



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estudo experimental do desempenho térmico de frigoríficos domésticos na comunidade estudantil da Universidade da Beira Interior

Diogo Alexandre Sobreiro Galvão

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electromecânica
(2º Ciclo de Estudos)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Dinis Gaspar

Covilhã, Junho de 2015

Dedicatória

À minha mãe, ao Alberto e ao meu irmão.

“Scientia et Labore Altiora Petimus”

Lema da Universidade da Beira Interior

Agradecimentos

O desenvolvimento da presente dissertação não teria sido possível sem a ajuda e apoio de algumas pessoas que durante todo o procedimento, através da sua amizade e disponibilidade em ajudarem a contornar os obstáculos encontrados ao longo desta longa e difícil caminhada. A todos eles manifesto o meu profundo agradecimento pelo apoio que me prestaram ao longo de toda esta jornada.

Em primeiro lugar, expresso, a minha enorme gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Dinis Gaspar, por todo o conhecimento transmitido. Gostaria de agradecer também de agradecer pela disponibilidade, apoio e conselhos dados ao longo de todo este percurso, em especial quando a concretização do estudo parecia impossível, sem dúvida que a sua ajuda foi determinante.

Ao Professor Doutor Pedro Dinho da Silva, gostaria de agradecer por ter colocado à disposição um conjunto de equipamentos que foram de extrema importância para a realização do presente trabalho.

Aos meus amigos de longa data, amizades que ainda perduram, por todo o apoio e motivação incansável dada em todos os momentos da minha vida. E também aos amigos que fiz ao longo de todo o meu percurso académico, pelo apoio por eles dado.

A todas as pessoas desta comunidade estudantil que se disponibilizaram a ajudar na presente dissertação, cedendo os seus frigoríficos e algum tempo para responderem aos inquéritos necessários, sem a qual este trabalho não seria possível.

Ao meu irmão, agradeço especialmente por ao longo de todo o meu percurso académico ter abdicado de algumas coisas para que eu concluísse esta longa jornada e por todo o apoio dado especialmente nos dias menos bons deste percurso.

Ao meu padrasto, Alberto Galvão, por todo o suporte que dado, por todos os valores inculcidos, pela força e incentivo, pelo aconselhamento e atenção prestada nos melhores e piores momentos, tendo sido incansável ao longo do meu percurso académico, ficarei eternamente grato.

Por fim, deixo o meu mais profundo agradecimento à minha mãe, pela educação dada, por toda a ajuda, suporte, dedicação que sempre teve comigo, tornando me na pessoa que sou hoje, agradeço ainda particularmente pela amizade e carinho, e também por todos os esforços efetuados ao longo deste percurso académico e de toda a minha vida. Sem ela não seria possível concluir este percurso.

Por isso a todos vocês um muito obrigado.

Resumo

Os elevados níveis de desperdício alimentar motivaram o Parlamento Europeu a considerar o ano de 2014 como o ano Europeu contra o desperdício alimentar. A maior parcela do desperdício alimentar encontra-se a nível doméstico, sendo que mais de 50% desse valor podia ser evitado. Apesar dos frigoríficos serem um eletrodoméstico de baixo risco para a saúde pública, é nestes que ocorre grande parte do desperdício alimentar existente a nível doméstico. Os fatores que conduzem a este desperdício podem decorrer do desempenho térmico do equipamento em questão, da má gestão dos alimentos nele conservados ou até à própria utilização indevida do equipamento.

A presente dissertação descreve a avaliação do desempenho térmico dos frigoríficos usados pela comunidade estudantil da Universidade da Beira Interior (Covilhã). Os resultados experimentais são analisados e comparados com os resultados de inquéritos aplicados aos utilizadores de uma amostra de 51 equipamentos. Os equipamentos da amostra possuem em média uma potência elétrica de 126 W. No que respeita à volumetria do frigorífico, o valor médio da amostra é de 205 litros (0,205 m³). O cruzamento destes dados permite relacionar o comportamento dos estudantes com o desperdício alimentar, sendo que o desempenho térmico geral dos equipamentos não é o mais adequado, pois a temperatura de conservação média é de 5.53°C, valor superior ao limite de referência para garantia da adequada segurança alimentar, podendo incorrer em riscos para a saúde pública. Este valor resulta em grande medida aos comportamentos indevidos por parte dos estudantes, nomeadamente ao número elevado de vezes que se abre a porta do frigorífico sem necessidade, causando desta forma um aumento da carga térmica no interior do frigorífico. Os resultados desta dissertação, para além de providenciarem resultados sobre o desempenho térmico de frigoríficos numa comunidade não estudada até ao momento, pretendem contribuir como uma chamada de atenção a boas práticas que permitam reduzir o desperdício alimentar e simultaneamente assegurar a segurança alimentar dos produtos perecíveis conservados nos frigoríficos domésticos.

Palavras-chave

Frigorífico, Desempenho térmico, Análise experimental, Temperatura, Potência elétrica, Volume, Conservação, Inquérito, Desperdício alimentar.

Abstract

High levels of food waste prompted the European Parliament to consider the year 2014 as the European year against food waste. The largest share of food waste is produced by households, and more than 50% of this amount can be avoided.

Despite the refrigerator being a low-risk appliance to the public health, it is in these appliances that occur much of the existing food waste at household level. The factors leading to this waste can result from the thermal performance of the equipment, the mismanagement of food stored in it or the misuse of the equipment.

This work describes the evaluation of the thermal performance of refrigerators used by the student community at the University of Beira Interior (Covilhã). The experimental results are analyzed and compared with the results of investigations applied to a sample of 51 equipment users. The equipment of the test sample has an average electric power of 126 W. Regarding volumes of the refrigerator, the average value of the test sample is 205 liters (0,205 m³). The join analysis of these data allow to relate the behaviour of students with the food waste. The overall thermal performance of the equipment is not the most appropriate, since the average storage temperature is 5,53°C, higher than the reference level to ensure an adequate food security. If food is not stored properly, risks to public health may incur. This figure is largely due to improper behaviour by students, in particular the high number of times that the refrigerator door is open unnecessarily. This condition increases the thermal load inside the refrigerator. The results of this work, apart from offering results about the thermal performance of refrigerators in a community not studied so far, aim to contribute as an awareness of good practices for reducing food waste and simultaneously ensuring food security of the perishable food products stored in domestic refrigerators.

Keywords

Refrigerator, Thermal Performance, Experimental Analysis, Temperature, Electric Power, Volume, Preservation, Survey, Food Waste.

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura.....	xv
1. Introdução	17
1.1. Enquadramento	18
1.2. O problema em estudo e a sua relevância	22
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação	23
1.4. Visão geral e organização da dissertação	24
2. Estado da arte	25
2.1. Introdução	25
2.2. Máquina Frigorífica	25
2.2.1. Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor	26
2.2.2. Coeficiente de Desempenho	27
2.3. Eficiência Energética.....	28
2.4. Estudos experimentais	31
2.5. Estudos numéricos	35
3. Materiais e Métodos	37
3.1. Introdução	37
3.2. Amostra.....	37
3.3. Frigorífico	39
3.4. Datalogger	43
3.5. Recolha e tratamento de dados.....	44
3.6. Inquéritos	45
3.7. Nota conclusiva	45
4. Análise e Discussão de Resultados	47
4.1. Introdução	47

4.2. Análise Geral	47
4.2.1. Análise do estudo experimental do desempenho térmico	48
4.2.2. Análise dos resultados dos inquéritos	57
4.2.3. Nota Conclusiva	67
4.3. Análise dos resultados para partilha de alojamento	67
4.3.1. Análise dos resultados do estudo experimental - Partilha do alojamento como outros estudantes	69
4.3.2. Análise dos resultados dos inquéritos	73
4.4. Análise consoante a faculdade à qual o estudante pertence	74
4.5. Notas conclusivas	76
5. Conclusões.....	79
5.1. Introdução	79
5.2. Contribuições do trabalho.....	79
5.3. Sugestões de trabalhos futuros.....	80
6. Referências bibliográficas.....	83
7. Anexos.....	85

Lista de Figuras

Fig. 1.1 - Máquina de fazer gela criada por Ferdinand Carré.	19
Fig. 1.2 - Esquema de funcionamento de uma Icebox.	20
Fig. 1.3 - Frigorífico “Monitor Top”, da General Electric.	21
Fig. 2.1- Esquema representativo de um sistema básico de refrigeração por compressão de vapor.	26
Fig. 2.2 - Etiqueta uniforme para os aparelhos de refrigeração de classe D até A ⁺⁺⁺	30
Fig. 3.1 - Frigoríficos de porta única: (a) sem congelador, (b) com congelador.	41
Fig. 3.2 - Frigorífico de porta dupla.	42
Fig. 3.3 - Frigoríficos combinados: (a) congelador na zona superior, (b) com congelador lateral.	42
Fig. 3.4 - Dispositivo datalogger para medição da temperatura e humidade relativa.	43
Fig. 4.1 - Relação entre o volume e a potência elétrica dos equipamentos da amostra.	48
Fig. 4.2 - Valores de potência específica dos equipamentos que compõem a amostra de teste.	50
Fig. 4.3 - Valores médios, máximos e mínimos da temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste.	51
Fig. 4.4 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A35.	52
Fig. 4.5 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A17.	52
Fig. 4.6 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A39.	54
Fig. 4.7 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A48.	55
Fig. 4.8 - Distribuição do setpoint de temperatura do termostato.	56
Fig. 4.9 - Modo de utilização do equipamento (legenda: 0 - Péssimo, 10 - Excelente).	58
Fig. 4.10 - Classificação da conservação dos alimentos por parte do frigorífico (legenda: 0 - Péssimo, 10 - Excelente).	58
Fig. 4.11 - Classificação do desperdício alimentar (legenda: 0 - Inexistente, 10 - Elevado).	59
Fig. 4.12 - Modo de organização nas principais refeições (Almoço e Jantar).	60
Fig. 4.13 - Número de grupos de estudantes na preparação das principais refeições.	60
Fig. 4.14 - Avaliação do consumo energético do frigorífico (legenda: 0 - Pouco, 10 - Muito). ..	61
Fig. 4.15 - Indicação sobre o elevado número de aberturas da porta do frigorífico.	61
Fig. 4.16 - Necessidade de abertura da porta do frigorífico diariamente, quando é aberta muitas vezes.	62
Fig. 4.17 - Mudanças do setpoint do termostato por ano.	63
Fig. 4.18 - Número de pessoas que utilizam o equipamento diariamente.	63

Fig. 4.19 - Avaliação do desperdício alimentar existente ao longo da semana de teste (legenda: 0 - Nulo, 10 - Elevado).	64
Fig. 4.20 - Motivos para o desperdício alimentar existente.	65
Fig. 4.21 - Número de vezes que a porta do frigorífico é aberta num dia.....	66
Fig. 4.22 - Modo de utilização do equipamento ao longo da semana de teste (legenda: 0 - Péssimo, 10 - Excelente).	66
Fig. 4.23 - Distribuição dos estudantes consoante as pessoas com quem partilham o alojamento.	68
Fig. 4.24 - Valores globais médio, máximo e mínimo de temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste.	69
Fig. 4.25 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A43.....	70
Fig. 4.26 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A21.....	71
Fig. 4.27 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A31.....	72
Fig. 4.28 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A30.....	72
Fig. 4.29 - Distribuição dos estudantes consoante a faculdade que frequentam.	75
Fig. 4.30 - Valor médio de temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste, divididos consoante a faculdade que frequentam.....	75
Fig. 4.31 - Comparação dos valores médios, máximos e mínimos de temperatura de conservação para distintos estudos.	77

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Classes de eficiência energética segundo o Índice de Eficiência Energética (EEI). 31	
Tabela 3.1 - Valores da variável Z consoante o intervalo de confiança escolhido 38	
Tabela 3.2 - Especificações do datalogger..... 43	
Tabela 3.3 - Opções de medição do datalogger..... 44	

Nomenclatura

Geral:

A	Área [m^2];
P	Potência elétrica, [W];
T	Temperatura, [$^{\circ}\text{C}$];
V	Volume, [m^3];
R	Coefficiente de determinação;
Q	Calor [kJ];
W	Trabalho [kJ];

Simbologia grega:

λ	Condutibilidade térmica, [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$];
η	Rendimento;
p	Potência específica [W/m^3]

Índices Inferiores:

F	Frio;
Q	Quente;
t	Térmico;
adm	Admissível;
1,2,3 e 4	Estados do fluido refrigerante no ciclo de refrigeração;

Acrónimos:

COP	Coefficiente de Desempenho;
DSM	Demand Side Management;
EEl	Índice de eficiência energética;
EUA	Estados Unidos da América;
HR	Humidade relativa;

<i>LCD</i>	Liquid Crystal Display;
<i>NIK</i>	Not-in-kind;
<i>UE</i>	União Europeia;
<i>UBI</i>	Universidade da Beira Interior;
<i>USB</i>	Universal Serial Bus;
<i>UK</i>	United Kingdom (Reino Unidos);
<i>VIP</i>	Vacuum Insulation Panels;
<i>SSPCM</i>	Shape-Stabilized Phase Change Materials;
<i>PCM</i>	Phase Change Material;
<i>PE</i>	Parlamento Europeu;
<i>PU</i>	Poliuretano.

1. Introdução

Este capítulo introdutório pretende fornecer uma perspetiva geral do estudo que envolve a dissertação.

A necessidade de conservar todos os tipos de alimentos, não só a nível industrial mas também a nível doméstico, conduziu pelas exigências do mercado, a uma evolução dos equipamentos de refrigeração. Esta necessidade de conservar os alimentos por um período de tempo superior fazendo uso de uma baixa temperatura de conservação, está intimamente relacionada com o aumento da procura ao longo dos anos e do número de equipamentos de refrigeração domésticos em funcionamento, vulgarmente denominados frigoríficos. A evolução contínua destes equipamentos encontra-se por sua vez relacionada com a evolução tecnológica e com a necessidade dos fabricantes produzirem equipamentos que cumpram a legislação em vigor, incorporem as últimas tecnologias, e possuam características que consagrem as tendências da sociedade atual.

Com a evolução que os frigoríficos têm sofrido, tornou-se adicionalmente necessário que fossem também mais eficientes energeticamente. Durante as últimas duas décadas, existiu um grande esforço de inovação, investigação e desenvolvimento para contribuir para o aumento da eficiência energética destes equipamentos [1]. As melhorias para aumentar a eficiência energética dos frigoríficos tornaram possível que o seu uso por parte dos utilizadores fosse mais adequado. Algumas dessas melhorias permitem, por exemplo, alertar o utilizador que a porta do frigorífico está aberta há demasiado tempo (alarmes de abertura da porta), que o próprio equipamento controle a temperatura de conservação consoante o seu regime de operação, entre outros [1].

Com a utilização de equipamentos de refrigeração domésticos para conservar alimentos, e dada a evolução tecnológica presenciada, seria de esperar que o desperdício alimentar doméstico não fosse muito elevado. Contudo, esta condição não corresponde à realidade, pois a maior percentagem de desperdício alimentar na Europa corresponde àquela que é originária do consumo doméstico, tendo em consideração que se perspetiva que 60% deste desperdício alimentar pode ser evitado [2].

A presente dissertação consiste num estudo experimental do desempenho térmico de frigoríficos domésticos nos alojamentos da comunidade estudantil da Universidade da Beira Interior, localizada na cidade da Covilhã, para que se possa verificar as características ao nível de potência e volumetria do equipamentos, a influência de práticas no desempenho térmicos dos equipamentos, de que forma os estudantes desta comunidade estão informados sobre o flagelo do desperdício alimentar, e qual o seu contributo, quer seja por práticas como por regulação e otimização do funcionamento dos equipamentos.

Os dados experimentais são obtidos através de um sensor que mede as variações de temperatura e de humidade relativa do ar na zona de conservação dos equipamentos durante o período de tempo estipulado.

1.1. Enquadramento

Nos dias de hoje o frigorífico é um equipamento doméstico comum, sendo raras as habitações nos países desenvolvidos que não possuem um frigorífico para conservar em frio produtos alimentares perecíveis [3]. Antes da vulgarização do frigorífico, ou seja, da conservação de produtos pelo frio, existiam métodos destinados à redução das alterações provocadas pelas enzimas dos produtos ou por micro-organismos que, para além de causarem a deterioração dos produtos alimentares, podem produzir toxinas que afectam a saúde dos consumidores. Enquanto que a conservação pelo frio reduz a taxa de reprodução e a acção dos micro-organismos e enzimas, estes métodos, ainda hoje utilizados mas denominados de tradicionais, permitem conservar os alimentos, como por exemplo conservando-os em sal, salga, dada a acção bactericida e promoção da desidratação do produto por osmose deste elemento; a defumagem, que consiste na colocação dos produtos sob acção de fumo misturado com ar quente que promove a desidratação dos produtos, entre outros [4]. Todavia, estes métodos tradicionais de preservação de alimentos apresentam diversas desvantagens, sendo a mais significativa a alteração das propriedades organolépticas, como a aparência, sabor, textura entre outros. Como a preservação de alimentos se resume à prevenção ou retardamento da deterioração, independentemente do processo de refrigeração utilizado, é necessário ter em consideração que existem diversos graus de qualidade dos produtos alimentares frescos em função da etapa de deterioração até se tornarem impróprios para consumo. O objectivo da conservação de produtos alimentares consiste na manutenção dos alimentos num escalão de qualidade o mais elevado possível no que respeita à aparência, odor, sabor e conteúdo nutritivo, já que destes elementos depende o valor comercial, além do perfeito estado sanitário. Aqui, começam a desvendar-se as vantagens da conservação por frio. Durante séculos, a população sabia que a evaporação da água produzia um efeito de arrefecimento, porém não foram feitos esforços para reconhecer e entender este fenómeno [5]. Um dos métodos utilizados para promover o arrefecimento, durante muitos séculos, foi o gelo natural. O gelo natural era recolhido durante a noite ou de regiões mais frias, e depois transportado e armazenado para ser utilizado em zonas ou períodos mais quentes [6]. A comercialização de gelo natural foi iniciada por Frederic Tudor que, em 1806, extraía gelo do rio Hudson, nos Estados Unidos da América (EUA) [7].

A história da refrigeração artificial começou quando Prof. William Cullen apresentou o primeiro processo de refrigeração artificial, em 1755, na Universidade de Glasgow, Escócia, onde obteve frio suficiente para a criação de gelo. Este fenómeno foi conseguido através da redução da pressão da água num recipiente fechado com uma bomba de ar [5]. Porém, a sua descoberta não chegou a ter uma utilização prática [7].

Após a invenção de William Cullen, foram efetuadas muitas tentativas com o objetivo de criar um equipamento capaz de aplicar os princípios físicos da refrigeração. Em 1834, o americano, Jacob Perkins, contruiu e patenteou a primeira máquina capaz de operar um ciclo por compressão de vapor, sendo constituída por 4 componentes (compressor, evaporador, condensador e uma válvula de expansão). A refrigeração foi conseguida através da evaporação de um fluido volátil, o éter, a baixa pressão. A máquina construída pelo americano nunca foi comercializada, apesar de ter sido usada para gerar uma quantidade pequena de gelo [5].

Posteriormente, foram realizados progressos na área, tal como a utilização de novas substâncias como fluidos refrigerantes. Um dos grandes avanços nesta área é respeitante à utilização de novas substâncias, como a amónia e o dióxido de carbono, que em condições “normais” se

encontram no estado gasoso, mas quando submetidas a pressões elevadas passam ao estado líquido [5-6].

O aparecimento de máquinas de refrigeração entre 1850 e 1880, levou a que estas passassem a ser classificadas de acordo com o refrigerante usado. As máquinas que usavam ar como refrigerante, que desempenharam um papel importante na história da refrigeração, eram denominadas de máquinas de ar comprimido ou ar arrefecido. O americano, John Gorrie, desenvolveu a primeira máquina deste tipo, tendo sido patenteada na Inglaterra em 1850 e em 1851 nos EUA [5]. As máquinas de refrigeração que usavam ar como fluido refrigerante podem ainda ser divididas em 2 tipos, as que operam em ciclo fechado e as de ciclo aberto. Nas máquinas que operam sob ciclo fechado, o ar enclausurado na máquina que se encontra a uma pressão superior à atmosférica é utilizado continuamente durante a operação da máquina. A máquina operando sob ciclo fechado foi desenvolvida na Europa, por Alexander Kirk, em 1862. Contudo, foi apenas no ano de 1870 que uma máquina operando sob ciclo fechado surgiu na América, pelas mãos de Franz Windhausen. Na máquina que opera em ciclo aberto, o ar é admitido na máquina à pressão atmosférica e quando arrefecido é libertado para o ambiente a refrigerar. A primeira máquina a operar em ciclo aberto foi construída em França, com base teórica no conhecimento adquirido por William Thomson e William Rankine, em 1873, por Paul Giffard. Em 1877, surgiu no Reino Unido, por Joseph J. Coleman e James Bell [5-6].

Em 1860, o engenheiro francês, Ferdinand Carré, desenvolveu a primeira máquina de refrigeração por absorção (representada na figura 1.1), utilizando amónia como fluido refrigerante, tirando partido da afinidade química existente entre a amónia e a água, que produzia gelo em quantidade limitada. Uma máquina de absorção, capaz de produzir gelo em grandes quantidades, foi construída em 1878, por Franz Windhausen, que operava em regime contínuo, empregando ácido sulfúrico como fluido refrigerante [5].

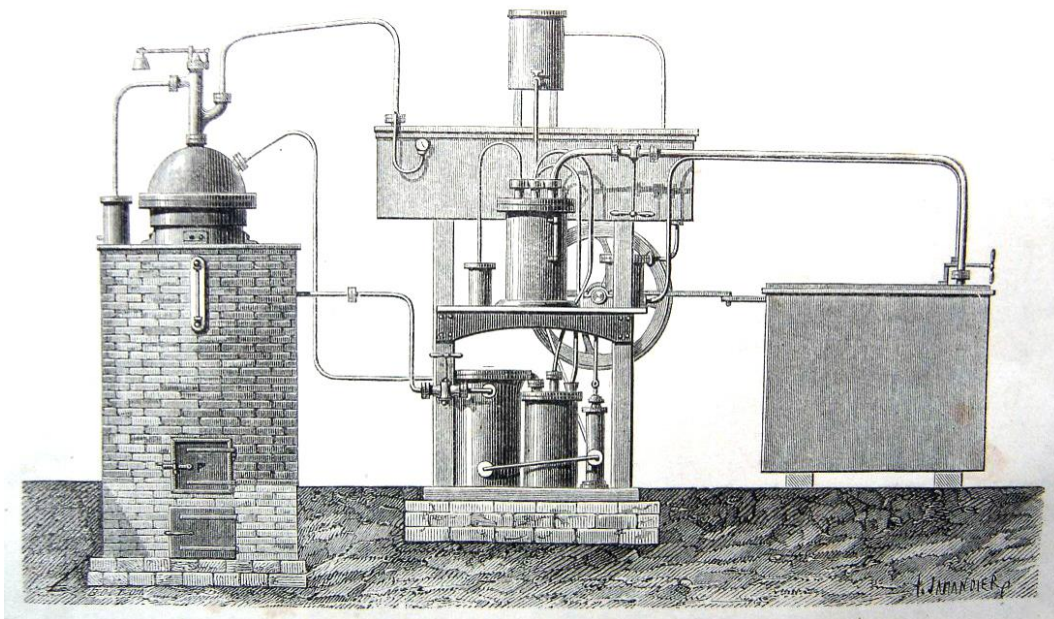


Fig. 1.1 - Máquina de fazer gela criada por Ferdinand Carré.

Em 1853, foi construída uma das primeiras máquinas a operar sob o ciclo de compressão de vapor pelo Professor americano, Alexander Twining. Esta produzia cerca de uma tonelada de gelo por dia [5]. Passados alguns anos, em França, Ferdinand Carré e Charles Tellier, desenvolveram e instalaram a primeira máquina operando de acordo com o ciclo de compressão de vapor, que utilizava éter como fluido refrigerante. Posteriormente em 1874, na Alemanha, Carl Linde dedicou-se a estudar o ciclo de compressão por vapor, utilizando como fluido refrigerante o éter, da mesma forma que Carré e Tellier. Porém, antes disso, Carl Linde, preparou o caminho para grandes melhorias nas máquinas de refrigeração, demonstrando como é que a eficiência térmica poderia ser calculada e melhorada [5].

Durante a década de 1860, a máquina que sofreu maior evolução, foi a máquina que operava sob o ciclo de compressão por compressão de vapor utilizando amónia como fluido refrigerante. A amónia tornou-se o fluido refrigerante mais popular e que seria usado em grande escala durante muitos anos. Tellier e Linde forneceram os maiores contributos no estudo desta máquina. Contudo, a figura mais importante para o desenvolvimento desta máquina foi Carl Linde, que em 1876, obteve a primeira patente para este tipo de máquina [5].

O uso da amónia como fluido refrigerante, para as máquinas que operam segundo o ciclo de compressão de vapor, foi um grande avanço tecnológico, permitindo a criação de máquinas de menores dimensões e mais simples. Nos anos seguintes, outros fluidos foram testados, nomeadamente, alguns produtos derivados do petróleo (estudado por Peter Van der Weyde, no final da década de 1860), o dióxido de carbono (estudado pelo americano Thaddeus Lowe, em 1866) o ácido sulfúrico (estudado na Universidade de Geneva, por Raoul Pictet, em 1875), entre outros [5].

