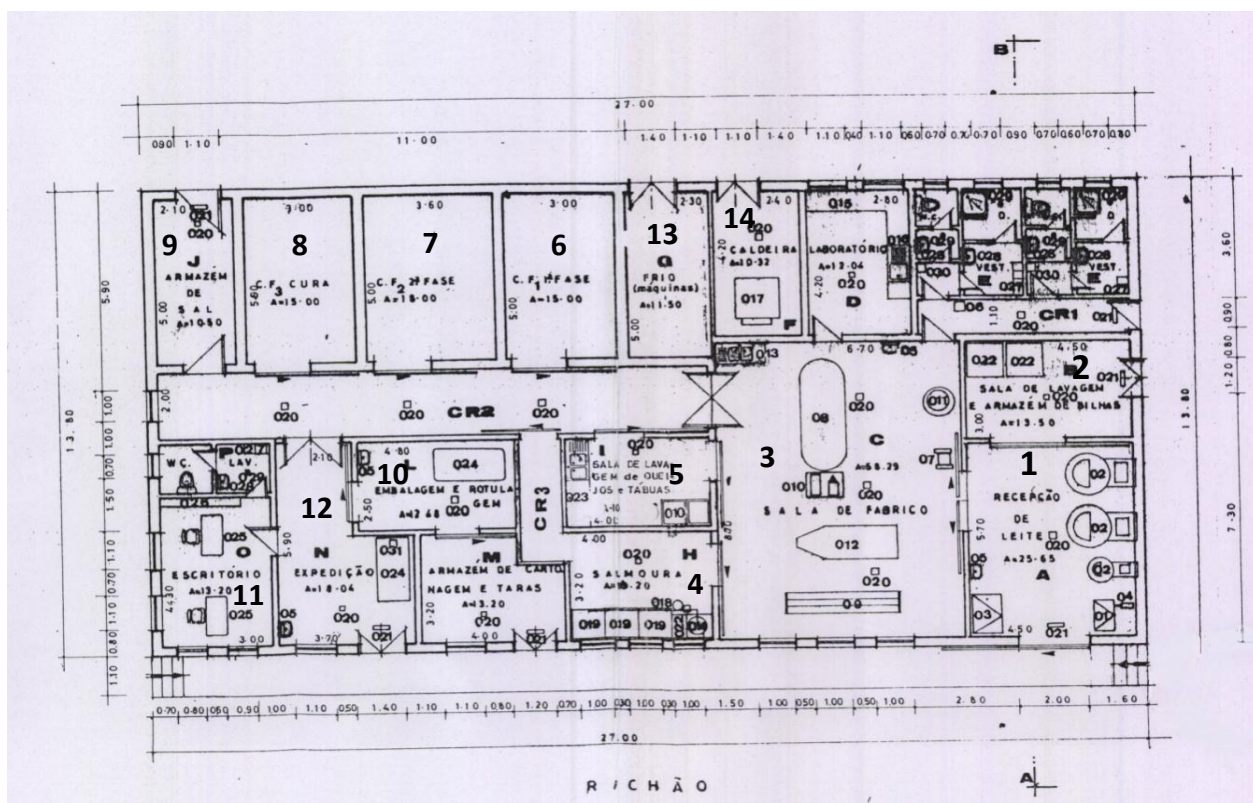
Características dos estabelecimentos da fileira dos lacticínios de fabrico artesanal

Estabelecimentos	CAE	Sector de Actividade	Início de Actividade	N.º Trabalhadores	Volume de Negócios (€)	Classificação da Indústria (1)	Tipo de estabelecimento
L14	10510	Indústria do leite e seus derivados	2004	4	350600	Micro	3
L15	10510	Indústria do leite e seus derivados	1995	5	612016	Micro	3
L16	10510	Indústria do leite e seus derivados	1999	6	594880	Micro	3
L17	10510	Indústria do leite e seus derivados	1998	30	2200137	Pequena	3
L18	10510	Indústria do leite e seus derivados	1998	11	485817	Pequena	3
L19	10510	Indústria do leite e seus derivados	1992	3	96168	Micro	3
L20	10510	Indústria do leite e seus derivados	1997	11	876520	Pequena	3
L21	10510	Indústria do leite e seus derivados	1990	3	108456	Micro	3
L22	10510	Indústria do leite e seus derivados	1990	5	497668	Micro	3
L23	10510	Indústria do leite e seus derivados	1999	6	276350	Micro	3
L24	10510	Indústria do leite e seus derivados	2004	3	50000	Micro	3
L25	10510	Indústria do leite e seus derivados	1993	6	755890	Micro	3
L26	10510	Indústria do leite e seus derivados	1990	20	1380480	Pequena	3
L27	10510	Indústria do leite e seus derivados	1999	5	365800	Micro	3
L28	10510	Indústria do leite e seus derivados	1983	15	710200	Pequena	3
L29	10510	Indústria do leite e seus derivados	1997	5	95000	Micro	3
L30	10510	Indústria do leite e seus derivados	1957	20	1050600	Pequena	3
L31	10510	Indústria do leite e seus derivados	1989	42	3100450	Pequena	3