Em meados da década de 1890, tornou-se bastante comum o uso de equipamentos de refrigeração para a conservação de alimentos, estando bastante difundidos na indústria alimentar na Europa e EUA [5-6].

No início do século XX, os frigoríficos domésticos eram principalmente do tipo caixas de gelo, “iceboxes”, dependentes do fornecimento quase diário de gelo para manter o espaço refrigerado, como se pode ver na figura 1.2.

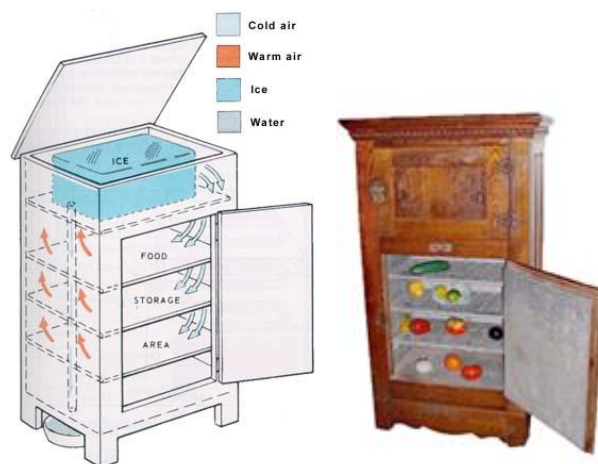


Fig. 1.2 - Esquema de funcionamento de uma Icebox.

Porém este sistema tinha grandes desvantagens, como a reposição de gelo, drenagem da água e taxa de arrefecimento variável [7]. Contudo, com o aparecimento da eletricidade os frigoríficos domésticos tornaram-se mais populares e começaram a substituir as comuns “Iceboxes”. Foi então que em 1913, surgiu o primeiro frigorífico doméstico, batizado de DOLMERE (*DOMestic Electric REfrigerator*), criado por Fred Wolf e Fort Wayne, mas a sua aceitação foi baixa [8]. Porém, os contributos mais importantes para os frigoríficos domésticos foram dados pela General Electric, com a invenção do frigorífico “Monitor-Top” (figura 1.3), e pela Kelvinator. Foi então que em 1918 a Kelvinator vendeu o seu primeiro frigorífico, um dos primeiros a usar um controlo automático. O frigorífico que eliminou o Kelvinator do mercado foi introduzido em 1925 pela General Electric [8].



Fig. 1.3 - Frigorífico “Monitor Top”, da General Electric.

Até ao final da década de 1920, todos os frigoríficos domésticos conhecidos faziam uso de fluidos refrigerantes tóxicos, inflamáveis ou até ambos, como por exemplo o dióxido de enxofre. Foi então que no ano de 1928, um grupo de cientistas, liderados por Thomas Midgley, foi encarregado a identificar um fluido refrigerante que não fosse tóxico nem inflamável. A solução para esse problema foi recorrer ao uso dos Clorofluorcarbonetos (CFC's), que apesar de serem conhecidos desde o século XIX, só foram introduzidos como fluido refrigerante por Thomas Midgley. Com a introdução dos CFC's, permitiu-se o aumento dos frigoríficos domésticos, que deixaram de ser um luxo e passaram a ser uma necessidade [7]. Durante cerca de 70 anos, o uso dos CFC's foi absoluto nos segmentos de refrigeração doméstica e comercial leve. Porém, o uso de CFC's começou a diminuir em 1974, quando o Prof. Sherwood Rowland e o Dr. Mario Molina, os associaram a redução da camada do ozono [7].

O período que compreende o fim do século XX e início do século XXI é marcado como a nova era da refrigeração. Os principais impulsionadores deste acontecimento são dois eventos. Em primeiro, com a assinatura do Protocolo de Montreal, em 1987, e a conseqüente abolição dos CFC's, deu entrada ao uso dos Hidrofluorcarbonetos (HFC's) por parte da maioria das aplicações domésticas. Em segundo, foi a descoberta de supercondutores que operam a elevada temperatura e o desenvolvimento de circuitos eletrónicos de elevada velocidade e a sua miniaturização. Ainda hoje, a eletrónica apresenta-se como um desafio para a refrigeração, tendo evoluído na procura de novos processos de refrigeração avançados para satisfazer a refrigeração dos componentes eletrónicos. Neste contexto, tornam-se importantes as técnicas de refrigeração termoacústica, termoelétrica, magnética, entre outras [6].

Com a disseminação dos frigoríficos domésticos, estima-se que a nível mundial existam 1000 milhões de frigoríficos em uso. Com o uso destes equipamentos vem a preocupação a nível de consumo energético. Nos frigoríficos, o compressor é o maior consumidor de energia, sendo responsável por mais de 80% da energia por eles consumida. As empresas que produzem os compressores desenvolveram uma quantidade de tecnologias capazes de poupar mais de 40% da energia. Contudo, essas tecnologias ainda estão limitadas no mercado, devido ao seu custo elevado [9].

O frigorífico é hoje um dos eletrodomésticos considerados indispensáveis, pela necessidade de armazenar e conservar alimentos frescos durante mais tempo [4].

1.2. O problema em estudo e a sua relevância

Devido à necessidade de conservação dos alimentos e de aumentar a sua vida de “prateleira”, o uso dos frigoríficos cresceu consideravelmente durante os últimos anos [10]. Com o aumento da utilização destes equipamentos, cresceu também a sua procura, face à sua importância na prevenção da saúde pública, pelo facto de conservarem os alimentos em bom estado durante mais tempo. Contudo, os frigoríficos podem contribuir para a má qualidade destes alimentos, se não forem mantidos nas condições adequadas, podendo desta forma originar desperdício alimentar.

Tal como referido, este tipo de equipamentos é parte integrante do processo de conservação de alimentos, mas a má escolha dos mesmos, ou o mau uso por parte do utilizador leva a que o processo de conservação seja de má qualidade, sendo que os alimentos acabam por se estragar aumentando desta forma o desperdício alimentar. Para alertar a população em geral para esta condição e visando reduzir o desperdício alimentar, o Parlamento Europeu definiu o ano de 2014 como o ano Europeu contra o desperdício alimentar [2].

Esta proposta do Parlamento Europeu foi apresentada para que sejam tomadas medidas importantes na resolução do problema que é o desperdício alimentar existente na Europa. De acordo com um estudo publicado pela União Europeia (UE), antes da entrada da Croácia na UE, a produção anual de resíduos alimentares nos 27 Estados-membro seria de aproximadamente 89 milhões de toneladas, sendo que este valor poderia atingir os 126 milhões de toneladas no ano de 2020, caso não sejam tomadas medidas preventivas urgentes [2]. Este desperdício alimentar ocorre ao longo de toda a cadeia agroalimentar, desde os campos agrícolas, às indústrias de transformação, às empresas de distribuição até às casas dos consumidores [2]. O Parlamento Europeu propôs algumas medidas para que o desperdício a nível Europeu seja reduzido, como sejam a etiquetagem com duplo prazo de validade (ou seja, uma data-limite de venda e outra data-limite para o consumo), vendas com desconto a produtos perto da data limite de venda ou danificados, entre outros. Um dos motivos do desperdício alimentar, segundo fonte da comissão europeia, é o facto de o consumidor (18% dos cidadãos europeus) não entender o significado do “consumir de preferência antes de”, criando desta forma confusões para os consumidores quanto à comestibilidade dos alimentos [2].

Podem adicionalmente ser tomadas várias outras medidas a nível das vendas ao consumidor para que se evite o desperdício alimentar, como por exemplo a modificação do tamanho das embalagens ou a venda de mais produtos a granel.

Para além do que pode ser feito a nível das venda ao consumidor, ainda existem outras medidas que podem ser tomadas para sensibilizar a população em geral para a necessidade de se reduzir o desperdício alimentar existente, como sejam a nível da educação para a alimentação ou até mesmo na escolha dos serviços de restauração pelo qual os consumidores podem optar.

Segundo dados da Comissão Europeia, o desperdício alimentar é dividido pelas seguintes áreas [2]:

- Consumo doméstico: 42% (60% dos quais pode ser evitado).
- Indústria: 39%.
- Distribuição: 5%.
- Sector da restauração: 14%.

É no sentido de abordar este problema do ponto de vista do consumo doméstico que se encontra a motivação deste trabalho, sendo que isso é conseguido através de um estudo do desempenho térmico dos frigoríficos domésticos existentes nos alojamentos da comunidade estudantil que frequenta o Ensino Superior na Universidade da Beira Interior (UBI) situada na cidade da Covilhã. Este estudo visa também uma avaliação à utilização dos equipamentos por parte dos seus utilizadores.

1.3. Objetivos e contribuição da dissertação

Do que foi referido nas subsecções anteriores resulta que:

O aumento contínuo dos resíduos alimentares na Europa trouxe uma enorme preocupação para o Parlamento Europeu, que este decretou que o ano de 2014 fosse o ano Europeu contra o desperdício alimentar. Tentou com este procedimento tomar medidas para que o desperdício alimentar seja reduzido, e em particular aquele que ocorre no consumo doméstico que já se contabiliza como sendo que a maior fatia. Adicionalmente, 50% do desperdício doméstico existente pode ser evitado tomando certas medidas capazes de alterar o comportamento dos consumidores.

Ao longo do trabalho são apresentados os resultados de um estudo experimental do desempenho térmico dos frigoríficos domésticos usados pela comunidade estudantil da UBI, cujo objetivo reside na análise das características e do desempenho térmico dos equipamentos instalados nas moradias dos estudantes. Na generalidade, cada moradia é ocupada em regime de aluguer por 4 estudantes. Na sua grande maioria, a propriedade alugada, é do tipo apartamento mobilado e com a instalação dos eletrodomésticos essenciais, entre os quais se encontra o frigorífico. O modo como o frigorífico é utilizado pelos 4 inquilinos difere de caso para caso, sendo no decorrer desta dissertação apresentados os modos mais frequentes. O modo de utilização pode ser associado a uma taxa de desperdício alimentar decorrente de características do próprio equipamento (uso e idade), má gestão do equipamento ou até mesmo ao mau uso por parte do utilizador. Estas características para além de estarem associadas ao desperdício alimentar, contribuem também para o perfil de consumo energético do equipamento.

Sendo que o aumento do uso de equipamentos de refrigeração domésticos se tem vindo a verificar nos últimos anos é importante que exista uma relação do desperdício alimentar que está ligado a estes equipamentos, e quais os principais motivos que levam a que exista esse desperdício alimentar associado a estes equipamentos, numa perspetiva de contribuir para a redução desses número por via da consciencialização desta comunidade em particular.

Sendo que o objetivo da presente dissertação é relacionar o desperdício alimentar com o tipo de frigorífico usado pelo utilizador e também pela forma como este o utiliza, a contribuição deste trabalho é muito importante na aferição de dados relativos à temperatura de conservação (comparação com dados internacionais) e à redução do desperdício alimentar a nível doméstico, Após obtenção dos dados de como esta comunidade se comporta com estes equipamentos e também qual o nível de desperdício alimentar que existe derivado a estes equipamentos. A forma como os utilizadores se comportam aquando a utilização dos seus equipamentos é muito importante, pois essa forma de utilização vai afetar o desempenho térmico do equipamento, afetando posteriormente a sua capacidade de conservação dos alimentos.

Após se efetuar o estudo do desempenho térmico dos equipamentos e de se fazer uma análise ao comportamento desta comunidade aquando da utilização dos equipamento devem-se tomar medidas que incentivem à mudança de comportamentos errados por parte dos utilizadores, assim como alertar para a importância de certas características do equipamento quando se pretende a substituição do equipamento que o utilizador tem.

1.4. Visão geral e organização da dissertação

A presente dissertação é composta por 5 capítulos, cuja organização é feita da seguinte forma.

Neste capítulo, encontra-se a parte introdutória e conceitos gerais da dissertação, assim como o seu enquadramento, objetivos e contribuições.

No capítulo 2, que se intitula de “Estado da arte”, é realizada uma revisão bibliográfica de todos os aspetos inerentes ao presente estudo. Do mesmo modo, é realizada uma análise aos principais estudos experimentais e numéricos da área.

No capítulo 3, que é apresentado com o título “Materiais e Métodos”, é efetuada uma apresentação dos objetivos de estudo, de todos os materiais usados para o mesmo e de todos os métodos inerentes à realização do presente trabalho.

No capítulo 4, que apresenta como titulo “Análise e discussão de resultados”, é realizada a análise e discussão dos resultados obtidos. Posteriormente, são comparados com vários estudos semelhantes realizados em diversos países.

No capítulo 5, intitulado de “Conclusões”, são revistos os objetivos propostos no âmbito da presente dissertação. Faz-se uma análise geral ao trabalho efetuado e são fornecidas algumas indicações para trabalhos que possam ser desenvolvidos no futuro.

2. Estado da arte

2.1. Introdução

O presente capítulo tem como principal objetivo a contextualização do leitor para com os diferentes conceitos que estão subjacentes à área de estudo.

No que diz respeito à revisão bibliográfica é importante dar a conhecer os estudos mais relevantes realizados na área. Contudo, os estudos de desempenho térmico realizados em frigoríficos domésticos são ainda uma área pouco explorada, existindo porém alguns estudos destinados ao controlo e de compilação das melhorias do desempenho energético dos equipamentos. Deste modo é necessário verificar todos os estudos existentes na área, os de índole prática, e também os de índole teórica.

2.2. Máquina Frigorífica

Nesta secção é realizada uma breve apresentação do tipo de máquina que vai ser estudado ao longo desta dissertação. O frigorífico é uma máquina térmica que permite efetuar transferências de calor de um meio de temperatura baixa para um ambiente de temperatura superior, sendo que este tipo de máquina térmica é denominado de máquina frigorífica [11]. Outro exemplo de uma máquina térmica são as bombas de calor, que tem um funcionamento em tudo semelhante à máquina frigorífica mudando apenas o objetivo, que também são muito comuns no dia-a-dia, um dos exemplos destes dispositivos são os ar-condicionado que existem em edifícios.

Estes equipamentos são dispositivos cíclicos, operando com um fluido que é denominado de fluido frigorígeno.

Para a máquina térmica existem vários tipos de ciclos sobre o qual ela pode funcionar, ciclos esses que são [11]:

- Refrigeração por compressão de vapor;
- Refrigeração a jato de gás;
- Refrigeração em cascata;
- Refrigeração por absorção;
- Refrigeração termo efetiva.

Sendo que para a máquina frigorífica o mais comum é o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, que é o ciclo de funcionamento dos frigoríficos.

2.2.1. Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor

Tal como referido anteriormente, o ciclo de refrigeração por compressão de vapor apresentado na figura 2.1 é o ciclo de funcionamento dos frigoríficos, sendo composto por 4 componentes principais: um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador [11].

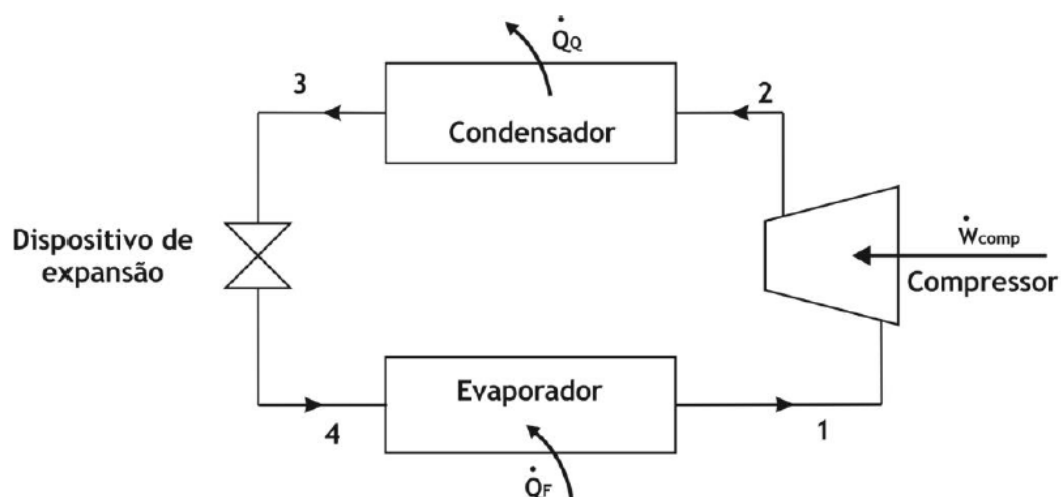


Fig. 2.1- Esquema representativo de um sistema básico de refrigeração por compressão de vapor.

Este ciclo é o ciclo que permite a transferência de calor do interior do frigorífico (ambiente de temperatura baixa) para o exterior do mesmo (ambiente de temperatura superior). Na realidade, este processo é realizado trocando calor do interior do frigorífico (ambiente à temperatura de conservação, i.e., com valor de temperatura positiva) com o fluido refrigerante que circula no evaporador (a temperatura mais baixa, tipicamente de valor negativo). Num sistema deste tipo existem 4 processos termodinâmicos que são a base de funcionamento do ciclo, esses processos são a compressão (1-2), a condensação (2-3), a expansão (3-4) e a evaporação (4-1). O funcionamento do dispositivo depende dos processos referidos anteriormente, sendo que o fluido refrigerante entra no compressor sob a forma de vapor e é comprimido até à pressão de condensação, saindo deste a uma temperatura relativamente elevada, sendo arrefecido e condensado à medida que passa pela serpentina do condensador, por rejeição de calor para a vizinhança (ambiente exterior ao frigorífico, i.e. a divisão onde este se encontra). Após a passagem pelo condensador, o fluido passa então por uma válvula de expansão, tipicamente um tubo capilar no qual a sua pressão e temperatura diminuem drasticamente devido ao efeito de estrangulamento. Por fim, o fluido a baixa temperatura entra no evaporador, onde se vaporiza pela absorção de calor do espaço a refrigerar. O ciclo completa-se com o fluido a deixar o evaporador e a entrar novamente no compressor [11].

2.2.2. Coeficiente de Desempenho

As máquinas térmicas, são equipamentos de conversão de calor ou energia térmica em trabalho. O rendimento térmico de uma máquina é definido como a fração de calor que é convertida em débito de trabalho [11], dado por:

$$\eta_t = \frac{\text{Balanço térmico}}{\text{Calor total}} \Leftrightarrow \eta_t = \frac{W_{\text{bal,sai}}}{Q_{\text{adm}}} \quad (1)$$

$$W_{\text{bal,sai}} = Q_{\text{adm}} - Q_{\text{sai}} \quad (2)$$

Ao substituir a equação (2) na equação (1) obtém-se:

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{adm}} - Q_{\text{sai}}}{Q_{\text{adm}}} \Leftrightarrow \eta_t = 1 - \frac{Q_{\text{sai}}}{Q_{\text{adm}}} \quad (3)$$

O trabalho realizado pela máquina é sempre menor do que a quantidade de calor admitido. Desta forma o rendimento térmico destas máquinas será sempre inferior à unidade. Deste modo, e para uniformizar a caracterização das máquinas térmicas, frigoríficas e bombas de calor substitui-se Q_{sai} por Q_F que é a magnitude de transferência de calor entre o dispositivo cíclico e a fonte fria à temperatura T_F . E substitui-se Q_{adm} por Q_Q que é a magnitude de transferência de calor entre o dispositivo cíclico e a fonte quente à temperatura T_Q [11]. Desta forma ao substituir estas características na equação 3, fica-se com:

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q} \quad (4)$$

Apesar de esta ser a forma de calcular o desempenho deste típico de máquinas, para as máquinas frigoríficas o desempenho é expressado através do Coeficiente de Desempenho (COP - *Coefficient of Performance*), que para as máquinas frigoríficas é denominado por COP_F . O facto de se usar o COP em vez de do rendimento térmico, deve-se ao facto da quantidade de calor retirada do interior do frigorífico poder ser maior que o trabalho fornecido, ou seja, este valor ser superior à unidade, que é o oposto do rendimento térmico. Logo para evitar $\eta_t > 1$, utiliza-se o COP como referencia para o desempenho [11]. O objetivo destes equipamentos é retirar calor, Q_F , do espaço interior, sendo para tal necessário fornecer trabalho, $W_{\text{bal,adm}}$. A expressão do COP vem:

$$\text{COP}_F = \frac{\text{Débito desejado}}{\text{Fornecimento necessário}} = \frac{Q_F}{W_{\text{bal,adm}}} \quad (5)$$

Por aplicação do princípio de conservação da energia:

$$W_{\text{bal,adm}} = Q_Q - Q_F \quad (6)$$

Substituindo desta forma na Equação (1), obtém-se:

$$COP_F = \frac{Q_F}{Q_Q - Q_F} = \frac{1}{\frac{Q_Q}{Q_F} - 1} \quad (7)$$

O valor do COP_F pode ser superior a unidade, indicando que a quantidade de calor retirada do interior do frigorífico pode ser maior do que a quantidade de trabalho fornecida. Isto é oposto ao rendimento térmico, que não pode ser maior que a unidade. Uma das razões para se expressar o rendimento através de um outro termo - COP - é a de evitar que o rendimento seja superior à unidade [11].

2.3. Eficiência Energética

A política do ambiente constitui hoje em dia um dos desafios mais importantes da sociedade para os poderes públicos e os atores económicos. Trata-se igualmente de uma questão à qual o público é muito sensível uma vez que diz diretamente respeito ao seu bem-estar e saúde.

Desde os anos 70, a preocupação de preservar o ambiente tem estado na origem de diversas iniciativas comunitárias. O Tratado da União Europeia atribui ao ambiente o estatuto de política e não apenas simplesmente de ação da Comunidade.

Considerando que o Tratado que institui a Comunidade Europeia (artigo 130º-R) exige a utilização prudente e racional dos recursos naturais, a utilização racional da energia é um dos principais meios para alcançar este objetivo e reduzir a poluição do ambiente. Paralelamente, considerando a existência de uma informação rigorosa, adequada e comparável sobre o consumo específico de energia dos aparelhos domésticos, a escolha do consumidor na compra pode ser orientada em benefício dos aparelhos que consomem menos energia, incitando assim os fabricantes a tomar medidas destinadas a reduzir o consumo dos aparelhos que fabricam. Esta informação incentiva igualmente, de forma indireta, a utilização racional desses aparelhos. Adicionalmente é considerado que a informação desempenha um papel fundamental no funcionamento das forças do mercado e que, para esse efeito, a apresentação de um rótulo uniforme para todos os aparelhos do mesmo tipo, proporciona aos potenciais compradores informações suplementares normalizadas sobre o custo em energia e o consumo de outros recursos por estes aparelhos. Para esse fim, o consumo de energia e as demais informações

respeitantes a cada tipo de aparelho são baseadas em medições feitas de acordo com normas e métodos harmonizados. A Diretiva 92/75/CEE [12] do Conselho, de 22 de Setembro de 1992, relativa à indicação do consumo de energia dos aparelhos domésticos por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos, tem como objetivo permitir a harmonização das medidas nacionais relativas à publicação, nomeadamente através de rotulagem e de informações sobre o produto, de informações sobre o consumo de energia e de outros recursos essenciais, bem como de informações suplementares relativas a determinados tipos de aparelhos domésticos, dando assim aos consumidores a possibilidade de escolherem aparelhos mais eficazes do ponto de vista energético. A presente diretiva aplica-se a uma grande variedade de aparelhos domésticos, entre os quais se encontram os frigoríficos, congeladores e suas combinações.

O Decreto-Lei nº 63/2011, de 9 de Maio [13] transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 2010/30/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio, relativa à indicação do consumo de energia e de outros recursos por parte dos produtos relacionados com a energia, por meio de etiquetagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos. Adicionalmente, estabelece as medidas de informação a prestar ao utilizador final através de etiquetagem e outras indicações sobre o consumo de energia. O regime consagrado vem estabelecer a obrigatoriedade de colocação de etiquetas e elaboração de fichas de informação sobre o consumo de energia e de outros recursos essenciais de produtos que tenham impacto no consumo de energia, inserindo-se nos objetivos de política energética definidos na Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020. A obrigatoriedade de aposição de etiquetas e elaboração de fichas informativas sobre o consumo de energia e de recursos essenciais utilizados, bem como outras informações sobre o rendimento e as características do produto, visa permitir aos utilizadores finais escolher os produtos mais eficientes energeticamente.

Assim, a etiqueta energética fornece aos consumidores informações sobre o consumo energético anual [kWh/ano] dos equipamentos. Apesar desta característica existir para todos os tipos de eletrodomésticos, neste trabalho é somente analisada para os frigoríficos. Como Portugal é um Estado membro da Comunidade Europeia tem que se reger pelas diretivas que a Comissão Europeia aprova, como tal pode-se concluir que Portugal segue a classificação da eficiência energética regida pela Comissão Europeia [14]. Em Portugal, a etiqueta energética para este tipo de eletrodoméstico detém 7 classes. As classes energéticas iniciam na classe D até à classe A, sendo que o A é subdividido em 3 subclasses, classe A⁺, classe A⁺⁺ e classe A⁺⁺⁺. Desta norma surgiu uma etiqueta uniforme para todos os estados membros da EU-27, que é representada pela Figura 2.2. Conforme normativas acima indicadas, esta etiqueta deve conter as seguintes informações:

- O nome do fornecedor ou marca comercial;
- O identificador de modelo do fornecedor;
- A classe de eficiência energética determinada em conformidade com o anexo IX do regulamento; a ponta da seta que contém a classe de eficiência energética do aparelho de refrigeração para uso doméstico deve ficar ao mesmo nível que a ponta da seta correspondente a essa eficiência energética.
- O consumo anual de energia ponderado (AEC), expresso em kWh por ano, sendo que esse valor deve ser arredondado às unidades e calculado em conformidade com a secção 3, ponto 2, do anexo VIII, do regulamento europeu que regula a etiqueta uniforme.