Classificação das empresas:

Dimensão	Número de Efectivos	Volume de Negócios ou Balanço Total
Micro	< 10	<= 2 Milhões de Euros
Pequena	< 50	<= 10 Milhões de Euros
PME	< 250	<= 50 Milhões de Euros (VN) ou <= 43 Milhões de Euros (BT)
Média	As PME que não forem micro ou pequenas empresas	

ANEXO G - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE LACTICÍNIOS DE FABRICO DE QUEIJO ARTESANAL



LEGENDA:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Recepção do leite | 8. Câmara de conservação |
| 2. Sala de lavagem de bilhas | 9. Armazém de sal |
| 3. Sala de fabrico | 10. Sala de embalagem e rotulagem |
| 4. Sala de salga | 11. Escritório |
| 5. Sala de lavagem de queijos | 12. Sala de expedição |
| 6. Câmara de cura de 1.ª fase | 13. Sala de máquinas (frio) |
| 7. Câmara de cura de 2.ª fase | 14. Sala da caldeira |

ANEXO H - PLANTA TÍPICA DE UM ESTABELECIMENTO DE LACTICÍNIOS DE FABRICO DE QUEIJO INDUSTRIAL



LEGENDA:

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1. Recepção | 11. Gabinete |
| 2. Sala de fabrico | 12. Escritório |
| 3. Sala de salga | 13. Câmara de conservação |
| 4. Câmara de congelação | 14. Câmara de conservação |
| 5. Sala de lavagem | 15. Câmara de cura de 2.ª fase |
| 6. Câmara de congelação | 15. Câmara de cura de 2.ª fase |
| 7. Conservação de requeijão | 16. Acondicionamento e embalagem |
| 8. Casas de banho | 17. Câmara de cura de 1.ª fase |
| 9. Refeitório | 18. Fabrico de requeijão |
| 10. Armazém | 19. Frio e tanque água gelada |
| | 20. Caldeira |
| | 21. Produção de frio (Chiller) |

ANEXO I - CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DOS ESTABELECIMENTOS DE HORTOFRUTÍCOLAS

Características dos estabelecimentos da fileira da Hortofrutícolas

Estabelecimentos	CAE	Sector de actividade	Início de actividade	N.º trabalhadores	Volume de negócios (€)	Classificação da Indústria (1)
F1	46311	Distribuição	1989	12	2300000	Pequena
F2	46311	Distribuição	1998	5	450000	Micro
F3	46311	Distribuição	1990	3	89000	Micro
F4	46311	Distribuição	1998	8	3000000	Micro
F5	46311	Distribuição	1995	4	284787	Micro
F6	46311	Distribuição	2000	3	35000	Micro
F7	46311	Distribuição	1999	3	185398	Micro

Características dos estabelecimentos de centrais de frutas

Estabelecimentos	CAE	Sector de actividade	Início de actividade	N.º trabalhadores	Volume de negócios (€)	Classificação da Indústria (1)
F8	46311	Produção de fruta	1982	9	848798	Micro
F9	46311	Produção de fruta	1995	8	640000	Micro
F10	46311	Produção de fruta	1999	5	900000	Micro
F11	46311	Produção de fruta	2001	6	390157	Micro
F12	46311	Produção de fruta	2000	3	61183	Micro
F13	46311	Produção de fruta	2000	4	420000	Micro
F14	46311	Produção de fruta	1998	6	843060	Micro
F15	46311	Produção de fruta	2000	6	71019	Micro
F16	46311	Produção de fruta	1998	8	680819	Micro
F17	46311	Produção de fruta	2000	6	400000	Micro
F18	46311	Produção de fruta	1990	4	262500	Micro
F19	46311	Produção de fruta	2000	4	237660	Micro
F20	46311	Produção de fruta	1982	8	1200000	Micro
F21	46311	Produção de fruta	1966	12	1898509	Pequena
F22	46311	Produção de fruta	2000	6	400000	Micro
F23	46311	Produção de fruta	1998	8	1500000	Micro