- A soma dos volumes úteis de todos os compartimentos a que não foram atribuídas estrelas (ou seja, com uma temperatura de funcionamento > -6 °C), arredondada às unidades.
- A soma dos volumes úteis de todos os compartimentos de armazenamento de alimentos congelados a que não foram atribuídas estrelas (ou seja, com uma temperatura de funcionamento ≤ -6 °C), arredondada às unidades e o número de estrelas do compartimento com a maior percentagem dessa soma; caso os aparelhos de refrigeração de uso doméstico não disponham de compartimento(s) de armazenagem de alimentos congelados, o fornecedor deve indicar «- L» em vez do valor e deixar em branco o campo destinado às estrelas.
- O nível de emissões de ruído expresso em dB(A) re1 pW, arredondado às unidades.



Fig. 2.2 - Etiqueta uniforme para os aparelhos de refrigeração de classe D até A+++

Existe ainda outra etiqueta para os equipamentos de refrigeração. Esta etiqueta tem classes de A+++ até G. A grande diferença entre estes dois tipos de etiquetas, para além do número de classes, é o método que se usa para quantificar o consumo energético associado à refrigeração.

Esta característica é baseada no índice de eficiência energética, que é o coeficiente entre o consumo anual de energia do aparelho e o consumo de energia anual normalizado. É através do índice de eficiência energética (IEE) que se obtém a classe energética do equipamento. Na Tabela 2.1 é indicada a relação entre o IEE e a classe energética [14].

Existem variados fatores que afetam este valor, desde fatores como o tipo de construção ou os materiais usados para a sua construção até à disponibilidade de características e funções como seja o caso do *frost free*.

Tabela 2.1 - Classes de eficiência energética segundo o Índice de Eficiência Energética (EEI).

Classe de eficiência energética	Índice de eficiência energética
A ⁺⁺⁺ (a mais eficiente)	EEI < 22
A ⁺⁺	22 ≤ EEI < 33
A ⁺	33 ≤ EEI < 42
A	42 ≤ EEI < 55
B	55 ≤ EEI < 75
C	75 ≤ EEI < 95
D	95 ≤ EEI < 110

A eficiência energética é uma característica importante e por isso ao longo dos últimos anos tem sido feito um esforço muito grande para que essa característica fosse melhorada a cada momento, ou seja, para que os valores consumidos fossem cada vez menores melhorando dessa forma a eficiência dos aparelhos. Os esforços para melhor essa característica tem vindo a ser feitos nas últimas 2 décadas em todo o mundo, tendo sido criados alguns métodos para essa melhoria, alguns métodos como a gestão da procura (DSM) entre outros. Outra das razões que levou a essa melhoria foi o aumento do interesse nesta característica pelos utilizadores. O interesse em aplicações mais eficientes levou a que houvesse uma proliferação das aplicações inteligentes de controlo doméstica. Algumas das melhorias que foram desenvolvidas a nível dos frigoríficos para incrementar a sua eficiência através de sistemas de controlo inteligente, vão desde a utilização de sensores destinados ao apoio da activação/término do ciclo de descongelamento, sensores de alarme para as portas, sensores de controlo de temperatura para diversos regimes de operação para poupança de energia, entre outros [1].

2.4. Estudos experimentais

Alguns estudos experimentais têm sido realizados para avaliar o desempenho térmico de equipamentos frigoríficos domésticos assim como para determinar qual a preocupação dos utilizadores destes equipamentos com as questões de segurança alimentar. De seguida são expostos os trabalhos de investigação de cariz experimental com maior relevância para esta dissertação.

Evans *et al.* [15] realizaram medições da temperatura em frigoríficos e congeladores domésticos no Reino Unido. Os resultados destas medições de temperatura no frigorífico foram comparados com um estudo semelhante que fora realizado em 1991 com o intuito de analisar como a evolução tecnológica influencia o desempenho térmico dos equipamentos e se os utilizadores se encontram mais despertos e consciencializados para a problemática da eficiência energética e da segurança alimentar. Para realizar as medições foram usados dispositivos de aquisição de dados com sistema de identificação por radiofrequência (RFID loggers - *Radio Frequency IDentification*). Ao longo da última década foram efetuados 15 estudos experimentais de análise da temperatura de conservação em frigoríficos domésticos. Os resultados são todos semelhantes, com temperaturas médias globais que variam entre 4,0°C e 6,6°C e as temperaturas máximas que variam entre

11,0°C e 14,0°C. Da análise de resultados da maioria dos estudos efetuados nos últimos 30 anos Peck *et al.* (2006) concluiu que 61,2% dos frigoríficos em todo o mundo operam a temperaturas superiores a 5,0°C. O estudo mostrou que a temperatura média ao longo de 7 dias (medida nas várias prateleiras do frigorífico, superior, média e inferior) variou de -1,0°C até 11,0°C. A temperatura média global para todos os frigoríficos da pesquisa foi de 6,0°C, em que 70% dos frigoríficos operaram a temperaturas médias superiores a 5,0°C. Nesse estudo, a temperatura média global de todos os frigoríficos analisados na pesquisa foi de 4,4°C. A temperatura máxima atingida num frigorífica foi de 10,4°C e a temperatura mínima atingida foi de -0,6°C. No geral, os frigoríficos em análise passaram 58% do tempo acima dos 5,0°C (58% na prateleira superior, 32% na prateleira do meio e 26% na prateleira inferior). Ao comparar os resultados obtidos neste estudo (2014) com os do estudo de 1991 verificou-se que o desempenho dos frigoríficos melhorou. Em 1991 a temperatura média global foi de 6,0°C enquanto que em 2014 essa temperatura foi 4,0°C. Em 1991, a temperatura máxima atingida foi de 11,4°C e a mínima foi -0,9°C. Já em 2014 a temperatura máxima atingida foi 10,4°C e a mínima foi -0,6°C. O tempo que os frigoríficos funcionam acima dos 5,0°C foi 71% para o estudo de 1991 enquanto que para o estudo de 2014 foi de 58%. Desta comparação de resultados, verifica-se que em aproximadamente duas décadas, a evolução tecnológica nos frigoríficos e a consciencialização da população para boas práticas que conduzam a uma utilização mais eficiente (energeticamente) dos equipamentos frigoríficos possibilitou uma redução da temperatura de conservação média global em 2,0°C.

Laguerre *et al.* [16] realizaram com dispositivos de aquisição de dados (*data loggers*) medições de temperatura em três níveis de frigoríficos domésticos. Adicionalmente, foram recolhidas informações sobre as características da família, as características do frigorífico e as condições de uso. Apesar da boa higiene e do progresso tecnológico dos equipamentos de refrigeração doméstico, que não são alvo de regulação, ainda continuam a ser uma fonte de preocupação pois existem algumas indicações de que os alimentos são armazenados a temperaturas muito altas. Segundo estes autores, foram realizados poucos estudos a equipamentos de refrigeração em ambiente doméstico. Um estudo efetuado no ano de 1993, em França, foi o primeiro estudo realizado na medição de temperaturas de conservação em frigoríficos, onde a temperatura foi medida com um termómetro. Esse estudo mostra que a temperatura em 70% dos frigoríficos está acima dos 6,0°C, confirmando que os alimentos são armazenados a temperaturas mais altas do que o devido. A medição foi realizada ao longo de 7 dias. A maioria das famílias analisadas era constituída por menos de 4 elementos. Grande parte dos frigoríficos em análise tinha idades inferiores a 10 anos e existiam 4 tipos de equipamentos a ser analisados, sendo que os que existiam em maior número eram os frigoríficos de duas portas (com congelador no topo ou no fundo). Ao analisar as condições de uso verificou-se que a maioria dos utilizadores abria a porta menos de 20 vezes por dia. Para todos os frigoríficos pertencentes à amostra, a temperatura de conservação média global foi de 6,6°C, a temperatura mínima de 0,9°C e a temperatura máxima de 11,4°C. A temperatura de conservação média dos frigoríficos variou entre 6,2°C e 7,0°C. 80% dos frigoríficos do estudo tinham temperaturas superiores a 5,0°C, que é a temperatura de conservação padrão para os frigoríficos na França. A temperatura de conservação de 26% dos frigoríficos analisados no estudo era superior a 8,0°C.

Azevedo *et al.* [10] realizaram um estudo no qual verificaram a incidência do micro-organismo *Listeria* spp. em 86 frigoríficos domésticos portugueses e também avaliaram algumas das práticas higiénicas no ambiente doméstico que possam contribuir para a persistência do organismo. Antes de recolher a amostra, foi medida a temperatura de conservação de cada frigorífico com um termómetro digital. Posteriormente, foi realizado um questionário ao dono do frigorífico incidindo principalmente na limpeza do frigorífico, abordando questões tais como a forma como

limpa o frigorífico ou o número de vezes que limpa o frigorífico, entre outras. A recolha de amostras foi efetuada em duas superfícies distintas do equipamento ($\approx 100 \text{ cm}^2$ da zona onde os vegetais são armazenados e $\approx 100 \text{ cm}^2$ da zona onde os queijos e carnes são armazenados) através de limpezas em vários pontos do local selecionado com cotonetes esterilizados, previamente imersos em solução Ringer estéril. Posteriormente, foi efetuada toda a análise necessária às culturas recolhidas dos frigoríficos, da qual se obteve informação de que este micro-organismo se encontrava em 8 dos frigoríficos analisados em 3 espécies diferentes, a *L. monocytogens*, a *L. grayi* e a *L. innocua*. O estudo mostrou que um número significativo de frigoríficos pertencentes à amostra opera a uma temperatura que pode comprometer a segurança dos alimentos neles armazenados. Para os frigoríficos pertencentes à amostra, aproximadamente 71% estava a operar a uma temperatura superior a $6,1^\circ\text{C}$.

James *et al.* [3] realizaram um estudo no qual foi feita uma recolha dos estudos publicados nos últimos 30 anos relacionados com o desempenho e utilização dos frigoríficos domésticos. Ficou claro através de todos esses estudos que a maioria dos frigoríficos no mundo opera a uma temperatura de conservação mais elevada do que a recomendada. O conjunto de estudos analisados foi realizado em diversos países como Irlanda, o Reino Unido, Irlanda do Norte, Grécia, entre outros. Um dos estudos realizados no Reino Unido (1991) mostra que o intervalo de temperatura de conservação mínima e máxima varia entre $-1,0^\circ\text{C}$ e $11,4^\circ\text{C}$, sendo a média de temperaturas $6,0^\circ\text{C}$. Este estudo mostra ainda que 70% dos equipamentos opera a uma temperatura superior a $5,0^\circ\text{C}$. Outro estudo realizado no Reino Unido (1997) mostra valores ligeiramente diferentes desse, tendo a temperatura de conservação mínima sido de $-2,0^\circ\text{C}$ e a máxima de $12,0^\circ\text{C}$. A média da temperatura de conservação foi $5,9^\circ\text{C}$, em que 50% dos frigoríficos em análise opera a uma temperatura superior a $5,0^\circ\text{C}$. Num estudo semelhante realizado na Nova Zelândia (1997), os valores obtidos também foram muito semelhante, em que a temperatura de conservação mínima foi $0,0^\circ\text{C}$ e a máxima $11,0^\circ\text{C}$. A média da temperatura de conservação foi de $4,9^\circ\text{C}$ e no qual 40% dos frigoríficos operam acima de $4,0^\circ\text{C}$. Outros estudos foram realizados ao longo dos anos em diversos países, mas os resultados obtidos por estes foram bastante semelhantes. Este conjunto de estudos é deveras importante, pois mostra o comportamento térmico dos frigoríficos em diversos países, ao longo dos anos, dos quais se conclui que existem muitos frigoríficos no mundo a operar a uma temperatura superior à recomendada, independentemente da evolução tecnológica que estes têm sofrido e das campanhas que têm sido lançadas para alertar a comunidade para a segurança alimentar.

Geppert & Stamminger [17] desenvolveram um estudo experimental a fim de determinar a sensibilidade do consumo energético dos frigoríficos a vários fatores operacionais que refletem condições reais de funcionamento. Quatro frigoríficos diferentes foram testados em laboratório usando o método de planeamento experimental de Box-Behnken com três variáveis (temperatura ambiente, posição de ajuste do termostato e carga térmica adicional por armazenamento de comida quente) em três níveis diferentes. As investigações mostram que o consumo de energia dos frigoríficos é altamente sensível às condições operacionais reais. O consumo diário de energia de um aparelho pode variar até mais de 2000 Wh dependendo dos respetivos fatores operacionais. A análise de variância (ANOVA) revelou que a temperatura ambiente é o factor mais influente no consumo de energia de um frigorífico. A utilização de energia também é afetada, em menor grau, pelo aumento da temperatura do compartimento interno devido a uma carga térmica adicional.

Enquanto os estudos experimentais descritos acima são relacionados com o desempenho dos frigoríficos, de seguida é descrito um conjunto de estudos experimentais destinados à avaliação

dos procedimentos, atitudes e comportamentos de utilização e dos conhecimentos sobre segurança alimentar.

Lowa *et al.* [18] aplicaram um estudo transversal foi realizado em 1178 estudantes do ensino superior (taxa de resposta de 98,2%) de uma universidade da cidade de Kuala Lumpur na Malásia. Um questionário online foi aplicado para analisar os conhecimentos, atitudes e comportamentos relacionados com a higiene dos alimentos. As questões sobre os conhecimentos estavam relacionadas com a higiene dos alimentos pessoal (11 itens), causas de doenças transmitidas por alimentos (9 itens), sintomas de doenças transmitidas por alimentos (12 itens) e práticas na manipulação de alimentos (12 itens). Uma pontuação de 1 foi dada a resposta correta e 0 para a resposta errada. Os alunos foram selecionados e estratificados em três áreas de estudos; Arte, Ciência e Técnica. A média de idade dos estudantes foi de 23 anos, maioritariamente do sexo feminino (65,9%) a frequentarem a licenciatura (73,2%). Na generalidade a pontuação sobre conhecimentos atingiu 69,5%. Os conhecimentos gerais foram significativamente associados ao sexo, nível e campo de estudo e nível de escolaridade do pai. Foi encontrada associação significativa entre a higiene alimentar pessoal e campo de estudo, sendo os estudantes de ciências os mais conhecedores. As conclusões do estudo indicam que o moderado conhecimento evidencia a necessidade de educar os jovens para melhorar os seus conhecimentos de segurança alimentar. Os alunos estavam menos informados sobre os sintomas de doenças transmitidas por alimentos. O programa conduzido pela Universidade para aumentar os conhecimentos dos alunos sobre a segurança alimentar não o suficiente. Estes resultados justificam a necessidade de um programa educacional mais incisivo na criação de uma maior consciência sobre a higiene alimentar entre os jovens malaios.

Hassana & Dimassib [19] desenvolveram um estudo experimental cujo objetivo residiu na avaliação do nível de conhecimento de segurança alimentar entre 1172 estudantes universitários libaneses. Os participantes foram alunos de licenciatura matriculados na Universidade Libanesa Americana de diferentes cursos e anos de estudo, com diferentes áreas de residência, que vivem sozinhos ou com outros estudantes. O questionário de práticas de manipulação de alimentos é composto por 16 questões de conhecimentos de segurança alimentar e 14 questões relacionadas com as práticas de preparação, a contaminação, armazenamento e higiene. Em média, os estudantes atingiram $53,6\% \pm 15,8\%$ e $44,7\% \pm 14,3\%$ sobre as componentes de conhecimento e práticas, respetivamente. Os estudantes do sexo feminino tiveram maior taxa de acerto nas respostas de conhecimento e práticas do que os estudantes do sexo masculino. Os estudantes de cursos de saúde e com maior número de matrículas pontuaram melhor nas questões de conhecimento e práticas. Os estudantes que vivem com os pais pontuaram mais do que aqueles que vivem sozinhos ou com outros estudantes. Estes resultados confirmam a necessidade de iniciativas educacionais para melhorar a sensibilização relativamente baixa sobre segurança alimentar entre o grupo adultos jovens libaneses.

A evolução tecnológica tem visado fundamentalmente otimizar o funcionamento dos componentes do sistema de refrigeração, reduzindo o consumo energético e garantindo um desempenho térmico adequado que se traduz em garantia de segurança alimentar. De seguida são descritos estudos numéricos desenvolvidos na perspetiva de obter resultados conducentes à melhoria deste tipo de equipamentos.

2.5. Estudos numéricos

Zhang & Lian [20] realizaram um estudo numérico da circulação de ar e transferência de calor num modelo simplificado de um frigorífico doméstico. Três configurações foram analisadas e comparadas para realçar a influência das estruturas internas. Os resultados mostram que a radiação térmica aumenta a transferência de calor entre o evaporador e as paredes internas, o que resulta num gradiente de temperatura mais elevado entre as espumas de isolamento e a uma perda de calor maior. A radiação diminui a convecção natural, mas aumenta a circulação de ar entre as prateleiras. A estratificação da temperatura é observada no compartimento dos alimentos frescos em todas as configurações. As prateleiras e a comida reforçam a circulação de ar entre as prateleiras e as paredes internas, o que aumenta o gradiente de temperatura vertical e diminui a homogeneidade da temperatura no compartimento. O gradiente de temperatura na direção vertical aumenta com a complexidade das estruturas internas e a homogeneidade da temperatura piora. As estruturas internas também resultam num aumento de circulação do ar entre as prateleiras. Contudo, os padrões de fluxo do compartimento inferior são semelhantes para todas as configurações: existindo duas circulações de ar no sentido anti-horário.

Cheng & Yuan [21] realizaram um estudo numérico de um novo modelo dinâmico para um frigorífico doméstico com condensador de armazenamento de calor com SSPCM (*shape-stabilized phase change material*). Através de simulação, o coeficiente de desempenho, COP, aumentou cerca de 19% através de uma contínua transferência de calor devido à latência do calor armazenado no SSPCM. Contudo, a poupança de energia foi 12% e compensa cerca de 7% pelo aumento de fugas de calor por causa do SSPCM dentro da camada de isolamento. Os efeitos da temperatura ambiente, da temperatura do congelador e da temperatura de mudança de fase na poupança de energia são analisadas para providenciar uma base teórica para a otimização do design do frigorífico com SSPCM. Pode-se concluir que, se a temperatura ambiente aumentar e a temperatura do congelador diminuir, pode a temperatura da segunda região do material de mudança de fase com um pico de temperatura de cerca de 49°C no SSPCM, resultar no consumo mínimo do frigorífico.

Hammond & Evans [22] realizaram um estudo no qual se pretende verificar a viabilidade das aplicações de painéis de isolamento a vácuo (VIPs - *Vacuum Insulation Panels*) na cadeia de refrigeração, incorporando-os na espuma de poliuretano (PU) existente nas paredes dos compartimentos de frigoríficos e congeladores. A modelação térmica do isolamento de uma variedade de frigoríficos e congeladores típicos, usados na cadeia de refrigeração, foi efetuada com e sem VIPs embutidos nas paredes de isolamento. Essa modelação foi realizada usando o software SolidWorks Flow Simulation, para quantificar as reduções de calor que podem ser alcançadas embutindo os VIPs no isolamento de 4 tipos de equipamentos; (1) um frigorífico-congelador doméstico, (2) um frigorífico de serviço profissional, (3) um congelador de serviço profissional e (4) um congelador de exibição de produtos. As potenciais poupanças de energia e o retorno do investimento foram calculados. Para os frigoríficos o retorno médio foi de 9,7 anos. Para os congeladores foi de 4,5 anos. Os VIPs só são suscetíveis de se tornarem mais utilizados em situações em que outras características, para além do retorno do investimento energético, sejam dominantes. Qualquer produto que incorpore os VIPs terá de ter um preço premium. Os VIPs tornam-se atrativos em situações onde o espaço é limitado e especialmente quando o índice energético é baseado no volume interno. Os custos de produção dos VIPs necessitam de ser inferiores a 25€ por metro quadrado (baseado nos painéis de 20 mm de espessura estudados) antes de se tornarem universalmente económicos para congeladores e quando os períodos de retorno se tornarem mais atrativos quando implementados com as espessuras típicas do isolamento PU.

3. Materiais e Métodos

3.1. Introdução

Este capítulo tem como principal finalidade fazer a descrição do objeto de estudo, dos materiais usados e dos métodos que foram adotados para obter e analisar os resultados.

Este capítulo aborda o objeto em estudo, i.e. o frigorífico, expondo uma pequena descrição da sua construção, falando dos materiais usados nos estudos experimentais e qual a sua importância. Ao descrever os materiais usados para o estudo, é referido o sensor que foi utilizado para fazer as medições térmicas dos equipamentos, nos métodos utilizados para a recolha e tratamento dos dados térmicos obtidos nos equipamentos estudados. É também abordado o cálculo estatístico do tamanho da amostra, e de que forma a amostra obtida difere do valor ideal. São também descritos os inquéritos que foram aplicados para se estudar a relação do desperdício alimentar com as características do frigorífico, e de qual a importância da forma de utilização do equipamento para com os valores de desperdício alimentar apresentados. Adicionalmente, todas as análises feitas sobre o desperdício serão obtidas através das respostas aos inquéritos.

3.2. Amostra

O cálculo da amostra torna-se uma parte importante da presente dissertação, pois é através deste cálculo que se obtém um valor estimado de equipamentos a testar para um determinado intervalo de confiança e erro amostral.

Primeiramente é necessário saber qual a população total da comunidade estudantil Universitária da Covilhã. Para tal, foi solicitado ao Gabinete de Qualidade da UBI o número total de alunos inscritos na Instituição para o presente ano letivo. À data do pedido, 7 de Outubro de 2014, a UBI tinha 6014 alunos inscritos para o ano letivo de 2014-2015, valor este considerado para o cálculo da amostra ideal para o estudo experimental.

Considerando um intervalo de confiança de 85% e um erro amostral de 5%, obtém-se um valor de amostra de 201 alunos para a população existente. Contudo, no caso da presente dissertação a amostra em estudo não é de alunos mas sim de equipamentos frigoríficos, ou seja, não podem ser considerados os 201 alunos como valor de amostra ideal. No caso da comunidade estudantil universitária da UBI, e com os dados recolhidos ao longo da presente dissertação concluiu-se que em cada alojamento vivem aproximadamente 3,81 alunos, ou seja, cada alojamento é composto em média por 4 alunos. Assim, a amostra ideal, para os equipamentos é de 51 equipamentos. Sendo este valor apenas um valor estimado, podendo não ser atingido ou mesmo ser ultrapassado, o cálculo da amostra feito neste ponto é apenas um valor pelo qual é guiada a aquisição de resultados de modo a obtermos um estudo mais consistente.

A amostra é calculada a partir de uma população finita, com variável nominal ou ordinal (variável qualitativa), desta forma a fórmula usada para o cálculo do valor estimado da amostra é [23-24]:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1-p) + e^2 \cdot (N-1)} \quad (4)$$

Em que,

n- Amostra ideal calculada

N- População na qual se vai realizar o estudo, ou seja, é o número de elementos existentes no universo da pesquisa

Z- Variável normal padronizada associada ao nível de confiança utilizado

p- Verdadeira probabilidade do evento ocorrer

e- Erro amostral

Neste caso é considerado *p*=50%, assumindo se uma probabilidade de 50% do evento ocorrer.

O valor *Z* dependente do intervalo de confiança utilizado conforme indicado na Tabela 3.1 [21-23].

Tabela 3.1 - Valores da variável *Z* consoante o intervalo de confiança escolhido

Intervalo de confiança [%]	0,8	0,85	0,9	0,95	0,99	0,999
<i>Z</i>	1,280	1,440	1,645	1,960	2,576	3,291

Como tal para o presente trabalho optamos por escolher um intervalo de confiança de 85%, ao qual corresponde um valor de *Z* = 1,44 conforme tabela 3.1.

O intervalo de confiança mostra a confiança que o realizador do estudo tem em que os resultados obtidos irão capturar os verdadeiros parâmetros da população. Tipicamente são usados intervalos de confiança de 90% ou 95%. Porém, este valor depende do campo em que se realiza o estudo [25]. No estudo da presente dissertação decidiu-se optar por utilizar o valor de 85%, pois é através deste intervalo que se determina quão confiável é o estudo realizado. Como este estudo depende de inúmeras características, principalmente devido a sua inserção na sociedade, tendo uma comunidade específica sobre o estudo, decidiu-se então escolher um intervalo de confiança um pouco mais baixo por questões de segurança, garantindo desta forma que o valor estimado para a amostra seria atingido.