Classificação das empresas:

Dimensão	Número de Efectivos	Volume de Negócios ou Balanço Total
Micro	< 10	<= 2 Milhões de Euros
Pequena	< 50	<= 10 Milhões de Euros
PME	< 250	<= 50 Milhões de Euros (VN) ou <= 43 Milhões de Euros (BT)
Média	As PME que não forem micro ou pequenas empresas	

ANEXO J - IMAGENS DE DOIS ESTABELECIMENTOS DE REVENDA DE PRODUTOS DE HORTOFRUTÍCOLAS



ANEXO L - IMAGENS DE DOIS ESTABELECIMENTOS DE CENTRAIS DE FRUTAS



Lista actualizada das publicações desta tese

- J. Nunes, P.D. Silva, L.P. Andrade, P.D. Gaspar, "Characterization of specific energy consumption of electricity of portuguese sausages industry", *Energy and Sustainability 2014 - WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 186, 2014. (ISSN: 1746-448X) (accepted)
- D. Neves, P.D. Gaspar, P.D. Silva, J. Nunes, L.P. Andrade, "Computational tool for the energy efficiency assessment of horticultural industries - Case study of inner region of Portugal", *ICCSA 2014, Part VI, Lecture Notes in Computer Science 8584 (LNCS)*, B. Murgante *et al.* (Eds.), pp. 87-101, Springer International Publishing Switzerland, 2014.
- P.D. Gaspar, P.D. Silva, J. Nunes, L.P. Andrade, "Characterization of the specific electrical energy consumption of agrifood industries in the central region of Portugal", *Applied Mechanics and Materials*, 2014 (ISSN: 1662-7482).
- J. Nunes, P.D. Silva, L.P. Andrade, P.D. Gaspar, "Characterization of specific energy consumption of electricity in the portuguese sausages industry", *Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy (Energy Quest 2014)*, Ekaterinburg, Russia, 23 - 25 April, 2014.
- D. Neves, P.D. Gaspar, P.D. Silva, L.P. Andrade, J. Nunes, "Computational tool for the energy efficiency assessment of horticultural industries - Case study of inner region of Portugal", *14th International Conference on Computational Science and Applications (ICCSA 2014)*, Guimarães, Portugal, June 30 - July 3, 2014.
- D. Neves, P.D. Gaspar, P.D. Silva, L.P. Andrade, J. Nunes, "Computational tool for the energy efficiency assessment of cheese industries - Case study of inner region of Portugal", *V Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío (CYTEF 2014)*, Tarragona, Spain, June 18 - 20 2014.
- J. Nunes, P.D. Silva, L.P. Andrade, P.D. Gaspar, L.C. Domingues, "Energetic evaluation of refrigeration systems of horticultural industries in Portugal", *3rd IIR International Conference on Sustainability and Cold Chain (ICCC 2014)*, London, United Kingdom, June 23-25, 2014.
- D. Neves, P.D. Gaspar, P.D. Silva, J. Nunes, "Cool-OP: Cooling Optimization Program - Ferramenta computacional para avaliação da eficiência energética de empresas de frio industrial no sector alimentar", *International Conference on Engineering - Engineering for Economic Development (ICEUBI2013)*, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal, November 27-29, 2013. (ISBN: 978-989-654-20-0)
- R. Santos, J. Nunes, P.D. Silva, P.D. Gaspar, L.P. Andrade, "Computational tool for the analysis and simulation of cold room performance in perishable products industry", *2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain*, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, April 2-4, 2013. (ISBN: 9781-6274-857-60)
- R. Santos, J. Nunes, Pedro D. Silva, P.D. Gaspar, L.P. Andrade, "Ferramenta computacional de análise e simulação do desempenho de unidades de conservação de carne através de frio industrial", *VI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío (CYTEF-2012)*, Madrid, Spain, February, 2012.
- Nunes, J.; Silva, Pedro D.; Andrade, Luís P., "Avaliação da Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração de Indústrias de processamento de carne" *CLME'2011*, Maputo, 29 Agosto a 2 Setembro, 2011.

-
- Nunes, J., Silva, P.D. e L. P. Andrade - Energetic Efficiency Evaluation in Refrigeration Systems of Meat Industries. Page 359 in: Book of Abstracts (ID:911) of The 23rd IIR International Congress of Refrigeration. Refrigeration for Sustainable Development. Prague. Czech Republic. 21 - 26 August, 2011.