3.3. Frigorífico

Tal como já fora referido anteriormente, o frigorífico é nos dias de hoje um equipamento doméstico comum, sendo raras as habitações nos países desenvolvidos que não possuem um frigorífico para conservar em frio produtos alimentares perecíveis [3]. Contudo, a temperatura de conservação destes equipamentos tem valores adequados para uma boa qualidade e segurança alimentar, valores esses que variam entre 0°C e 5°C, apesar de existirem alguns bens que não necessitam de ser conservados a estas temperaturas. Este é intervalo a que a maioria das temperaturas de conservação dos alimentos se enquadra [16]. Devido à necessidade de conservar os alimentos e de aumentar a sua vida de “prateleira”, o uso de frigoríficos cresceu consideravelmente nos últimos anos, tendo-se tornado num dos eletrodomésticos indispensáveis numa habitação, pela necessidade de armazenar e conservar alimentos frescos durante mais tempo [3-4]. Estes equipamentos têm sofrido evoluções tecnológicas ao longo dos anos, tendo alterado os materiais de construção, fluidos refrigerantes, dispositivos do sistema de refrigeração, dispositivos e algoritmos de controlo, entre outras coisas, de modo a otimizar o equipamento [8].

Com o plástico e as técnicas para o trabalhar, e também com os novos materiais de isolamento, frigoríficos mais pequenos foram desenvolvidos, tornando o seu design e construção mais sofisticados, aumentando também a capacidade de armazenamento útil quando comparada com o volume total [8].

Nos equipamentos utilizados nos dias de hoje os principais materiais de construção são o revestimento interno (geralmente de plástico), o revestimento exterior (geralmente de metal) e o material isolante (sendo os materiais de isolamento típicos o poliuretano, a sílica, aerogel, poliestireno expandido, entre outros) [19].

O isolamento térmico usado no equipamento é de extrema importância, tendo como finalidade reduzir as trocas de calor indesejadas, e também manter a temperatura da parede externa perto da temperatura ambiente, para evitar condensação. Os materiais usados para este propósito são materiais cuja condutividade térmica (λ) é reduzida. Estes materiais são porosos, sendo que a sua elevada resistência térmica se deve à baixa condutividade térmica do ar existente nesses poros [26]. Existem muitos materiais que têm sido utilizados para este propósito, tais como o poliestireno expandido, o poliuretano, entre outros. Estes materiais têm que obedecer a um conjunto de características, que permitem que a sua função seja cumprida da melhor forma possível, características essas que são [26]:

- material à prova de fogo;
- total ausência de odores;
- resistência à degradação temporal;
- pouca variação da condutividade térmica com a utilização;
- boa impermeabilidade à humidade e água;
- coeficiente de transferência de calor de acordo com o seu custo;
- entre outros.

Apesar de existir uma diversidade de materiais que podem ser utilizados para este propósito, os mais utilizados são a espuma rígida de PU e o poliestireno expandido [24].

A forma de construção destes equipamentos pode ser considerada do tipo “sanduiche”, uma vez que o material isolante é revestido por outros materiais [27].

Apesar de o frigorífico ser já um equipamento bem integrado no mercado mundial, existem diariamente pequenos desenvolvimentos destinados à melhoria deste equipamento, em especial no aumento da sua eficiência energética. Alguns dos desenvolvimentos em estudo são respeitantes aos materiais usados para isolamento. Estudos realizados incidem sobre a utilização de materiais de mudança de fase (*Phase Change Materials* - PCM) como isolamento ou ainda o uso de painéis de isolamento a vácuo [19]. Estes estudos incidem sobre a utilização de painéis de PCM ou painéis a vácuo inseridos nas paredes dos frigoríficos de modo a que flutuações de temperatura sejam menores. Apesar de todos os estudos mostrarem melhorias promissoras com a utilização destes materiais, o uso destes é diminuto, sendo usado apenas em situações especiais onde o consumo mínimo de energia é importante e o espaço é primordial [19]. Outro dos estudos desta área refere-se à utilização de um condensador para armazenar calor de SSPCM. Nesta situação verificou-se um aumento do coeficiente de desempenho de cerca de 19% devido à transferência de calor contínua por parte do SSPCM [18].

Outros desenvolvimentos que surgiram na área dos frigoríficos domésticos encontram-se associados à vasta utilização de sistemas de controlo inteligente nos equipamentos. As aplicações mais modernas tem uma variedade de comodidades que se tornaram possíveis através da expansão do uso de microcontroladores e sensores variados. Alguns dos exemplos são [1]:

- sensor adaptativo de descongelamento;
- controlo automático de anti-condensação;
- sensor e alarme para a abertura de porta;
- sensor para controlar a temperatura sobre diversos regimes de operação para a poupança de energia;
- redes inteligentes de interoperabilidade.

Tradicionalmente, os frigoríficos usam um sistema de refrigeração por compressão de vapor, tal como fora referido anteriormente. Por outro lado, as tecnologias NIK (*Not-in-kind*) fornecem tecnologias de bombagem de calor alternativas aos sistemas por compressão de vapor. Alguns desenvolvimentos recentes mostram que as potenciais poupanças de energia das NIK incluem os sistemas de refrigeração magnetocalórica e termoelétrica. Outras tecnologias NIK que possam vir a providenciar um desempenho energético aceitável com potenciais benefícios energéticos a longo prazo incluem os sistemas de refrigeração de tubo Stirling/pulse, termoacústico, absorção e adsorção. De todas as tecnologias NIK, os sistemas de refrigeração termoelétrica e magnética são os que tem uma melhor oferta a nível de poupança energética e ambiental. Estas tecnologias oferecem ainda uma gama variada de benefícios tais como o uso de refrigerantes sólidos amigos do ambiente, entre outros. Contudo, são necessários avanços significativos de novos materiais para que estas

tecnologias sejam comercialmente competitivas com os sistemas de refrigeração por compressão de vapor [1].

Estima-se que a demanda global por equipamentos de uso doméstico tenha um crescimento de cerca de 3,8% ao ano até 2017. Esse crescimento será baseado, em grande parte, no aumento dos padrões de vida da China, Índia e outros países em desenvolvimento, fazendo produtos de marca branca acessíveis aos consumidores. A recuperação dos mercados de habitação nos EUA e na Europa Ocidental, juntamente com a recuperação dos níveis de confiança dos consumidores, também reforçará o aumento de vendas [28].

Os frigoríficos domésticos podem ser de vários tipos. Considerando o seu design pode-se ter frigoríficos de apenas uma porta, com duas portas ou ainda os combinados. Os frigoríficos de porta única podem ter ou não congelador, tal como se pode verificar na figura 3.1. Já os frigoríficos de 2 portas podem ter o congelador na parte superior, tal como se pode observar na figura 3.2. Os combinados, tal como representados na figura 3.3, são frigoríficos de porta dupla nos quais o compartimento de congelação se encontra na zona inferior ou lateral do equipamento, sendo que estes têm por norma um volume útil de congelação superior assemelhando-se a uma arca frigorífica. Este tipo de equipamentos consome uma grande quantidade de energia, que corresponde a aproximadamente 6% do total de energia gerada no mundo [29].



Fig. 3.1 - Frigoríficos de porta única: (a) sem congelador, (b) com congelador.



Fig. 3.2 - Frigorífico de porta dupla.



(a)



(b)

Fig. 3.3 - Frigoríficos combinados: (a) congelador na zona superior, (b) com congelador lateral.

3.4. Datalogger

O datalogger utilizado contém sensores de temperatura, de humidade relativa e da temperatura do ponto de orvalho do meio onde é inserido. Contudo este equipamento tem especificações, nas quais se tem de ter atenção, para que se possa optar por um datalogger que efetue medições na gama de temperaturas em que os frigoríficos operam. Como este tipo de sensores não permite medições a temperaturas muito elevada nem muito baixas, temos que ter atenção às características do mesmo, sendo que para a presente dissertação foi usado o datalogger da Lascar Electronics, modelo EL-USB-2-LCD+, tal como é possível ver na figura 3.4, em que as suas especificações encontram-se na tabela 3.2.



Fig. 3.4 - Dispositivo datalogger para medição da temperatura e humidade relativa.

Tabela 3.2 - Especificações do datalogger.

Modelo	EL-USB-2-LCD+	
Função	Medição de temperatura Medição de humidade relativa Medição de temperatura de ponto de orvalho	
Intervalo de Medições	Temperatura: -35°C a 80°C Humidade Relativa (HR): 0 a 100%	
Precisão	Típica	±0,3°C; ±2,0% HR
	Máxima	±1,5°C; ±4,0% HR
Memória de Leituras	16382	
Bateria	3,6V 1/2AA	
Vida da Bateria	1 ano	

O datalogger consiste num equipamento de medição composto por uma bateria, por um sensor, por uma saída USB (*Universal Serial Bus*) para descarregar para o computador os dados gravados na memória. O datalogger, é acompanhado por um software que permite fazer a configurar o seu funcionamento, desde o tempo desejado para as medições, definição de temperatura, definição dos valores dos alarmes de temperatura (máximo e mínimo); ativação dos alarmes de temperatura; definição da apresentação de dados no LCD (*Liquid Crystal Display*) durante as medições; o procedimento aquando de memória cheia, ativação e definição dos alarmes de HR (máxima e mínima) e seleção do momento de início da aquisição de dados. As opções possíveis para o tempo desejado de medição do datalogger são apresentadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Opções de medição do datalogger.

Duração da medição	Intervalos de medição
45 horas	10 segundos
11 dias	1 minuto
56 dias	5 minutos
11 meses	30 minutos
1.8 anos	1 hora
<2 anos	6 horas
<2anos	12 horas

O software ainda permite verificar os dados recolhidos na forma gráfica, permitindo extrair as curvas de dados recolhidos não relevantes.

Após configuração o datalogger está pronto a iniciar a aquisição de dados, após ser ligado basta colocar no ambiente em que pretende adquirir os dados. Passado o tempo de medição para o qual se configurou o dispositivo, pode-se retirar e fazer a transferência de dados para o computador, para posteriormente os analisar.

3.5. Recolha e tratamento de dados

Uma das partes mais importantes da presente dissertação residiu na recolha de dados do desempenho térmico dos frigoríficos em estudo, durante o tempo previamente definido. Para tal efeito foi necessário angariar uma amostra, sendo que essa tem que se enquadrar dentro da população estudantil da UBI, como já foi referido anteriormente.

A recolha de dados foi realizada durante o período de 3 de Novembro de 2014 ao dia 10 de Abril de 2015, isto é, incorrendo numa duração de cerca de 6 meses. Porém, não foram efetuadas recolhas em alguns dos momentos deste período, pois existiram semanas de férias, épocas de exames, etc. em que se decidiu não efetuar a recolha de dados por serem momentos desadequados ou inoportunos para os estudantes. Após a coleta de um número razoável de pessoas dispostas a ceder o seu frigorífico para efetuar o estudo deu-se início à recolha de dados. A recolha de dados consistiu na colocação do datalogger no frigorífico. Para além da medição da temperatura de conservação que providenciou uma indicação do desempenho térmico do equipamento, também todas as informações e características técnicas do equipamento foram obtidas, no sentido de possibilitar uma comparação dos resultados obtidos. Posteriormente à colocação do sensor no equipamento em estudo, este permaneceu a efetuar medições durante um período mínimo de oito dias, novamente decorrente da conveniência das medições para os proprietários. Assim, o tempo de medição não foi igual para todas as 51 amostras, sendo que variou entre 8 a 11 dias, sendo 8 dias o número mínimos de dias estipulado, enquanto que 11 dias era a primeira opção de medições permitida pelo sensor conforme exposto na tabela 3.2. Assim que o mínimo de dias no qual o sensor ficaria a retirar dados do frigorífico estivesse a terminar, entrava-se em contato com o proprietário do equipamento para que se pudesse retirar o sensor. Nem sempre foi possível proceder com a extração do datalogger no dia 8, o que levou ao acréscimo de dias de medição até 11 dias.

Após os sensores serem retirados dos frigoríficos, os dados da temperatura de conservação foram descarregados para o computador através do software do datalogger. Posteriormente

os dados recolhidos foram tratados de modo a obter os valores pretendidos (valores médio, máximo, mínimo, desvio padrão) para cada um dos equipamentos testados. Para que fosse possível obter os valores corretos, foi necessário eliminar alguns dos dados medidos pelo sensor. Particularmente, os primeiros dados registados foram eliminados, pois o sensor não começa a medição na temperatura de conservação do frigorífico, mas sim numa temperatura superior. Este procedimento foi necessário para não afetar os valores que se obtinham em cada caso, em especial os valores médios e os valores máximos.

3.6. Inquéritos

Para que o estudo da presente dissertação cumprisse o objetivo inicial, os dados térmicos dos frigoríficos não bastam, sendo necessário analisar qual o comportamento dos utilizadores do frigorífico, fazer um levantamento da quantidade de desperdício alimentar que está ligada de alguma forma a este equipamento e de qual a sua razão. Sendo que o objetivo destes inquéritos é completar o estudo do desempenho térmico dos frigoríficos em estudo, foram realizados 2 inquéritos com diferenças no enfoque de cada um. O primeiro inquérito aborda o uso do equipamento por parte do utilizador e companheiros de casa. O segundo inquérito foca o desperdício alimentar obtido ao longo do intervalo de medições no equipamento por eles utilizado. Estes inquéritos são parte importante do estudo, pois permitem obter informações relevantes, tais como o número de pessoas que usa o equipamento, como essas pessoas se organizam nas principais refeições do dia, quais as razões que levaram ao desperdício existente, entre outras. Os guiões dos referidos inquéritos encontram-se expostos em anexo.

Os inquéritos foram realizados de modo a que as informações que por eles obtidas completassem o estudo de análise do desempenho térmico. Estes inquéritos foram realizados com perguntas de resposta fácil, sendo que na sua maioria são respostas de avaliação numa escala de 0 (Nulo) a 10 (Elevado), ou de Afirmação/Negação (Sim/Não). Para ambos os inquéritos, as respostas em que o utilizador tem que responder por escrito são escassas. O guião dos inquéritos desenvolvidos e aplicados encontram-se em anexo.

3.7. Nota conclusiva

Ao longo deste capítulo foram referidos os materiais e métodos usados para a realização da presente dissertação. Em primeiro foram referidos os materiais, o frigorífico e os dataloggers, sendo que o frigorífico é o objeto de estudo e os dataloggers os dispositivos utilizados para efetuar as medições da temperatura de conservação do frigorífico de modo poder-se avaliar o desempenho térmico deste. Posteriormente, é abordado o método utilizado para estimar o tamanho da amostra, assim como a justificação para tal. Após este cálculo, é realizada uma descrição da forma como a recolha de dados foi efetuada e por fim faz-se referência aos inquéritos, destacando o seu objetivo, a forma como estes foram realizados, e qual o contributo para esta dissertação.

No capítulo seguinte apresentar-se-á a análise e discussão dos resultados obtidos. São abordadas todas as escolhas feitas para a realização da análise, sendo que dos mesmos resultados vão ser efetuadas diferentes análises.

4. Análise e Discussão de Resultados

4.1. Introdução

No capítulo anterior foram abordadas várias temáticas relacionadas com o presente estudo. Foi apresentado o objeto de estudo, o frigorífico. De seguida foi apresentado o dispositivo sensor utilizado para a recolha de dados. Posteriormente são apresentados os cálculos necessários para a obtenção do valor estimado do tamanho da amostra, referindo-se de seguida a forma como a recolha de dados do desempenho térmico foi efetuada. Por fim apresentou-se o objetivo dos inquéritos realizados.

Este capítulo reside na apresentação e discussão dos resultados do estudo experimental realizado. A análise e discussão dos resultados é realizada de 3 formas distintas: Uma residiu na análise geral, na qual não existe diferenciação das amostras, enquanto que os restantes tipos de análise incorrem na diferenciação das amostras. Uma é referente às pessoas com quem o utilizador partilha o alojamento, i.e., se vive sozinho, acompanhado por outros estudantes e qual o número destes e também se vive em família com os pais. Outra análise foi realizada consoante a faculdade à qual o estudante pertence, com o intuito de analisar a consciencialização para a problemática da eficiência energética e do desperdício alimentar. O capítulo inicia-se com a análise geral, seguindo-se a análise com base nos residentes do alojamento e por fim é feita a análise com base na faculdade a que o estudante pertence. Para todas as análises efetuadas serão apresentados alguns exemplos do desempenho térmico dos vários frigoríficos, mais propriamente os casos comuns, os piores e melhores casos no que respeita à variação e amplitude da temperatura de conservação dos produtos alimentares nos frigoríficos domésticos. O estudo realizado tem como objetivo conhecer o desempenho térmico dos frigoríficos usados numa comunidade específica, em particular a comunidade estudantil da UBI, tendo em conta variáveis que afetam o comportamento térmico do equipamento, como por exemplo o número de pessoas que usa o equipamento e a sensibilização para as questões da eficiência energética e desperdício alimentar. Neste estudo pretende-se verificar qual o tipo de relação entre o desperdício alimentar e o desempenho térmico dos frigoríficos em função do tipo de utilização.

4.2. Análise Geral

Nesta secção é realizada uma análise e discussão dos resultados gerais. Desta forma, são apresentados os resultados de toda a amostra. Esta análise consiste numa comparação dos valores médios, máximos e mínimos de resultados experimentais ou de parâmetros obtidos a partir destes. São providenciadas justificações para a obtenção de valores de temperatura de conservação fora dos limites adequados que garantem a qualidade e a segurança alimentar dos produtos.

4.2.1. Análise do estudo experimental do desempenho térmico

O estudo experimental do desempenho térmico residiu na análise experimental de 51 equipamentos ao longo do período de recolha de dados. Os valores obtidos demonstram desempenhos térmicos que se enquadram nos valores de temperaturas em que os equipamentos devem operar, mas também existem algumas situações em que os valores obtidos se encontram fora do intervalo de temperatura de conservação adequada. Contudo, dos casos em que a média de temperaturas de funcionamento do frigorífico se enquadra nos valores de temperatura nos quais devia operar, existe sempre em algum momento um valor de temperatura que, por excesso ou por defeito, não se encontrava na gama de temperaturas que garantem a qualidade e segurança alimentar. Ainda, existem casos em que a média da temperatura de conservação não se enquadra nos valores de temperatura em que este devia operar. Nestas situações, a maioria dos casos apresenta uma média do valor da temperatura de conservação superior ao valor máximo admissível o que se reflete numa desadequada segurança alimentar dos produtos. Adicionalmente, existem alguns casos em que a média de temperaturas de conservação é negativa. Nestes casos, o frigorífico apresenta uma média de temperaturas de funcionamento inferior ao valor mínimo admissível, o que se poderá traduzir numa redução da qualidade alimentar. Os resultados obtidos são analisados comparativamente tendo em consideração as características dos equipamentos.

Uma das características mais importantes dos equipamentos são a potência elétrica, P [W], e a capacidade (volumetria), V [m³], do frigorífico. Os equipamentos da amostra de teste possuem em média uma potência elétrica de 126 W. Os equipamentos com maior e menor potência apresentam respetivamente os valores de 56 W e 281 W. No que respeita à volumetria do frigorífico, o valor médio da amostra de teste é de 205 litros (0,205 m³), porém a volumetria dos equipamentos da amostra varia entre 133 litros (0,133 m³) a 427 litros (0,427 m³). Na figura 4.1 encontra-se apresentada a relação entre o volume do frigorífico e a sua potência elétrica. Na mesma figura é apresentada a correlação linear entre as grandezas.

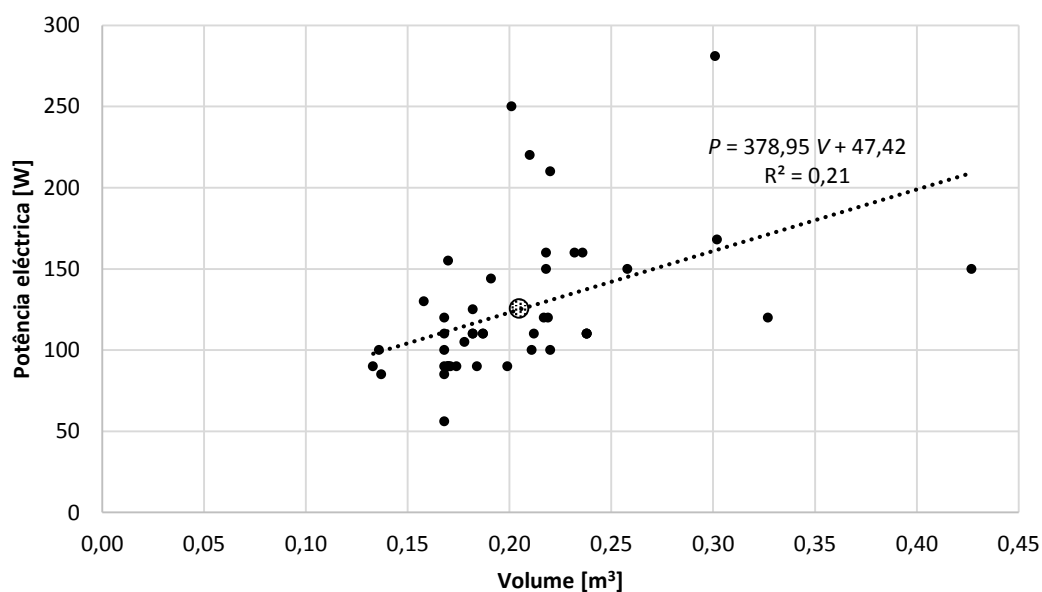


Fig. 4.1 - Relação entre o volume e a potência elétrica dos equipamentos da amostra.

Verifica-se a inexistência de uma relação forte entre a volumetria do equipamento e a sua potência pelo baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,21$). Isto é, encontram-se equipamentos já com alguma longevidade que apresentam elevada potência e reduzida capacidade, como a condição oposta, ou seja, equipamentos à partida muito recentes fazendo uso de tecnologia inovadora que lhe providencia uma classe energética muito elevada (A⁺⁺⁺) que apresentam um baixo valor de potência elétrica e uma elevada capacidade de armazenamento de produtos alimentares no frigorífico. Os valores médios da potência elétrica e do volume da amostra apresentam-se como sendo o círculo de maior dimensão preenchido com um padrão para se destacar dos restantes pontos.

Assim, para possibilitar uma comparação justa entre os equipamentos da amostra, determinou a potência específica, p [W/m^3], que se apresentada na figura 4.2. Nesta figura encontram-se diferenciados os diferentes tipos de partilha do alojamento dos estudantes: A “Azul” encontram-se os resultados dos estudantes que vivem sozinhos; a “Laranja” os resultados dos estudantes que vivem com a sua família, i.e., estudantes nativos da Covilhã; e a “Vermelho” encontram-se os resultados dos estudantes que compartilham o alojamento e conseqüentemente a utilização do frigorífico com outros estudantes. A potência específica dos equipamentos da amostra apresenta um valor médio de $616 W/m^3$. Os maior e menor valores da potência específica são respetivamente $1244 W/m^3$ e $333 W/m^3$. Estes resultados encontram-se também dispostos na figura 4.2.

Na figura 4.3 são apresentados os valores médios, máximos e mínimos da temperatura de conservação de cada um dos equipamentos que compõem a amostra. Nesta figura são também incluídos os valores médios globais, assim como os seus valores mínimo e máximo. A sequência de coloração das barras segue a mesma relação que para a figura 4.2.

O valor médio global da temperatura de conservação da amostra é $5,53^\circ C$. Este valor encontra-se $0,5^\circ C$ acima do valor limite do intervalo de funcionamento desejado para o frigorífico. Daqui pode-se concluir que apesar da média geral de temperaturas estar fora do intervalo de funcionamento desejado, os frigoríficos na generalidade não apresentam mau desempenho térmico. Contudo, 66,6% dos casos de estudo apresentam uma temperatura média de funcionamento superior à temperatura máxima média desejada, como se pode observar na figura 4.3.

Praticamente em todos os casos estudados existe algum momento em que um valor máximo de temperatura de conservação bastante superior ao limite superior de temperatura de conservação é atingido. Apenas dois dos casos de estudo (A35 e A1) atingem um valor máximo de temperatura de conservação que se enquadra no intervalo de temperaturas no qual o frigorífico deveria operar.

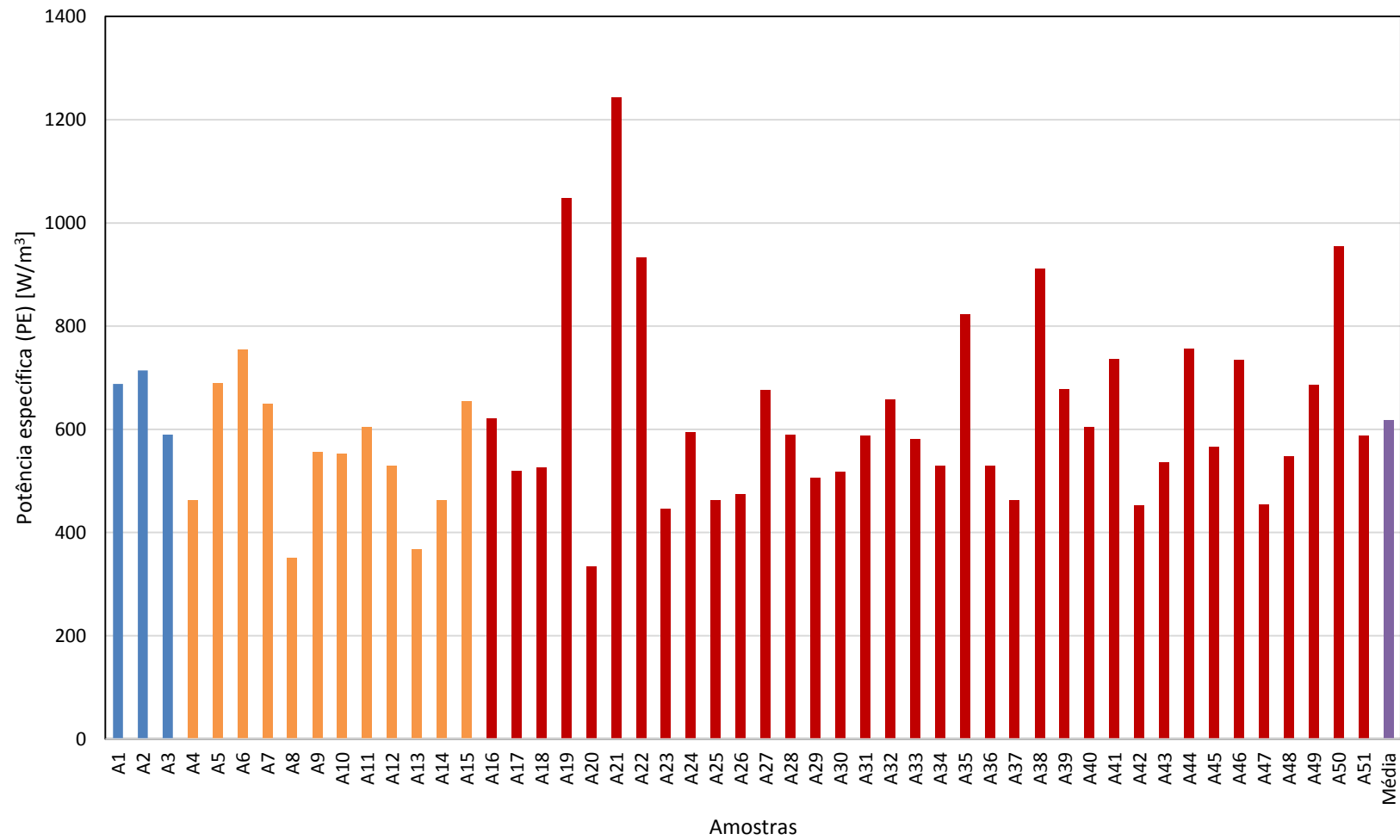


Fig. 4.2 - Valores de potência específica dos equipamentos que compõem a amostra de teste.

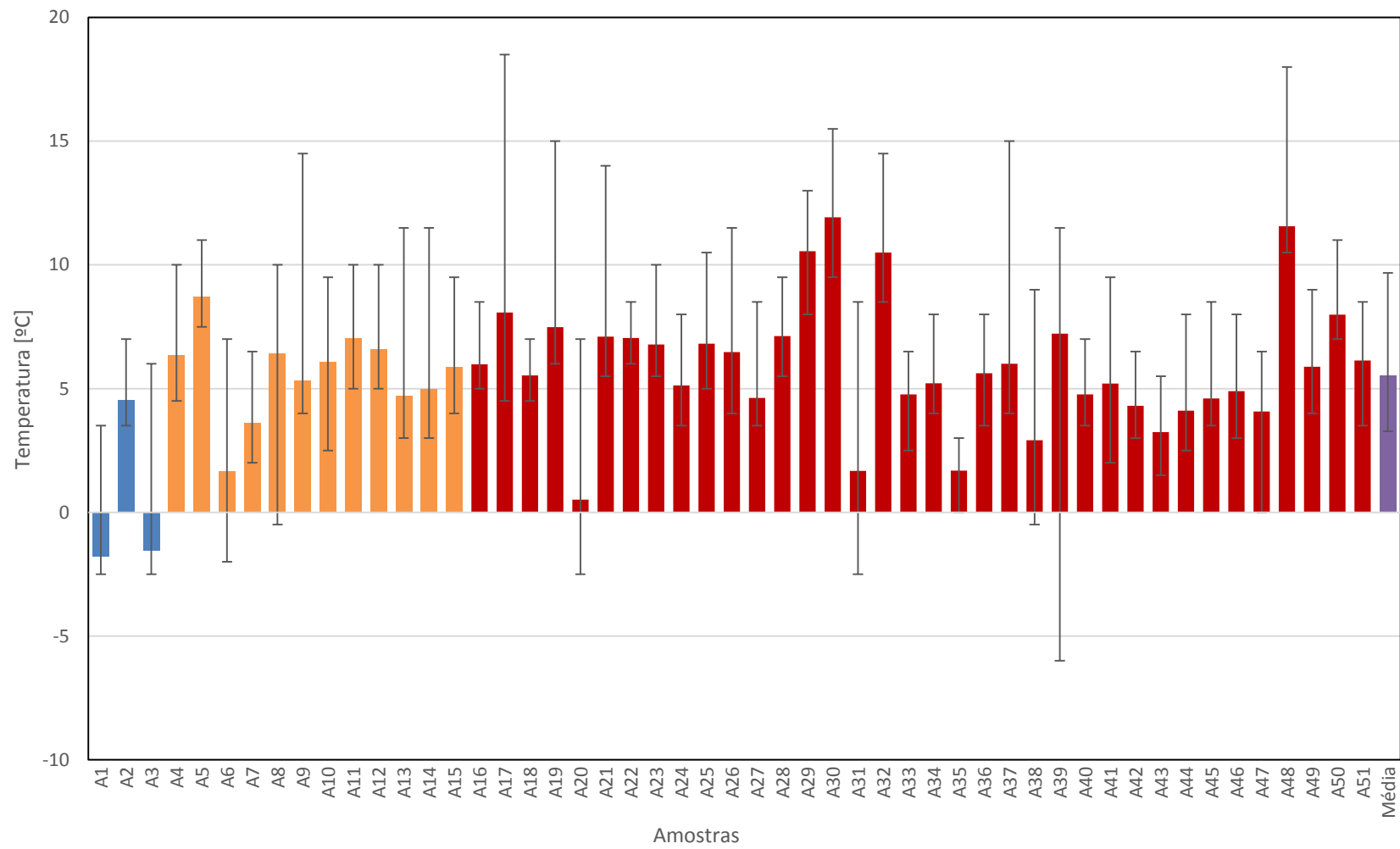


Fig. 4.3 - Valores médios, máximos e mínimos da temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste.

A figura 4.4 mostra um caso típico em que a temperatura de conservação medida no equipamento de teste A35 se encontra no intervalo de temperaturas que asseguram a qualidade e segurança alimentar durante um período de teste de cerca 211 horas.

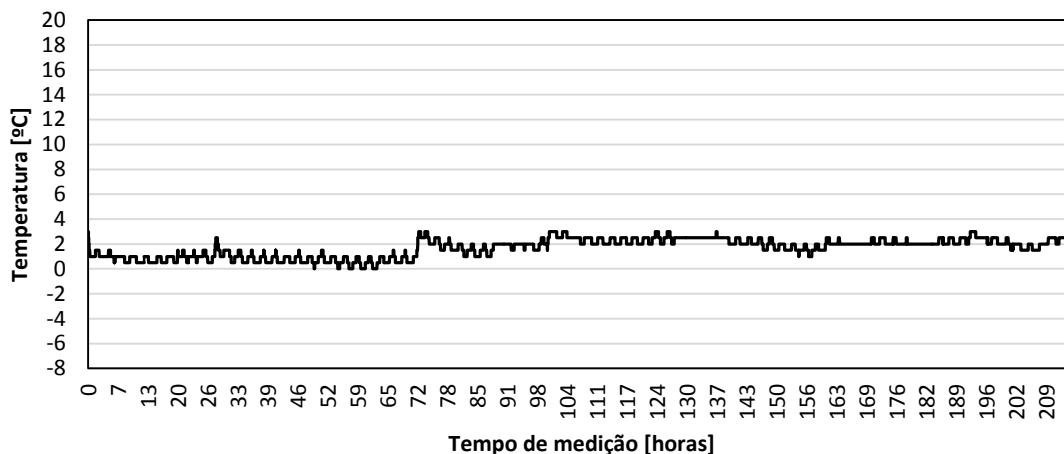


Fig. 4.4 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A35.

Nos 51 casos apresentados existem valores máximos de temperatura de conservação muito distintos. Os equipamentos de teste atingiram em média uma temperatura máxima de 9,7 °C. Todavia, num dos equipamentos em teste (caso de estudo A17) chegou-se a atingir um valor máximo da temperatura de conservação de 18,5°C. Na figura 4.5 é apresentado o caso do equipamento de teste A17 no qual foi atingido durante parte do período de teste (36 horas) um valor de temperatura de conservação máxima que ultrapassa o valor limite da adequada segurança alimentar.

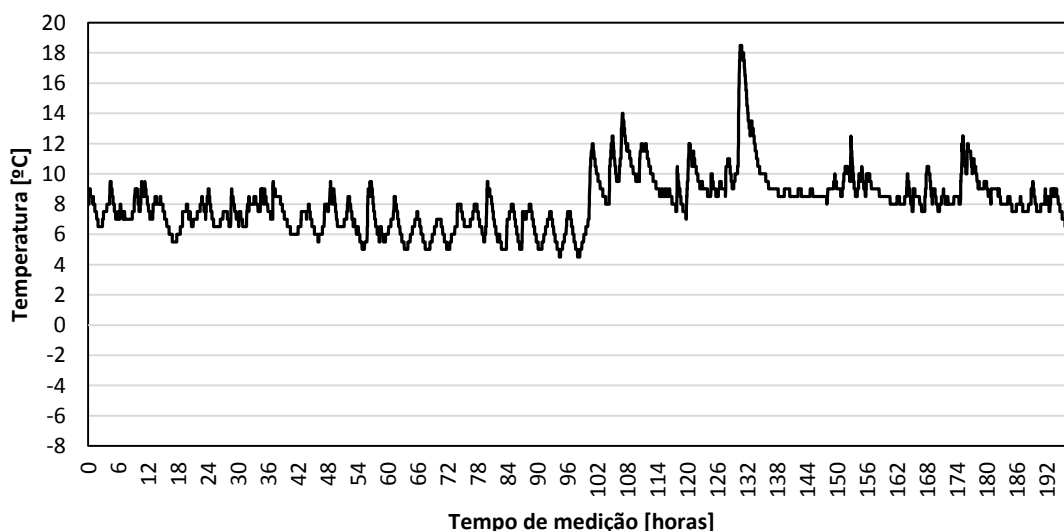


Fig. 4.5 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A17.

Independentemente deste valor de temperatura de conservação se ter registado durante um curto período de tempo e a inércia térmica dos produtos e suas embalagens evitar que os produtos atingissem efetivamente este valor de temperatura, corresponde a um risco muito elevado de segurança alimentar.

Opostamente, num outro dos equipamentos de teste (caso de estudo A35), foi atingido um valor máximo de temperatura de conservação de 3°C (ver figura 4.4). Esta é uma situação de operação que cumpre todos os requisitos de segurança alimentar dos produtos conservados no frigorífico.

Dos valores anteriormente calculados podem ser retiradas algumas ilações que dizem respeito ao desempenho térmico dos equipamentos e respetiva utilização por parte dos utilizadores. Apesar de na maioria dos casos de teste a temperatura máxima atingida não estar muito acima do intervalo de temperaturas em que os equipamentos deveriam operar, existem alguns casos, aproximadamente 37% da amostra, em que a temperatura de conservação máxima atingida durante o período de medições se encontrava acima dos 10°C.

Porém, verifica-se que estas situações se dão apenas num curto espaço de tempo ao longo do período de recolha de dados. Adicionalmente, verifica-se ainda que o incremento do valor da temperatura de conservação ocorre de forma gradual ao longo do período, ou seja, a temperatura aumenta constantemente ao longo de um determinado período de tempo durante a medição. Esta condição decorre na incapacidade do sistema de refrigeração do equipamento suportar as cargas térmicas decorrentes de:

- Colocação de alimentos no interior do equipamento com uma temperatura muito superior aquela a que o a zona de conservação se encontra. A transferência de calor por convecção e condução dos alimentos para o ambiente envolvente resulta num aumento da temperatura.
- Manutenção da porta do equipamento aberta durante um longo período de tempo. Esta situação implica uma carga térmica por infiltração de ar ambiente a uma temperatura muito mais elevada.

Na maioria das situações em análise, da entrevista presencial com os utilizadores dos equipamentos, obteve-se a informação que o valor de temperatura de conservação máxima decorre fundamentalmente da manutenção da porta do equipamento aberta para arrumação das compras da semana. Um grande número de estudantes da UBI aproveita o fim-de-semana para visitar os pais e quando retorna à Covilhã, traz consigo muitas compras. Nas residências que são compartilhadas por vários estudantes, usualmente é distribuída uma prateleira do frigorífico a cada estudante para arrumação dos seus alimentos. Neste caso em particular, pode dar-se a situação em que cada um dos estudantes retorna no final de um fim-de-semana com produtos alimentares para colocar no frigorífico, o que irá estender o período de tempo em que o equipamento permanecerá com a porta aberta para organização e colocação em frio dos produtos. Em poucas situações os utilizadores relatam colocar alimentos com uma temperatura muito elevada dentro do equipamento.

Ambas situações devem ser evitadas no sentido de reduzir o incremento da carga térmica total do equipamento, que o sistema de refrigeração tentará compensar por um funcionamento mais contínuo o que se traduz num maior consumo energético. Caso o sistema de refrigeração não consiga suprir uma carga térmica que seja muito elevada, a situação incorre numa redução do desempenho térmico.

Do mesmo modo que o frigorífico atinge um valor máximo de temperatura de conservação decorrente do modo de utilização durante o período de testes, também atinge um valor mínimo de temperatura de conservação, mas este decorrente do setpoint do equipamento e da sua potência de refrigeração. Nos casos de estudo existem valores mínimos da temperatura de conservação bastante distintos, existindo nessa gama alguns casos em que a temperatura mínima obtida excede os limites mínimo e máximo do intervalo de funcionamento normal.

Ao analisar os dados dos valores mínimos da temperatura de conservação apresentados na figura 4.3 pode-se chegar a algumas conclusões. A média dos valores mínimos da temperatura de conservação é de 3,3°C o que se configura com um valor adequado para uma condição de refrigeração. O valor mínimo da temperatura de conservação dos casos de estudos é de -6°C (caso de estudo A39). Na figura 4.6 apresenta-se a variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A39. Este equipamento apresenta um funcionamento que leva a uma temperatura de conservação negativa atingida no final do período de teste.

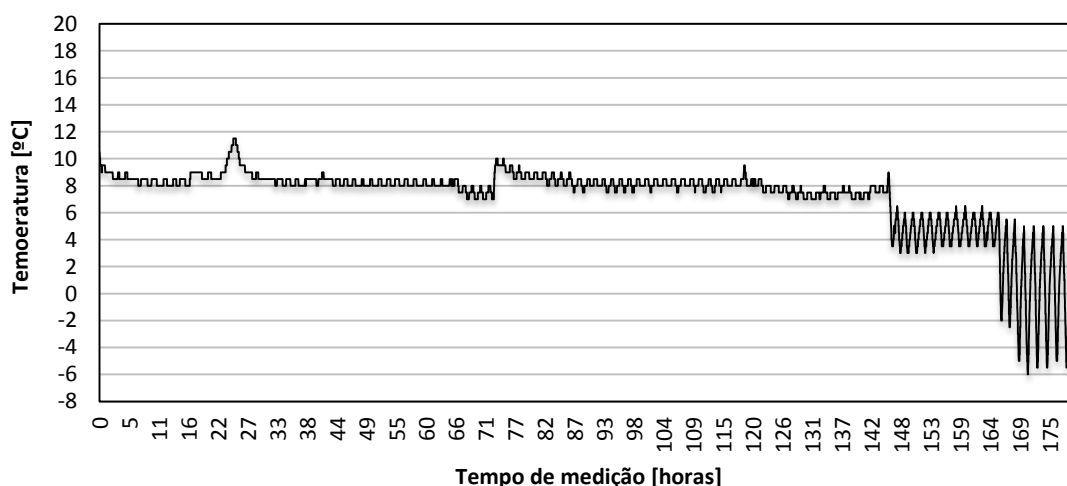


Fig. 4.6 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A39.

Neste caso de estudo, embora a segurança alimentar seja garantida, a qualidade alimentar com certeza não o é devido à formação de cristais de gelo nos produtos alimentares que irão alterar as suas características organolépticas.

No caso de estudo A48, o valor mínimo da temperatura de conservação obtido é de 10,5°C. Novamente, e como já indicado o equipamento deste caso de estudo põe num risco elevado a segurança alimentar. Na figura 4.7 é apresentado o caso de teste A48 em que a temperatura de conservação providenciada pelo equipamento encontra-se durante todo o período de teste fora do intervalo de temperaturas desejado.

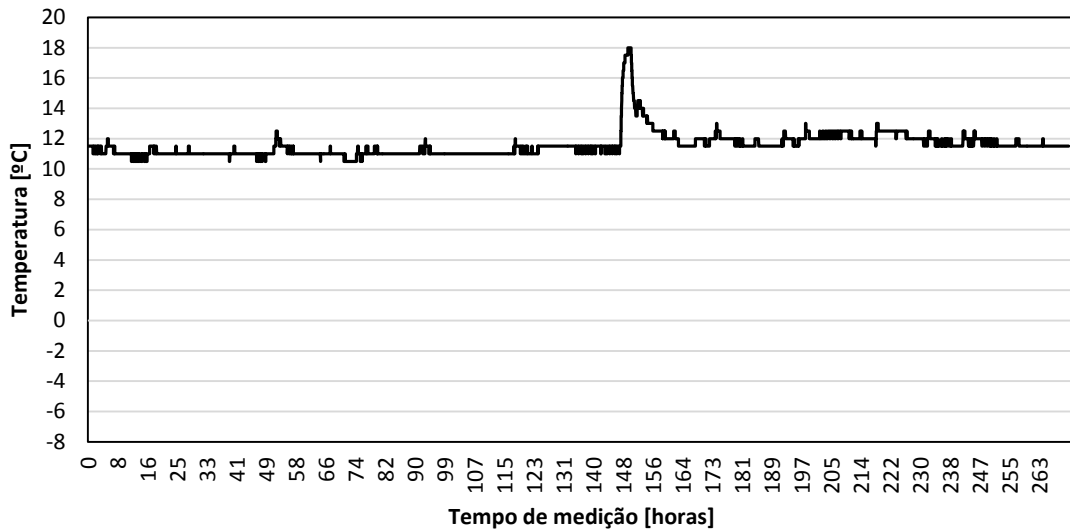


Fig. 4.7 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A48.

Nas 3 situações acima exemplificadas (casos de teste A17, A39 e A48), o um intervalo entre os valores máximo e mínimo de temperatura chega a atingir 18°C de diferença. Uma das condições que pode influenciar os valores de temperatura obtidos é a forma como o utilizador regula o termostato do frigorífico. O utilizador regula o termostato numa escala que varia de 0 a 5. A figura 4.8 Indica a percentagem de casos de teste em que o termostato do frigorífico se encontrava em cada uma das posições de seleção da temperatura de conservação em que 0 corresponde ao valor mínimo de desempenho térmico, i.e., a uma temperatura de conservação mais elevada e 5 corresponde ao valor máximo, ou seja, a uma temperatura de conservação mais reduzida.

Como indicado adiante, o valor de regulação do termostato do equipamento pode influenciar a temperatura do frigorífico de um modo não desejado, fazendo com que o frigorífico tenha temperaturas mais baixas do que o que seria de esperar e vice-versa.

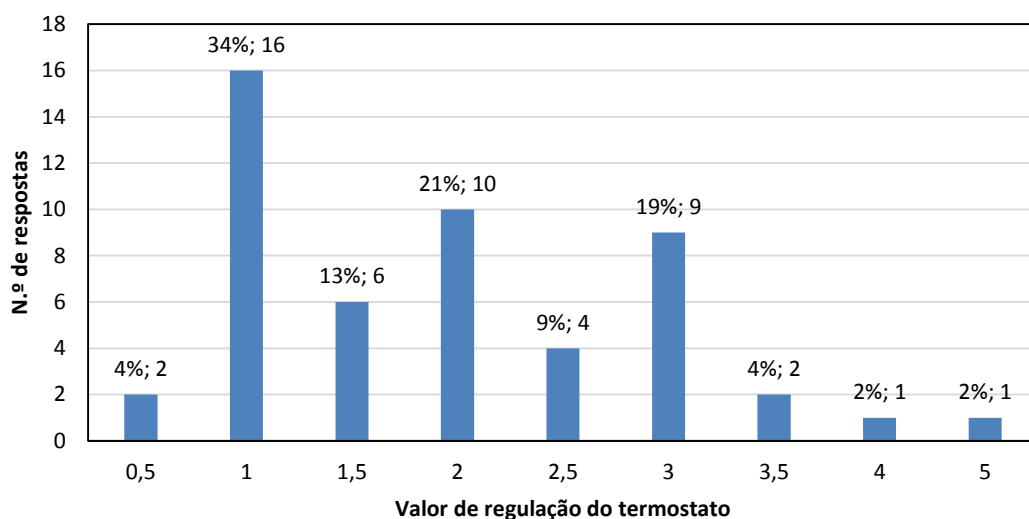


Fig. 4.8 - Distribuição do setpoint de temperatura do termostato.

Dos valores calculados anteriormente foram retiradas algumas ilações respeitantes a pequenas alterações de procedimento que podem ser efetuadas por parte dos utilizadores, para evitar que temperaturas de conservação muito baixas sejam atingidas. Embora a conservação de alimentos a temperatura demasiado baixa não comprometa a segurança alimentar, irá comprometer a qualidade alimentar e provavelmente contribuir para o aumento do desperdício alimentar.

33,3% dos casos de estudos apresentam uma temperatura de conservação mínima fora do intervalo de temperaturas adequado à refrigeração de alimentos. Os valores que não se enquadram no intervalo podem ter uma temperatura mínima inferior ou superior aos valores limite do intervalo de temperaturas de funcionamento desejado, cuja justificação poderá advir de:

- Regulação do setpoint da temperatura de conservação para o valor mais baixo numa condição em que as cargas térmicas a que o equipamento está sujeito não são significativas. Neste caso, a potência de refrigeração é muito superior à carga térmica que terá que suprir. Nesta condição, o consumo do equipamento também é superior.
- Equipamento com uma potência de refrigeração elevada sujeito a cargas térmicas muito baixas.
- Deficiência no funcionamento do equipamento quer seja por problemas nos dispositivos que compõem ciclo de refrigeração, ou por falta de refrigerante que conduz a valores mínimos da temperatura de conservação muito elevados.

4.2.2. Análise dos resultados dos inquéritos

Como referido anteriormente, os resultados dos inquéritos são uma parte importante deste estudo, pois permitem relacionar o desempenho térmico do equipamento com o modo de utilização e analisar o desperdício alimentar que de algum modo está ligado ao uso dos frigoríficos.

Os valores obtidos das respostas aos inquéritos realizados permitem espelhar como é realizada, e eventualmente organizada, a utilização destes equipamentos por parte duma comunidade que usualmente habita em conjunto. Procedimentos que vão desde a forma como os estudantes se organizam na realização de refeições, ao modo como efetuam as compras de produtos perecíveis com necessidade de refrigeração, entre outros, são relevantes na análise do desempenho térmico e na aferição do desperdício alimentar. Com o primeiro inquérito pretende-se obter o máximo de informação no que diz respeito à forma como os estudantes usam os frigoríficos da residência onde habitam. O objetivo do segundo inquérito residiu na recolha de informação no que diz respeito ao desperdício alimentar existente no período temporal da realização do teste experimental.

4.2.2.1. Inquérito sobre a utilização do equipamento frigorífico

O objetivo do primeiro inquérito reside na recolha de informações adicionais respeitantes ao uso dos frigoríficos por parte dos estudantes da UBI.

O inquérito divide-se em 10 questões, que dizem respeito à forma como o estudante utiliza o frigorífico, o número de pessoas que usa o equipamento diariamente, o número de vezes em que a porta do frigorífico é aberta, entre outras. De seguida apresenta-se uma análise da compilação das respostas a cada uma das questões do inquérito.

- **Como avalia o modo como utiliza o seu frigorífico?**

Os estudantes têm a perceção que não utilizam o equipamento de uma forma péssima, nem de uma forma excelente conforme apresentado na figura 4.9. Apenas 6% dos estudantes considera que usa o frigorífico de um modo negativo. 60% dos inquiridos considera que efetua uma utilização muito boa do equipamento. Das respostas à questão, pode-se concluir que os estudantes consideram, na sua maioria, utilizar os frigoríficos de um modo adequado.

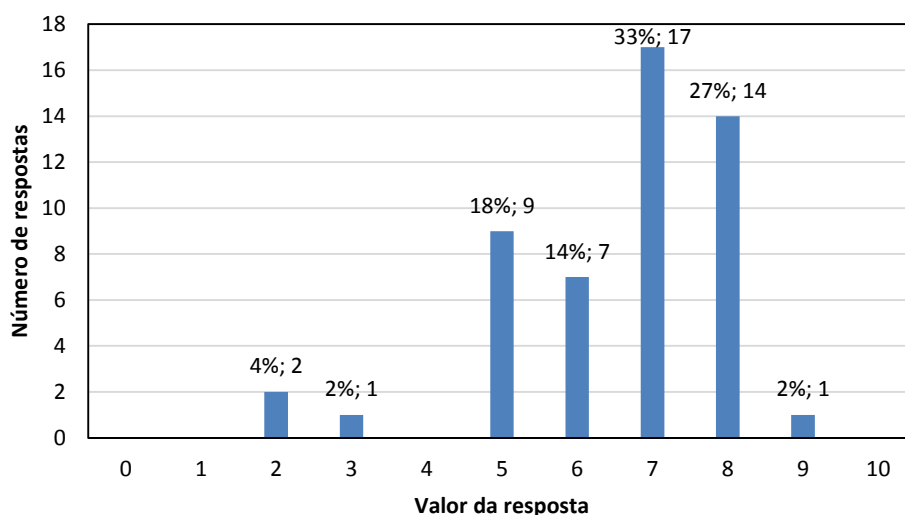


Fig. 4.9 - Modo de utilização do equipamento (legenda: 0 - Pésimo, 10 - Excelente).

- De que forma avalia o modo como o seu frigorífico conserva os alimentos?

Os inquiridos assumem que nenhum dos equipamentos estudados conserva os alimentos de forma péssima, conforme exposto na figura 4.10. Porém, 6% dos estudantes considera que o seu frigorífico conserva os alimentos de uma forma negativa. Os restantes 94% considera que o seu frigorífico conserva os alimentos de uma forma positiva. 65% dos estudantes considera que o seu frigorífico conserva os alimentos muito bem. Das respostas dadas a esta pergunta pode-se concluir que no geral os equipamentos conservam bem os alimentos.

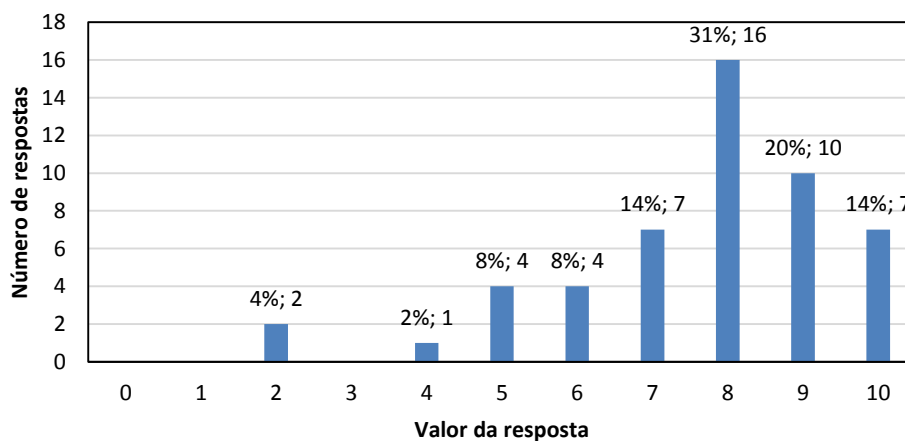


Fig. 4.10 - Classificação da conservação dos alimentos por parte do frigorífico (legenda: 0 - Pésimo, 10 - Excelente).

- De que forma classificaria o desperdício alimentar na sua casa?

Ao analisar a figura 4.11, pode-se concluir que o desperdício alimentar realizado pelos estudantes é reduzido. Apenas 20% dos alunos consideram produzir um desperdício alimentar elevado. Com as respostas dadas a esta pergunta, pode-se concluir que a maioria dos estudantes tenta evitar o desperdício alimentar.

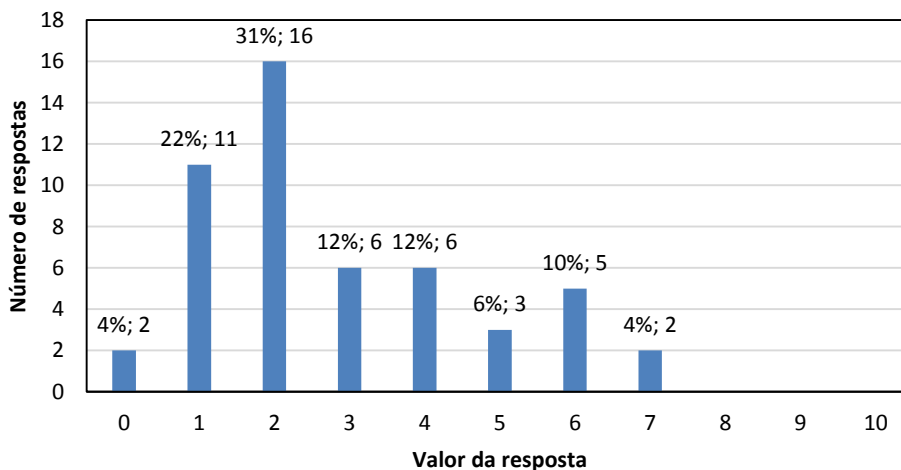


Fig. 4.11 - Classificação do desperdício alimentar (legenda: 0 - Inexistente, 10 - Elevado).

- Em sua casa de que forma se organizam nas refeições principais (Almoço e Jantar)?

Nesta questão, ao analisar a figura 4.12, pode-se verificar que existem 3 formas como os estudantes se organizam: (1) cada um por si, (2) em vários grupos ou (3) todos em conjunto. A forma como estes se organizam nas refeições principais influencia o desempenho térmico do frigorífico devido à quantidade de vezes que a porta(s) do frigorífico será aberto nos períodos que antecedem as refeições para a sua preparação. Ao analisar as respostas dadas pelos estudantes, pode-se verificar que cerca de metade dos inquiridos (49%) organizam as suas refeições em conjunto. De realçar que 37% dos inquiridos realizam as principais refeições por si só. Daqui pode-se concluir, que apesar de existir uma elevada taxa de estudantes a realizarem as principais refeições individualmente, o que faz com que a porta do frigorífico seja aberta muitas vezes nestes períodos, aproximadamente 2/3 dos estudantes organizam-se em conjunto, podendo ser todos em conjunto ou em pequenos grupos, reduzindo desta forma o número de vezes que a porta do frigorífico é aberta.

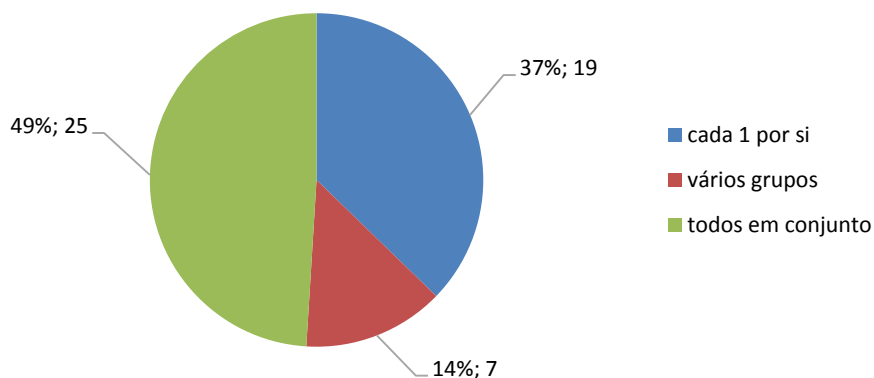


Fig. 4.12 - Modo de organização nas principais refeições (Almoço e Jantar).

- Se respondeu vários grupos, indique quanto.

Esta pergunta está relacionada com a anterior tendo como objetivo determinar qual o número de grupos criados para realizar das principais refeições. Da análise da figura 4.11, verifica-se que 14% dos estudantes se organizam em grupos quando chega a hora de preparar o almoço e jantar. Ao analisar a figura 4.13, conclui-se que desse conjunto, 71% se organiza em 2 grupos e os restantes 29% se organizam em 3 grupos. Será perceptível que a organização das refeições principais por três grupos de estudantes irá incorrer em maior número de abertura da(s) porta(s) do frigorífico e conseqüentemente num pior desempenho térmico.

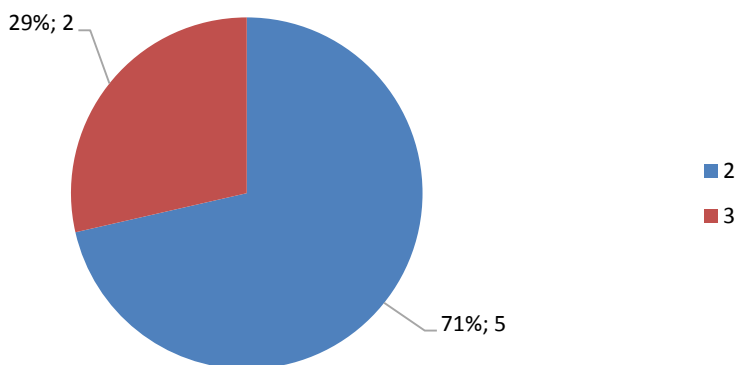


Fig. 4.13 - Número de grupos de estudantes na preparação das principais refeições.

- De que forma acha que o seu equipamento afeta o seu consumo energético?

A 6ª questão do inquérito visa obter informações relativamente ao consumo energético dos equipamentos. Pela análise da figura 4.14 verifica-se a falta de uma opinião consonante dos estudantes, dividindo-se as opiniões entre pouca e muita influência.

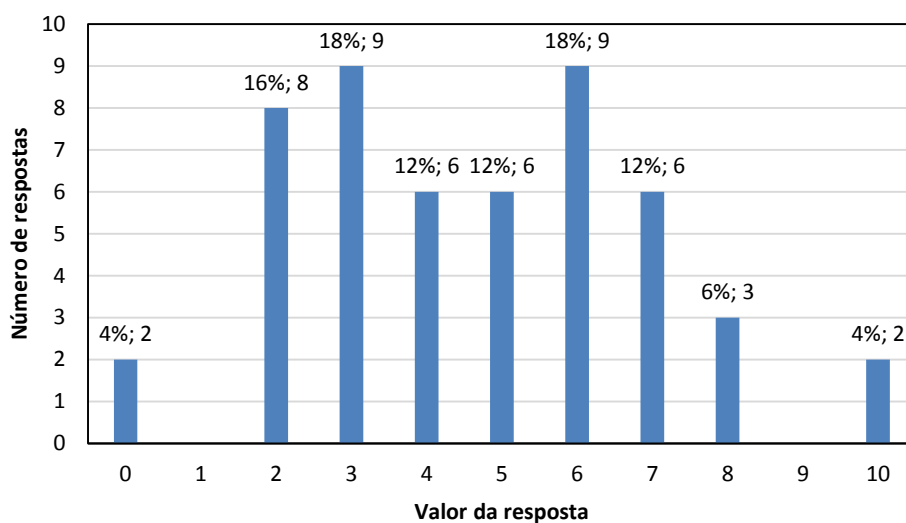


Fig. 4.14 - Avaliação do consumo energético do frigorífico (legenda: 0 - Pouco, 10 - Muito).

- **Em sua casa o frigorífico é aberto muitas vezes?**

Nesta pergunta pretende-se obter informações sobre os hábitos de abertura da porta do frigorífico por parte dos estudantes ao longo de um dia. Ao analisar a figura 4.15, conclui-se que 67% dos estudantes considera que abre a porta muitas vezes ao longo do dia enquanto que os restantes têm opinião contrária.

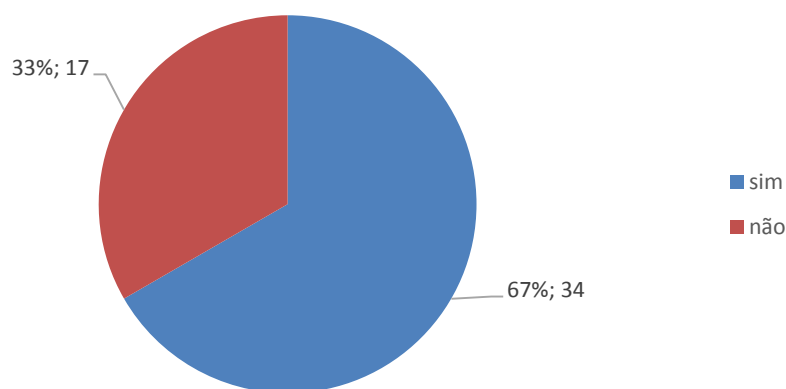


Fig. 4.15 - Indicação sobre o elevado número de aberturas da porta do frigorífico.

- **Se considera que abriu a porta muitas vezes, acha que todas foram necessárias?**

Conforme figura 4.16. das respostas a esta pergunta obtém-se a informação que dos 67% que responderam afirmativamente à questão anterior, 32% considera que o número de vezes que abre a porta diariamente é realmente por necessidade. Os restantes 68% têm consciência que abrem em demasia e provavelmente sem necessidade algumas vezes a(s) porta(s) do frigorífico.

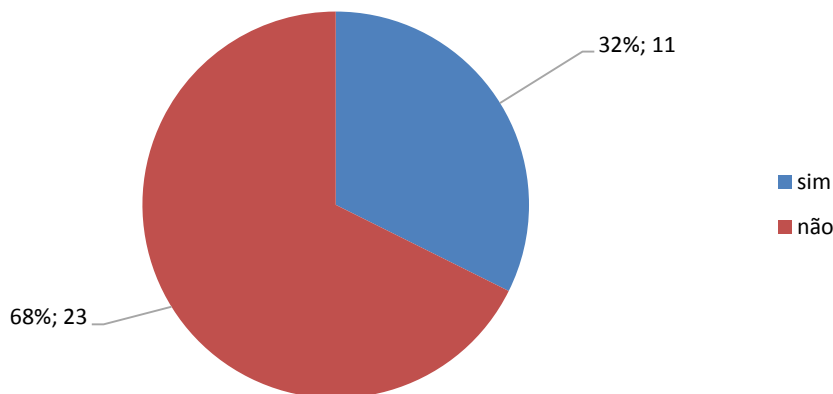


Fig. 4.16 - Necessidade de abertura da porta do frigorífico diariamente, quando é aberta muitas vezes.

Destas duas questões conclui-se que existe um comportamento negativo pela maioria dos estudantes, que reside na abertura da(s) porta(s) do frigorífico sem existir uma necessidade real. Todavia, trata-se de um comportamento que pode ser facilmente alterado, alertando e consciencializando os estudantes para os efeitos negativos do elevado número de aberturas da(s) porta(s) do frigorífico.

- **Ao longo do ano, quantas vezes alterou o termostato do equipamento?**

Esta pergunta reside na indicação do número de vezes por ano que o utilizador regula o termostato do frigorífico. Da análise à figura 4.17 verifica-se que cerca de metade dos inquiridos regulam o termostato do seu equipamento uma vez ao ano. Das respostas obtidas por parte dos estudantes, conclui-se que 84% dos inquiridos tem um comportamento normal no que toca à regulação do termostato do frigorífico, que reside na seleção de uma temperatura de conservação mais baixa no Verão devido à maior carga térmica por infiltração de ar exterior e condução através das paredes, e uma temperatura de conservação mais elevada no Inverno pela condição oposta à anterior. Ainda assim, 4% dos estudantes regula o termostato do frigorífico muitas vezes ao ano, o que não é compreensível.

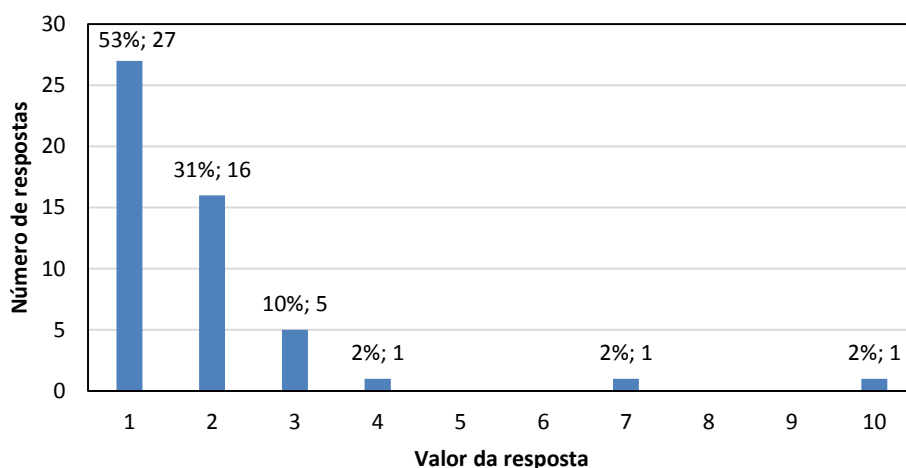


Fig. 4.17 - Mudanças do setpoint do termostato por ano.

- **Quantas pessoas utilizam o frigorífico diariamente?**

A última questão deste inquérito pretende indagar o número de pessoas que utilizam o equipamento diariamente. Pela análise da figura 4.18, pode-se concluir que em 75% dos casos o frigorífico é usado por 2 a 4 pessoas. Existem ainda situações em que o número de estudantes que utilizam o único frigorífico é muito elevado. Nestas situações, o desempenho térmico do equipamento será penalizado.

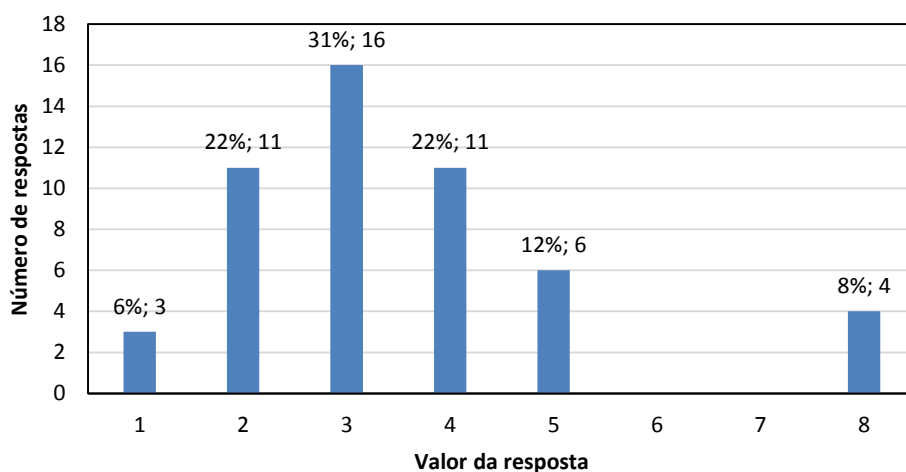


Fig. 4.18 - Número de pessoas que utilizam o equipamento diariamente.

Como pretendido com a realização deste inquérito, as informações obtidas permitem caracterizar o modo de utilização do equipamento e relacionar os resultados com os dados adquiridos pelo datalogger.

4.2.2.2. Inquérito sobre o desperdício alimentar obtido na semana de teste

No segundo inquérito pretende-se analisar o desperdício alimentar realizado pelos estudantes na semana de teste. O inquérito é dividido em 4 questões, respeitantes à quantidade e possíveis motivos do desperdício alimentar, o número médio de vezes que abriu a porta do frigorífico e também uma avaliação ao modo como usou o frigorífico ao longo da semana de teste.

Tal como no caso das respostas ao 1º inquérito, de seguida apresenta-se a compilação e análise dos resultados.

- Ao longo da semana de teste, como avalia o desperdício alimentar em sua casa?

O objetivo desta questão reside na avaliação do desperdício alimentar existente nas habitações dos estudantes. Ao analisar os dados obtidos e representados na figura 4.19 pode-se concluir que ao longo das semanas de teste não existiu um desperdício alimentar elevado. Apenas 10% dos inquiridos considerou que o desperdício alimentar existente na sua habitação foi considerável. Das respostas obtidas para esta questão, pode-se concluir que na maioria dos casos o desperdício alimentar existente nos alojamentos da comunidade estudantil da UBI foi reduzido, tendo sido pequena a percentagem de casos em que o desperdício alimentar foi considerável.

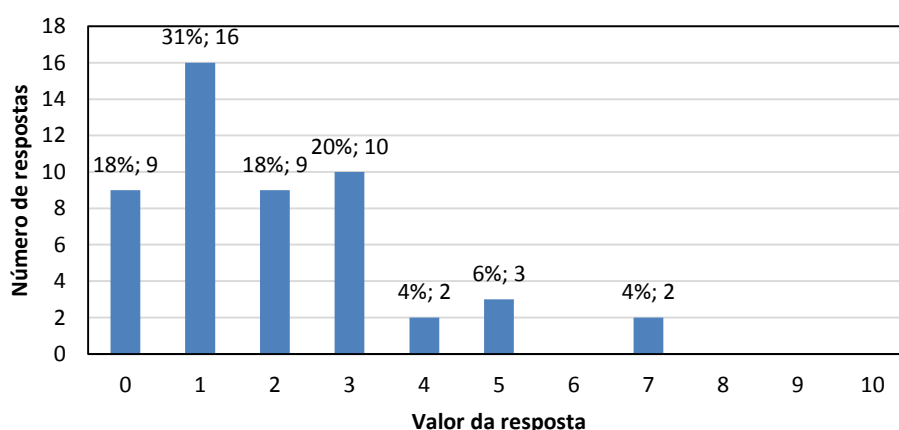


Fig. 4.19 - Avaliação do desperdício alimentar existente ao longo da semana de teste (legenda: 0 - Nulo, 10 - Elevado).

- Qual acha que foi o principal motivo do desperdício alimentar existente?

As respostas a esta questão por parte dos estudantes estão representadas na figura 4.20. Pode-se concluir que 82% inquiridos apresentaram opiniões diversas como justificação para a ocorrência de desperdício alimentar. 25% dos inquiridos considerou que este se deveu à passagem do prazo de validade dos bens, 27% dos inquiridos assumiu má gestão dos alimentos ou má gestão na preparação das refeições que conduziu a desperdício alimentar. 10% dos inquiridos indicou que o esquecimento de comida no frigorífico e consequente degradação motivou a existência de desperdício alimentar, entre outros motivos.

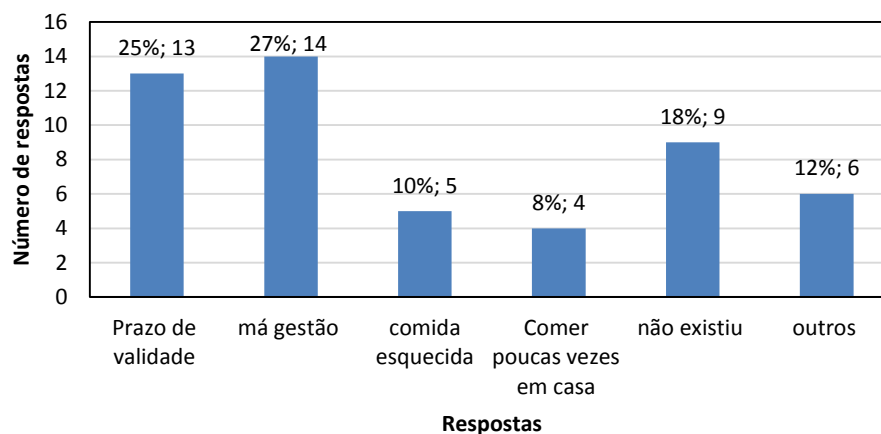


Fig. 4.20 - Motivos para o desperdício alimentar existente.

- Em média quantas vezes abriu a porta num dia?

Cada estudante considerou em média o número de vezes que abriu a porta do frigorífico. Embora os amplitude de vezes que a porta do frigorífico é aberta, pela análise da figura 4.21, pode-se concluir que 48% dos inquiridos indica 10 a 20 aberturas da porta do frigorífico diariamente. Da análise a esta questão pode-se concluir que a maioria dos estudantes não tem maus hábitos no que toca à abertura da porta do frigorífico. Porém, alguns estudantes precisam de mudar alguns comportamentos para evitar a abertura em demasia da porta do equipamento.

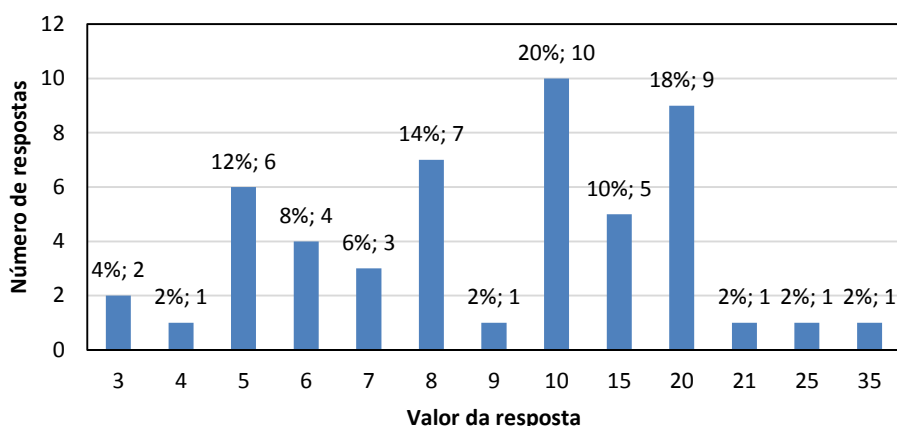


Fig. 4.21 - Número de vezes que a porta do frigorífico é aberta num dia.

- Como avalia a forma como usou o frigorífico ao longo da semana de teste?

Nesta questão, tal como na que foi realizada no primeiro inquérito, o objetivo reside em avaliar o comportamento dos estudantes quanto ao uso do frigorífico. Neste 2º inquérito a questão está direcionada para a semana de teste. Ao analisar a figura 4.22 pode-se chegar a conclusão que 91% dos inquiridos indica ter utilizado o frigorífico de forma correta. Da análise a esta questão pode-se concluir que apenas uma pequena percentagem de estudantes considera ter utilizado o frigorífico de forma negativa. A grande maioria, provavelmente também devido à consciencialização já providenciada por este estudo, considera ter utilizado o equipamento de uma forma positiva.

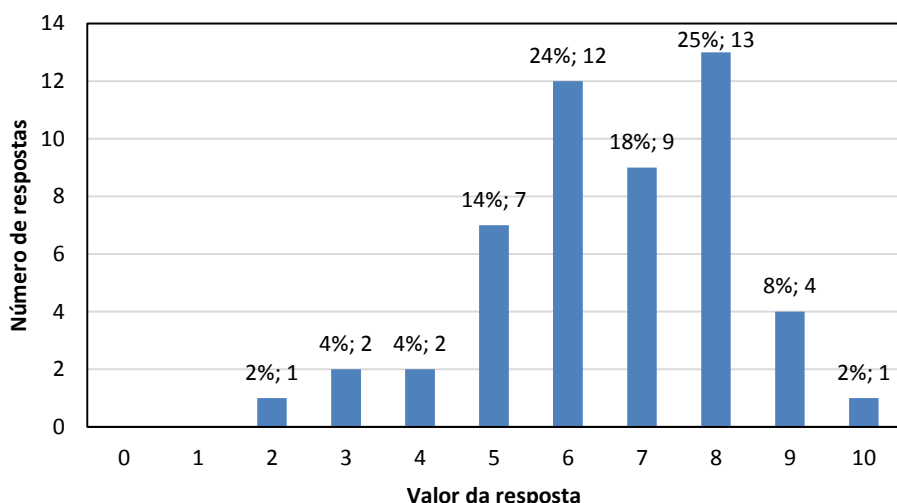


Fig. 4.22 - Modo de utilização do equipamento ao longo da semana de teste (legenda: 0 - Pésimo, 10 - Excelente).

A realização deste inquérito pretendeu em 1º lugar avaliar o comportamento dos indivíduos de teste, no sentido de avaliar se a consciencialização providenciada pelo estudo experimental, permitiu a mudança de hábitos e a aplicação de boas práticas que conduzam a um melhor desempenho térmico do equipamento e menor desperdício alimentar.

4.2.3. Nota Conclusiva

Ao efetuar a análise de todos os resultados obtidos, os do desempenho térmico e das respostas aos inquéritos, pode-se chegar a algumas conclusões. Ao analisar a média global de temperaturas de conservação (ver figura 4.3) verifica-se, tal como já fora referido, que esse valor não se enquadra no intervalo de temperatura de conservação adequado, não tendo o desempenho térmico adequado. Uma das razões que leva a que isso aconteça é a utilização dos frigoríficos por parte dos estudantes, que ao analisar as respostas à 1ª pergunta do primeiro inquérito e à última questão do segundo inquérito (ver figuras 4.9 e 4.22), verifica-se que a maioria dos alunos considera que utiliza o frigorífico de uma forma muito boa. Contudo, se os estudantes utilizassem o frigorífico de forma adequada o desempenho térmico deste seria mais adequado do que é na realidade. Podemos ainda verificar que os estudantes não utilizam o equipamento de forma adequada através das questões 7 e 8 do primeiro inquérito (ver figuras 4.15 e 4.16), quando a maioria dos inquiridos responde que abre a porta do equipamento muitas vezes ao longo do dia e também que a abre sem necessidade real. Outra das razões que pode levar a que o desempenho térmico não seja o adequado é a forma como o estudante regula o setpoint do termostato, ao verificar a informação recolhida sobre o setpoint dos termostatos (ver figura 4.8) pode-se observar que a grande maioria dos estudantes regula o setpoint do seu termostato a um nível baixo, ou seja, a uma temperatura de conservação mais elevada. Se o estudante aumenta-se o nível a que regula o seu termostato faria com que a temperatura de conservação diminuísse e desta forma com que a média global de temperaturas por sua vez também diminuíssem.

Ao analisar os dados referentes ao desperdício alimentar, também se pode retirar algumas conclusões. A maioria dos estudantes, quando inquiridos sobre o modo como o seu equipamento conservava os alimentos, respondeu que o seu equipamento conservava os alimentos de forma muito boa (ver figura 4.10). Obteve-se ainda através da terceira pergunta do primeiro inquérito, que a maioria dos estudantes considera que o desperdício alimentar na sua habitação era reduzido (ver figura 4.11). Ao comparar estes resultados com os resultados da primeira resposta ao segundo inquérito, no qual se verifica que a maioria dos estudantes teve um desperdício alimentar reduzido na semana de teste (ver figura 4.19), conclui-se que os equipamentos conservam bem os alimentos e que os estudantes tentam evitar o desperdício alimentar ao máximo.

4.3. Análise dos resultados para partilha de alojamento

Nesta secção é realizada uma análise e discussão dos resultados tendo em consideração com quem e quantas pessoas o utilizador partilha o alojamento. Desta forma, os resultados de toda a amostra são divididos de 3 formas distintas, (1) se vive sozinho, (2) se vive em família, ou se (3) compartilha o alojamento por outros estudantes. Tal como no caso da análise geral

de resultados, procede-se a uma comparação dos valores médios, máximos e mínimos dos resultados experimentais ou de parâmetros obtidos a partir destes.

A forma como os resultados de toda a amostra é dividida, considerando as pessoas com quem o utilizador partilha o alojamento, encontra-se representado na figura 4.23. Pode-se verificar que a maioria dos estudantes da UBI partilha alojamento com outros estudantes (71%). Os restantes partilham o alojamento com membros da sua família ou residem sozinhos.

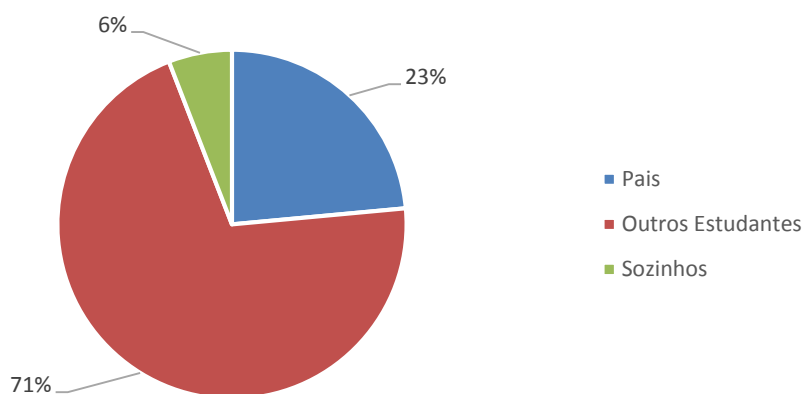


Fig. 4.23 - Distribuição dos estudantes consoante as pessoas com quem partilham o alojamento.

Na figura 4.24 são apresentadas os valores médios globais para cada uma das 3 formas de divisão da amostra, assim como os valores médios globais das temperaturas máximas e mínimas. Da análise da figura 4.24, verifica-se que os equipamentos que apresentam uma temperatura de conservação média mais baixa (0,41°C) são os estudantes que residem sozinhos. Os fatores que poderão conduzir a esta situação podem encontra-se relacionados com o menor número de vezes de abertura da porta do frigorífico visto tratar-se somente de um utilizador. De seguida, os frigoríficos dos estudantes que residem com os pais apresentam uma temperatura de conservação média mais elevada (5,61°C). Tipicamente, para os casos de estudo, uma família é constituída por 4 indivíduos. Por último, os equipamentos frigoríficos localizados nos alojamentos de estudantes que o compartilham com outros estudantes apresentam a temperatura de conservação média mais elevada (5,97°C). Esta situação decorre do alojamento poder ser compartilhado por mais do que 4 indivíduos e até mesmo os modos de organização das refeições e da distribuição de produtos alimentares dos diferentes inquilinos no equipamento pode influir neste valor elevado.

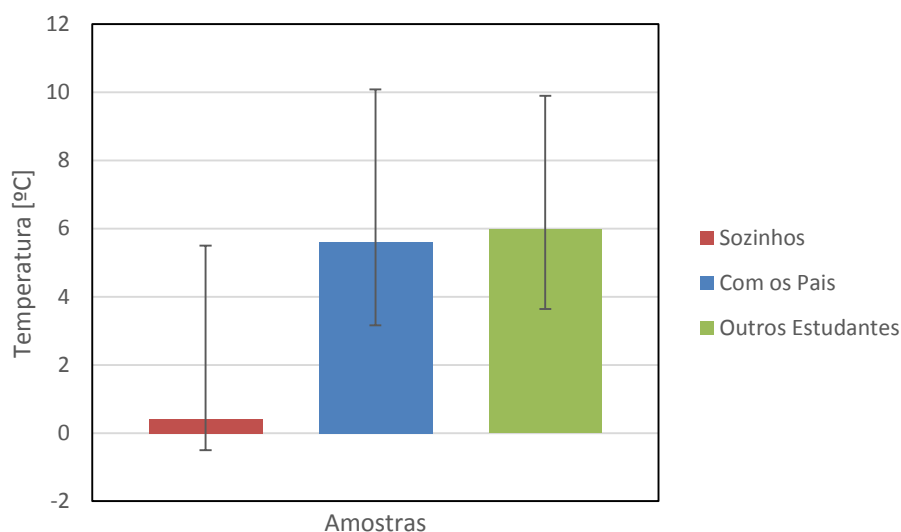


Fig. 4.24 - Valores globais médio, máximo e mínimo de temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste.

A análise realizada nesta secção é respeitante apenas aos estudantes que partilham alojamento com outros estudantes, pois trata-se da configuração de partilha mais usual assim como se retrata como a pior condição de desempenho térmico dado o valor mais elevado da temperatura de conservação média.

4.3.1. Análise dos resultados do estudo experimental - Partilha do alojamento como outros estudantes

Nesta secção, o estudo experimental do desempenho térmico residiu em 36 equipamentos ao longo do período de recolha de dados. Tal como na análise geral, os valores obtidos demonstram desempenhos térmicos que se enquadram nos valores de temperaturas a que os equipamentos devem operar. Porém, também existem alguns casos em que os valores obtidos se encontram fora do intervalo de temperaturas de conservação adequada. Nos casos em que a temperatura de funcionamento média do frigorífico se enquadra nos valores de temperatura nos quais deviam operar, existe quase sempre algum momento em que um valor de temperatura, por excesso ou por defeito, não se enquadra no intervalo de temperaturas que garantem a qualidade e segurança alimentar. Ainda, existem algumas situações em que a média da temperatura de conservação não se enquadra nos valores de temperatura em que o equipamento devia operar. Nestas situações, a maioria dos casos apresenta uma média de temperatura de conservação superior ao valor máximo admissível o que se reflete numa desadequada segurança alimentar do produtos. Porém, na maioria destas situações a média de temperatura de conservação não excede o valor máximo admissível por mais de 1,5°C. Posteriormente, os resultados obtidos são analisados comparativamente tendo em consideração as características do equipamento.

Na figura 4.24 estão representados os valores globais médio, máximo e mínimo da temperatura de conservação dos equipamentos dos casos de estudo onde existe partilha do

alojamento entre estudantes. O valor médio global da temperatura de conservação da amostra analisada nesta secção é 5,97°C. Este valor encontra-se aproximadamente 1°C acima do limite do intervalo desejado para o funcionamento desejado do equipamento. Cerca de 64% dos casos de estudo, analisados nesta secção, apresentam uma temperatura média de funcionamento superior à temperatura máxima média desejada, como se pode observar na figura 4.3.

Praticamente em todos os casos estudados existe algum momento em que um valor máximo de temperatura de conservação bastante superior ao limite superior de temperatura de conservação é atingido. Apenas um dos casos de estudo (A35) atinge um valor máximo de temperatura de conservação que se enquadra no intervalo de temperaturas no qual o frigorífico deveria operar. Na figura 4.25 está representada a variação da temperatura de conservação no equipamento de teste (A43) instalado no alojamento de um estudante que o compartilha com outros estudantes. Os resultados deste caso de estudo, são para esta categoria em análise, os que mais se aproximam do caso de estudo em que intervalo de temperatura garante a qualidade e segurança alimentar (A35). Neste caso, o intervalo de temperaturas adequado foi excedido por 0,5°C durante 1 hora num período de teste de 190 horas, o que não é significativo e não influencia a qualidade e segurança alimentar dos produtos.

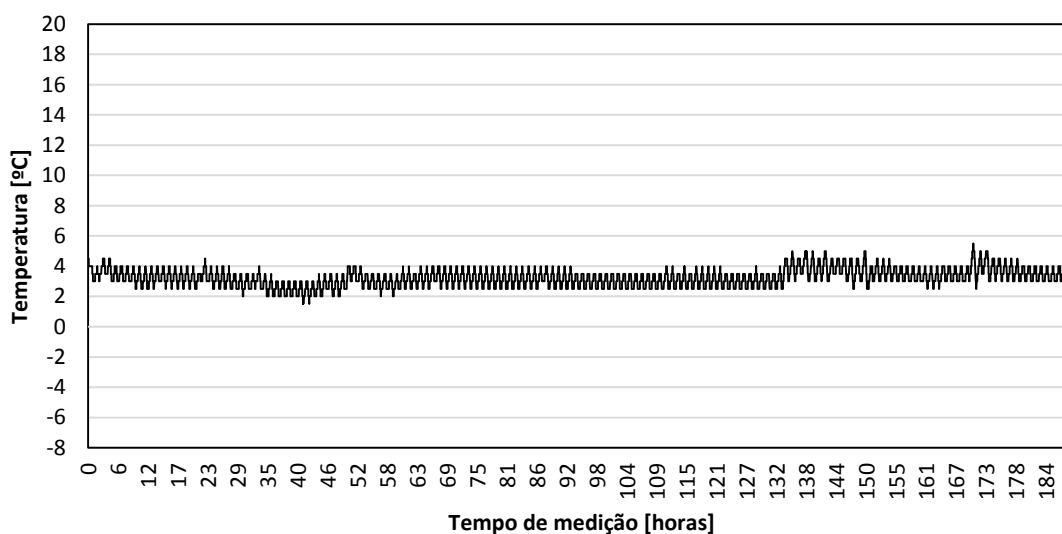


Fig. 4.25 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A43.

Nos 36 casos apresentados nesta secção existem valores máximos de temperatura muito distintos. Os equipamentos de teste atingiram em média uma temperatura máxima de 9,9°C. Todavia, existiram algumas situações de teste (casos de estudo A17 e A21) em que se atingiram valores de temperatura de conservação muito elevados, ultrapassando os 14°C. Na figura 4.26 é apresentado o caso do equipamento de teste A21 no qual se atingiu durante parte do período de teste (10 horas), um valor de temperatura de conservação máxima que ultrapassa o valor limite da adequada segurança alimentar.

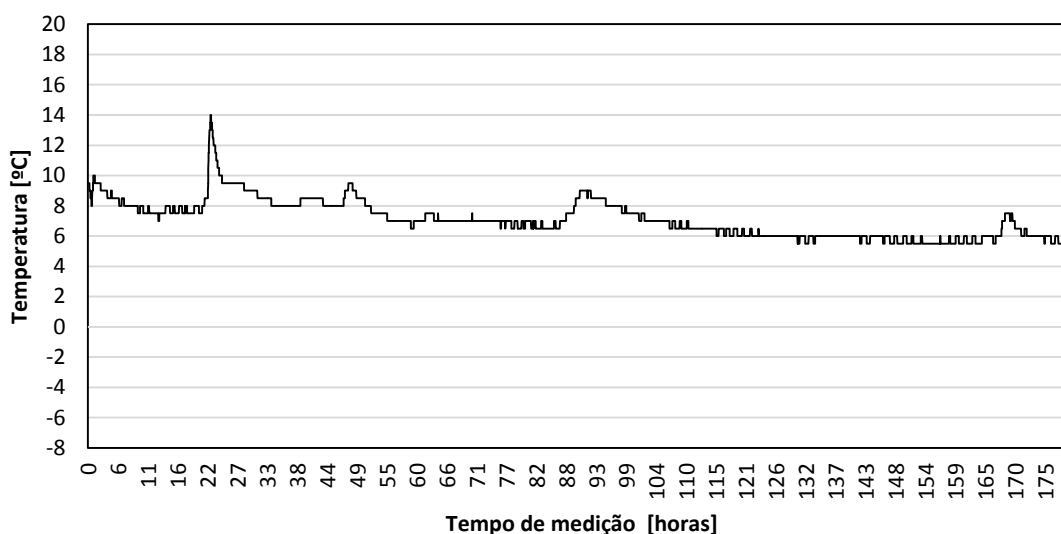


Fig. 4.26 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A21.

Dos valores anteriormente calculados podem ser retiradas algumas ilações que dizem respeito ao desempenho térmico dos equipamentos e respetiva utilização por parte dos utilizadores. Apesar da maioria dos casos de teste a temperatura máxima atingida ser superior à temperatura de conservação adequada para a segurança alimentar, existem algumas situações, aproximadamente 20% da amostra, em que a temperatura máxima atingida não excede de sobremaneira o intervalo de temperaturas em que os equipamentos devem operar. Contudo, a temperatura de conservação máxima atingida durante o período de medições encontra-se acima de 10°C para aproximadamente 33% da categoria da amostra (alojamento partilhado entre estudantes).

Do mesmo modo que o frigorífico atinge um valor máximo de temperatura de conservação decorrente do modo de utilização durante o período de teste, também atinge um valor mínimo de temperatura de conservação. Este valor está diretamente relacionado com o setpoint do equipamento e com a sua potência de refrigeração. Nos casos de estudo existem valores mínimos da temperatura de conservação bastante distintos, existindo nessa gama alguns casos em que a temperatura mínima obtida excede os limites mínimos e máximo do intervalo de funcionamento desejado para o equipamento.

A média dos valores mínimos da temperatura de conservação para esta categoria de partilha do alojamento é 3,6°C, como se pode verificar na figura 4.24. Este valor configura-se como um valor adequado para uma condição de refrigeração. Também nesta categoria existem exemplos de casos de teste em que a temperatura mínima de conservação é negativa, tal como o caso do equipamento A31, em que a temperatura mínima é de -2,5°C. Na figura 4.27 apresenta-se a variação de temperatura de conservação para o equipamento de teste A31. Este equipamento apresenta um funcionamento que leva a uma temperatura de conservação negativa atingida ao longo de grande parte do período de medição. O valor mínimo de -2,5°C apenas atingido no final do período de teste.

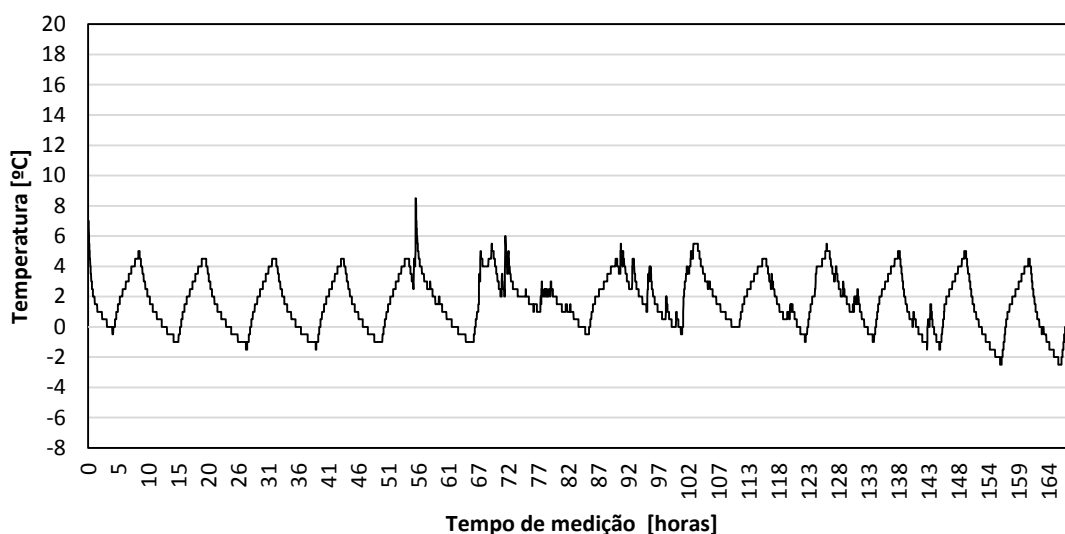


Fig. 4.27 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A31.

Nas situações em que a temperatura mínima atingida é negativa, embora a segurança alimentar seja garantida, a qualidade alimentar certamente não o é, devido à formação de cristais de gelo nos produtos alimentares que irão alterar as suas características organolépticas. Opostamente, o valor mínimo da temperatura de conservação é de 9,6°C no caso de estudo A30. Na figura 4.28 apresenta-se a variação da temperatura de conservação do equipamento de teste A30, no qual a temperatura de conservação providenciada pelo equipamento encontra-se durante todo o período de teste fora do intervalo de temperatura desejado. Tal como já fora indicado, o equipamento deste caso de estudo configura um risco elevado de segurança alimentar.

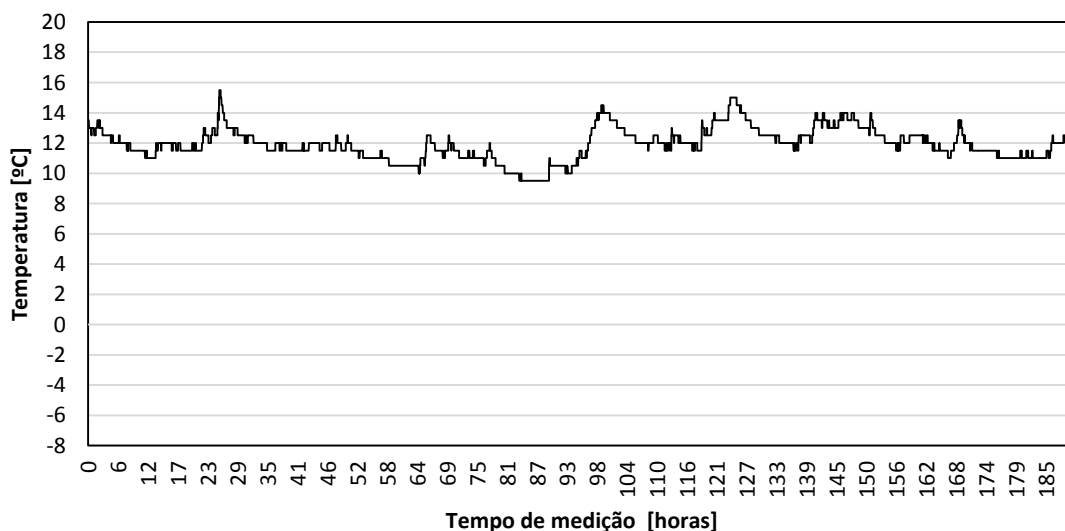


Fig. 4.28 - Variação da temperatura de conservação no equipamento de teste A30.

Nas situações acima exemplificadas (casos de teste A17, A21, A30, A31, A39 E A43), o intervalo entre os valores máximo e mínimo de temperatura chega a atingir um diferencial de 18°C. Tal como referido anteriormente, uma das condições que pode influenciar os valores de temperatura obtidos é a forma como o utilizador regula o termostato do frigorífico.

Dos valores anteriormente apresentados foram retiradas algumas ilações respeitantes a pequenas alterações de procedimento que podem ser efetuadas por parte dos utilizadores, para evitar que temperaturas de conservação tão baixas sejam atingidas. Novamente, e como já indicado apesar da conservação de alimentos a temperaturas demasiado baixas não comprometer a segurança alimentar, irá sem dúvida, comprometer a qualidade alimentar e contribuir para um provável aumento do desperdício alimentar. Aproximadamente 42% dos casos analisados nesta secção apresentam uma temperatura de conservação mínima fora do intervalo de temperaturas adequado à refrigeração de alimentos. Os valores que não se enquadram no intervalo podem ter uma temperatura mínima inferior ou superior aos valores limite do intervalo de temperaturas de funcionamento desejado.

4.3.2. Análise dos resultados dos inquéritos

Como já fora referido, os resultados dos inquéritos são uma parte importante deste estudo, pois permitem relacionar o desempenho térmico do equipamento com o modo de utilização e analisar o desperdício alimentar que de algum modo está ligado ao uso destes equipamentos.

Os valores obtidos das respostas aos inquéritos realizados permitem espelhar como é realizada, e eventualmente organizada, a utilização destes equipamentos por parte duma comunidade que habita em conjunto e que apenas é composta por estudantes. Procedimentos que vão desde a forma como os estudantes se organizam na realização de refeições, ao modo como efetuam as compras de produtos perecíveis com necessidade de refrigeração, entre outros, são relevantes na análise do desempenho térmico e na aferição do desperdício alimentar. Com o primeiro inquérito pretende-se obter o máximo de informação no que diz respeito à forma como os estudantes usam os frigoríficos da residência onde habitam. O objetivo do segundo inquérito residiu na recolha de informação no que diz respeito ao desperdício alimentar existente no período temporal da realização do teste experimental.

4.3.2.1. Inquérito sobre a utilização do equipamento frigorífico

Tal como anteriormente na análise da amostra total, o objetivo deste inquérito reside na recolha de informações adicionais respeitantes ao uso dos frigoríficos por parte dos estudantes da UBI, que partilham alojamento com outros estudantes. O inquérito encontra-se composto pelas questões expostas no guião que se encontra em Anexo.

Os resultados destes inquéritos por este caso particular dos estudantes que partilham o alojamento com outros estudantes já se encontravam espelhados na análise global. As distinções ocorrem na questão 3, em que o desperdício alimentar realizado pelos estudantes é reduzido, pois apenas 14% dos estudantes considera produzir níveis de desperdício

alimentar elevado. Assim, pode-se concluir que os estudantes, na sua maioria, tentam evitar o desperdício alimentar. O número de estudantes que assume produzir níveis de desperdício alimentar elevado é ainda assim inferior ao número de estudantes (20%) que forneceram esta resposta na análise global dos resultados dos inquéritos.

Na questão 4 relativa à forma como se organizam nas refeições principais (Almoço e Jantar), por comparação com os resultados da análise global, realça-se a redução significativa do número de estudantes que efetua as refeições todas em conjunto (de 49% para 36%). Esta condição deve-se maioritariamente aos estudantes que habitam com os pais não serem agora considerados para análise.

4.3.2.2. *Inquérito sobre o desperdício alimentar obtido na semana de teste*

O guião do segundo inquérito exposto em Anexo é utilizado. Este inquérito foi aplicado apenas à amostra dos estudantes que partilham o alojamento com outros estudantes durante a semana de teste. Novamente e por comparação com a análise global, pode-se concluir que os resultados a estas questões seguem na sua generalidade a tendência descrita na análise global.

4.4. *Análise consoante a faculdade à qual o estudante pertence*

Nesta secção é realizada uma análise e discussão dos resultados tendo em consideração a faculdade à qual o estudante pertence. Desta forma, os resultados de toda a amostra são divididos de 5 formas distintas: (1) Faculdade de engenharia, (2) Faculdade de ciências sociais, (3) Faculdade de ciências da saúde, (4) Faculdade de artes e letras e (5) Faculdade de ciências. Tal como a análise geral, esta consiste numa comparação dos valores médios, máximos e mínimos de resultados experimentais ou de parâmetros obtidos a partir destes.

A forma como os resultados de toda a amostra é dividida, considerando a Faculdade que o estudante frequenta, encontra-se representado na figura 4.29, onde se pode verificar que a maioria dos estudantes da UBI, inquiridos no âmbito desta dissertação, frequenta a Faculdade de engenharias (59%). Os restantes estudantes dividem-se pelas outras faculdades.

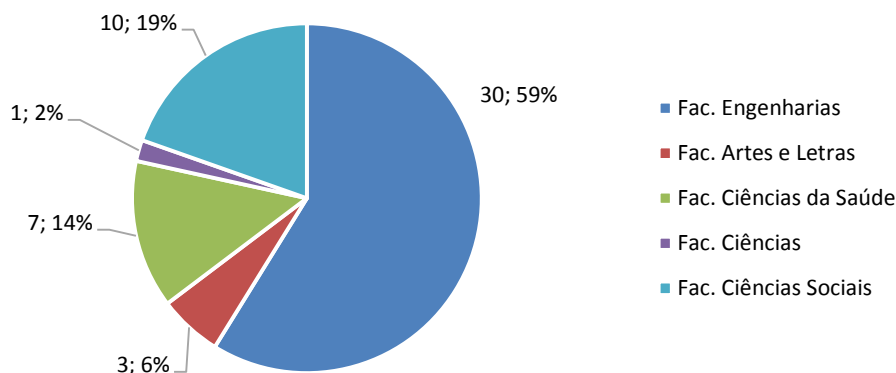


Fig. 4.29 - Distribuição dos estudantes consoante a faculdade que frequentam.

Na figura 4.30 são apresentadas os valores médios globais para cada uma das 5 faculdades existentes na UBI, assim como os valores médios globais das temperaturas máximas e mínimas.

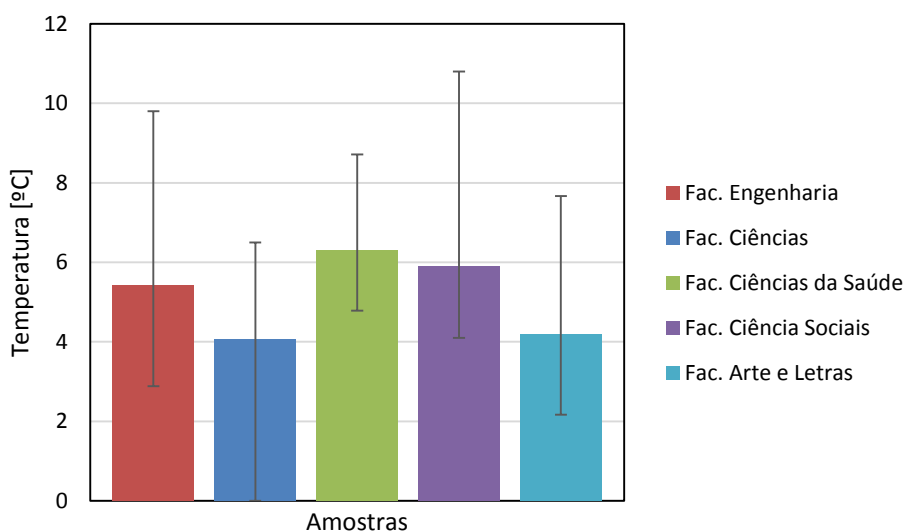


Fig. 4.30 - Valor médio de temperatura de conservação dos equipamentos que compõem a amostra de teste, divididos consoante a faculdade que frequentam.

A análise realizada nesta secção é apenas uma análise aos desempenhos térmicos dos equipamentos utilizados pelos vários estudantes pertencentes as diversas faculdades da UBI. Ao analisar a figura 4.30, pode-se verificar que o valor médio global da temperatura de conservação se enquadra nos limites do intervalo de funcionamento desejado apenas nos

casos de teste pertencentes às Faculdades de Ciências e Arte e de Letras, com temperaturas de 4,1°C e 4,2°C, respetivamente. Os casos de testes pertencentes às restantes faculdades apresentam uma média global de temperaturas de conservação que excede o valor de temperatura máximo desejado. Contudo, os valores médios globais de temperatura de conservação nos casos de estudo destas faculdades não excedem o limite máximo de temperatura desejada por um valor de temperatura muito elevado, tendo na pior situação excedido esse valor por 1,3°C. Daqui pode-se concluir que os frigoríficos na generalidade não apresentam um mau desempenho térmico.

Da análise à figura 4.30, ainda se pode concluir que os valores médios globais das temperaturas máximas de conservação, em nenhum dos casos de estudo das diferentes faculdades se encontram nos limites de temperatura desejados. Chegando na pior das situações a ser superior a 10°C. O caso de estudo cujo valor médio global de temperaturas máximas atingido foi menor pertence à faculdade de ciências, atingindo um valor médio global de 6,5°C. Daqui pode concluir-se que os valores médios globais de temperatura máxima atingida, provocam um risco muito elevado de segurança alimentar.

Opostamente, os valores médios globais da temperatura mínima de conservação que se registaram para nos casos de estudo de estudantes pertencentes às diversas faculdades, cumprem os requisitos de segurança alimentar dos produtos conservados no equipamento, pois estes valores enquadram-se na gama de valores de temperatura de conservação desejada. O caso no qual se verificou um valor médio global da temperatura mínima mais baixa foi num caso de estudo da faculdade de ciência, em que a temperatura mínima atingida foi 0°C. Já o caso de estudo em que este valor médio global de temperatura mínima de conservação mais elevado, foi para um caso de estudo da faculdade de ciências sociais em que atingiu 4,8°C. Daqui pode-se concluir, que a nível de temperatura de conservação mínima os equipamentos, na sua generalidade, cumprem os requisitos necessários para uma boa qualidade e segurança alimentar do equipamento.

É importante realçar que os casos de estudo com pior desempenho térmico pertencem a estudantes que frequentam cursos em faculdades onde os tópicos de segurança alimentar, desempenho térmico e eficiência energético são com certeza abordados no decorrer de várias unidades curriculares. O valor médio mais elevado da temperatura de conservação pertence aos casos de estudo de estudantes que frequentam a Faculdade de Ciências da Saúde. Tópicos de segurança e qualidade alimentar são com certeza abordados nos cursos oferecidos nesta faculdade. Situação similar sucede com os casos de estudo de estudantes que frequentam a Faculdade de Engenharias. Tópicos de desempenho térmico e eficiência energética são aflorados em unidades curriculares pertencentes aos cursos oferecidos nesta faculdade. Os casos de estudo de estudantes que frequentam cursos oferecidos pelas Faculdades de Ciências e Arte e de Letras são os que apresentam um melhor desempenho térmico. Estes resultados vão exatamente em sentido contrário do que seria expectável face aos conhecimentos e sensibilidade a estas temáticas pelos alunos destas faculdades.

4.5. Notas conclusivas

Ao analisar os vários resultados de estudos semelhantes ao realizado [3, 15], pode-se retirar algumas conclusões. Os dados de todos os estudos analisados para comparação encontram-se apresentados na figura 4.31.

Ao analisar os dados da figura 4.31, pode-se concluir que de todos os estudos analisados, apenas 3 dos casos (UK (2014), Nova Zelandia e Malásia) tem valores médios globais de temperatura de conservação superiores aos valores adequados. Quando se compara o valor médio global de temperatura de conservação no presente estudo com os restantes estudos analisados, verifica-se a sua semelhança, tendo até um valor médio global de temperatura inferior à maioria dos estudos apresentados.

Ao analisar as médias dos valores de temperatura máxima, pode-se concluir que em nenhuma das situações esse valor se encontra no intervalo de temperaturas adequado. A maioria dos casos tem uma temperatura máxima que varia entre 10°C e 15°C. Contudo, existem 3 excepções a esse intervalo, duas das quais (Malásia e UBI) tem uma temperatura máxima inferior a 10°C e a outra (Irlanda) que tem um valor de temperatura máxima superior a 15°C.

No caso dos valores médios de temperaturas mínimas, pode-se verificar que existem duas situações (Nova Zelandia e UBI) em que o valor de temperatura se encontra no intervalo de temperaturas desejado. Os restantes não se enquadram nos valores de temperatura desejado, sendo os seus vaores negativos.

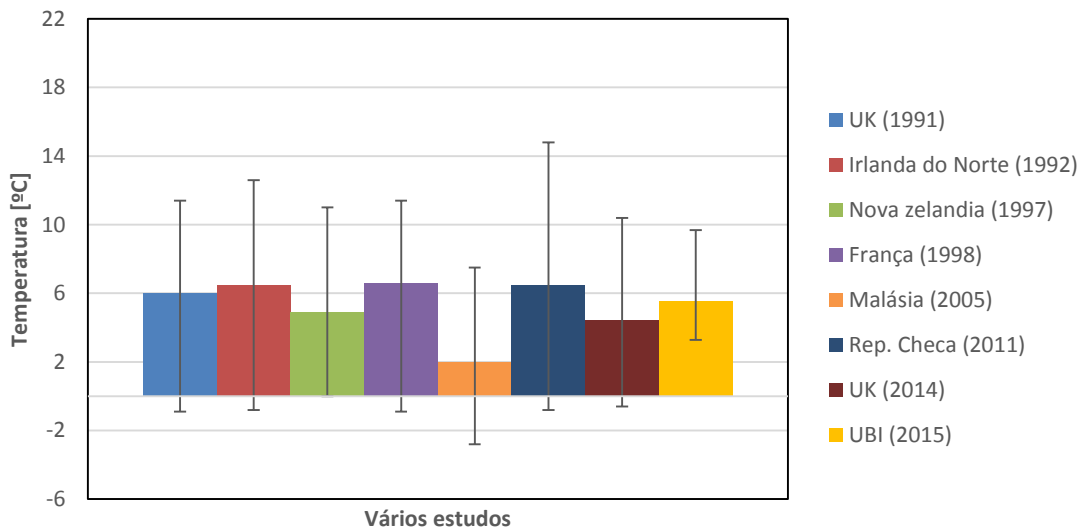


Fig. 4.31 - Comparação dos valores médios, máximos e mínimos de temperatura de conservação para distintos estudos.

Ao comparar o presente estudo com os restantes analisados, pode-se concluir que o desempenho dos equipamentos que compõem a amostra deste estudo não tem um desempenho térmico muito diferente, existindo até situações em que o presente estudo demonstra um melhor desempenho térmico.

5. Conclusões

5.1. Introdução

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um estudo experimental do desempenho térmico dos frigoríficos utilizados pela comunidade estudantil da UBI, a fim de comparar o desperdício alimentar existente com o desempenho térmico destes equipamentos. Os valores do desempenho térmico são obtidos através da recolha de dados com um datalogger, enquanto os restantes dados inerentes a realização do presente trabalho são conseguidos através da realização de dois inquéritos distintos. Assim, com base nos valores do desempenho térmico e com os dados das respostas dos inquéritos, é possível conhecer se a razão do desempenho térmico não ser o adequado é decorrente do equipamento ou da má utilização por parte dos utilizadores.

Neste capítulo são apresentados os principais contributos no ponto de vista da melhoria do desempenho térmico destes equipamentos. Por outro lado, são realizados alguns esclarecimentos sobre assuntos de menor conhecimento.

5.2. Contribuições do trabalho

A importância dos frigoríficos domésticos é já conhecida, pois a conservação pelo frio reduz a taxa de reprodução e a ação dos micro-organismos e enzimas. Tendo em consideração o peso da refrigeração de bens alimentares a nível doméstico, é necessário que exista um controlo do desempenho térmico dos equipamentos por parte dos seus utilizadores, para garantir a qualidade e segurança alimentar. Contudo, verifica-se que o controlo de temperaturas de conservação por parte dos estudantes da UBI é raro, e que estão pouco informados no que toca às temperaturas de conservação adequadas, sendo estes valores de temperatura cruciais para garantir a qualidade e segurança alimentar.

O estudo realizado teve como base a recolha de valores de temperatura ao longo de um período variável (7 a 11 dias), destinado à análise de informação do desempenho térmico dos equipamentos utilizados por esta comunidade (51 casos deteste), em conjunto com os dados das respostas dadas aos inquéritos. Aos valores de temperaturas obtidos foi realizada uma análise (determinação dos valores médios, máximos e mínimos de temperatura de conservação). De seguida, foram determinadas as médias globais dos dados de toda a amostra, valores sobre os quais incidiu a análise e discussão de resultados.

A análise realizada incidiu sobre os valores médios globais, tendo também sido analisados os casos mais prejudiciais para a qualidade e segurança alimentar, ou seja, as situações em que a temperatura de conservação atingida, por excesso ou defeito, tem uma diferença muito grande com os valores da gama de temperaturas que garantem a qualidade e segurança alimentar.

O estudo realizado permitiu observar que os frigoríficos utilizados pela comunidade estudantil da UBI, na sua generalidade não têm um desempenho térmico adequado. Os valores médios globais de temperatura de conservação atingiram um valor de 5,53°C. No caso dos valores médios globais das temperaturas mínimas e máximas, foram obtidos valores de 3,28°C e 9,28°C, respetivamente. Destes valores, apenas os valores globais das temperaturas mínimas se enquadram nos valores de conservação adequada. Com as repostas dos inquiridos chegou-se a conclusão de que os estudantes, na sua maioria, consideram utilizar o equipamento de forma muito boa. Porém, quando questionados sobre a quantidade de vezes que abrem a porta do equipamento, a maioria respondeu que abria a porta muitas vezes sem existir necessidade, o que prejudica o desempenho térmico do equipamento. Em alguns casos de teste, a média de temperaturas de conservação foi alta. Contudo, os utilizadores na sua maioria regula o termostato do equipamento num valor perto do valor mínimo, o que corresponde a uma temperatura de conservação superior à desejada. Desta forma, pode-se concluir que o desempenho térmico global, apesar de não se enquadrar nos valores de temperatura desejado por uma margem muito pequena (0,53°C), deve-se em grande parte à utilização defeituosa dos utilizadores. A forma de melhorar esta situação reside na informação e consciencialização dos utilizadores sobre os pontos negativos que eles cometem e quais as formas como podem corrigi-los para melhorar o desempenho térmico dos seus equipamentos de modo a garantir os valores de temperatura adequados para uma boa qualidade e segurança alimentar.

No que toca ao desperdício alimentar existente, verificou-se uma grande consensualidade por parte dos estudantes, sendo que a maioria tenta evitar ao máximo o desperdício alimentar, tendo verificado níveis de desperdício alimentar reduzidos ao longo da semana de teste. Estes resultados vão de encontro a forma como os estudantes avaliaram a conservação alimentar por parte dos seus equipamentos, tendo a maioria considerado que os equipamentos conservam os alimentos de forma muito boa.

Quando os resultados do desempenho térmico foram comparados com resultados de estudos semelhantes realizados em diversos países, pode-se observar que os valores obtidos para o presente trabalho são muito semelhantes aos outros estudos, tendo até valores médios de temperatura de conservação mais próximos dos adequados do que a maioria dos restantes estudos. Apesar do desempenho térmico não ser o adequado, os valores médios de temperaturas de conservação não têm uma diferença de temperatura muito grande para com o intervalo de valores desejado, podendo-se alterar essa tendência com mudanças de comportamentos por parte dos utilizadores, o que traria uma melhoria do desempenho térmico e por consequência um aumento na qualidade e segurança alimentar.

5.3. Sugestões de trabalhos futuros

Nesta secção são apresentados um conjunto de aspectos relacionados com o presente estudo e que futuramente poderão vir a ser objeto de investigação.

O estudo realizado no presente trabalho é de grande importância, pois com ele obteve-se uma perspetiva do desempenho térmico dos frigoríficos utilizados por uma determinada comunidade, permite ainda relacionar esse desempenho térmico com a forma como os utilizadores usam o seu equipamento e como o regulam. Posteriormente, é permitido relacionar o desperdício alimentar existente com o desempenho térmico dos seus equipamentos.

Porém, apesar do contributo deste estudo ser importante para a comunidade é necessário que este não se restrinja a uma determinada comunidade e sim que seja realizado o mesmo tipo de estudo em outras comunidades. Deste modo seria possível correlacionar os resultados obtidos dependendo da comunidade onde o estudo foi realizado, podendo então estudar-se o comportamento das diversas comunidades em relação à forma como utilizam o frigorífico e também ao conhecimento da importância destes equipamentos para a saúde pública. Seria importante que os estudos realizados às diversas comunidades não se restringem-se apenas à zona onde o presente estudo foi realizado (Covilhã), mas sim que se estende-se a nível nacional, para analisar quais os comportamentos dos utilizadores assim como os desempenhos térmicos dos equipamentos nas várias zonas do país. Podendo também adicionando variáveis de análise, como por exemplo a temperatura ambiente, zona da divisão onde o equipamento se situa relativamente à janela, porta da divisão, ou parede exterior do edifício, entre outras.

Outro aspeto que seria importante de adicionar a futuros estudos semelhantes ao realizado no presente trabalho, seria a recolha de dados relativos à corrente consumida pelos equipamentos. A aquisição de dados seria realizada através de uma pinça amperimétrica. A partir deste valor seria possível calcular o consumo energético do equipamento, para que posteriormente se correlacionar esse valor com os valores do desempenho térmico dos equipamentos.

Para além de se realizarem estudos semelhantes nas diversas comunidades espalhadas a nível nacional, outro ponto que seria importante acrescentar ao estudo e que traria muito mais informação sobre o desempenho térmico destes equipamentos seria a colocação de um sensor de temperatura, não só no compartimento refrigerante, mas também no compartimento de congelação, para que se obtenha um estudo do desempenho térmico do equipamento mais complexo.

6. Referências bibliográficas

- [1] Bansal, P., Vineyard, E., Abdelaziz, O. (2010). *Advances in household appliances - A review*. Applied Thermal Engineering, vol. 31, pp. 3748-3760.
- [2] *Parliament calls for urgent measures to halve food wastage in EU*. (2012).
- [3] James, S.J., Evans, J., James, C. (2008). *A review of the performance of domestic refrigerators*. Journal of Food Engineering, vol. 87, pp. 2-10.
- [4] in Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico. Porto: Porto Editora, 2003-2015. Disponível na Internet: [http://www.infopedia.pt/\\$frigorifico](http://www.infopedia.pt/$frigorifico). [consultado em 2015-03-18]
- [5] Dinçer, I., Kanoglu, M. (2010), *Refrigeration systems and applications*, Segunda Edição, John Wiley & Sons Ltd.
- [6] Duarte, M. (2013). *Estudo da bomba de calor - Fluidos de trabalho e eficiência energética*. Dissertação em Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior.
- [7] Melo, C. (2011). *Uso de refrigerantes alternativos em refrigeração doméstica e equipamentos compactos de refrigeração comercial*. Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado - Artigos Técnicos, Publicado pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Brasileiro, pp. 45-56.
- [8] Radermacher, R., Kim. K. (1996). *Domestic refrigerators: recent developments*. International Journal of Refrigeration, vol. 19, pp 61-69.
- [9] Marques, C., Davies, G., Maidment, G., Evans, J., Wood, I. (2013). *The use of phase change materials in domestic refrigerator applications*. The Institute of Refrigeration.
- [10] Azeveso, I. *et al* (2005). *Incidence of Listeria spp. In domestic refrigerators in Portugal*. Food Control, vol, 16, pp 121-124.
- [11] Çengel, Y.A. & Boles, M.A. (1989). *Thermodynamics: an engineering approach*. New York, McGraw-Hill.
- [12] *Jornal Oficial nº L 297 de 13/10/1992 p. 0016 - 0019*.
- [13] *Diário da República, 1.ª série – N.º 89 – 9 de Maio de 2011*.
- [14] *REGULAMENTO DELEGADO (UE) N.º 1060/2010 DA COMISSÃO de 28 de Setembro de 2010 que complementa a Diretiva 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita à rotulagem energética dos aparelhos de refrigeração para uso doméstico*. (2010). Jornal Oficial da União Europeia.

- [15] Evans, J. A., Foster, A. M., Brown, T. (2014). *Temperature control in domestic refrigerators and freezers*. In Proc. 3rd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain. London, UK, June 23-25.
- [16] Laguerre, O., Derens, E., Palagos, B. (2002). *Study of domestic refrigerator temperature and analysis of factors affecting temperature: a French survey*. International Journal of Refrigeration, vol. 25, pp. 653-659.
- [17] Geppert, J. & Stamminger, R. (2013). *Analysis of effecting factors on domestic refrigerators' energy consumption in use*. Energy Conversion and Management, vol. 76, pp. 794-800.
- [18] Lova, W. Y., Janib, R., Halimc, H. A., Aliasb, A. A. & Moyd, F. M. (2016). *Determinants of food hygiene knowledge among youths: A cross-sectional online study*. Food Control, vol. 59, pp. 88-93.
- [19] Hassana, H. F. & Dimassib, H. (2014). *Food safety and handling knowledge and practices of Lebanese university students*, Food Control, vol. 40, pp. 127-133.
- [20] Zhang, C. & Lian, Y. (2014). *Conjugate heat transfer analysis using a simplified household refrigerator model*. International Journal of Refrigeration, vol. 45, pp. 210-222.
- [21] Cheng, W. & Yuan, X. (2013). *Numerical analysis of a novel household refrigerator whit shape-stabilized PCM (phase change material) heat storage condensers*. Energy, vol. 59, pp. 265-276.
- [22] Hammond, E. C., Evans, J. A. (2014). *Application of vaccum insulation panels in the cold chain - Analysis of viability*. International Journal of Refrigeration, vol. 47, pp. 58-65.
- [23] Santos, G.E.O. Cálculo amostral: calculadora on-line. Disponível em: <http://www.calculadoraamostral.vai.la>. [consultado em 2014-11-06].
- [24] Pocinho, M. (2009). *Teoria e exercícios passo-a-passo*. Disponível em: docentes.ismt.pt/~m_pocinho/calculo_de_amostras_teorias.pdf. [consultado em 2014-11-06].
- [25] Kresyszig, E. (2006). *Advanced Engineering Mathematics*, 9ª Edição, John Willey & Sons, Inc.
- [26] Rumsey, D.J. (2011). *Statistcs For Dummies*, 2nd Edition.
- [27] Chagas, J. A. C. (2006). *Projeto e construção de câmaras frigoríficas*. YORK Refrigeration. Joinvile/ SC.
- [28] Griffith, B., Arasteh, D. (1995). *Advanced insulations for refrigeration/freezers: the potential for new shell designs incorporating polymer barrier construction*. Energy and Buldings, vol. 22, pp. 219-231.
- [29] The Freedonia Group (2014). *World Major Household Appliances*. Pag. 5.
- [30] Yoon, W. J. Y., Kookjeong, S., Yongchan, K. (2013). *Development of an optimization strategy for insulation thickness of a domestic refrigerator-freezer*. International Journal of Refrigeration, vol. 36, pp. 1162-1172.

7. Anexos

1º Inquérito

- Como avalia o modo como utiliza o seu frigorífico?
Péssimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Excelente
- De que forma avalia o modo o seu frigorífico conserva os alimentos-?
Péssimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Excelente
- De que forma classificaria o desperdício alimentar em sua casa?
Inexistente 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Elevado
- Em sua casa de que forma se organizam nas refeições principais (Almoço e Jantar)?
 - Cada um por si
 - Vários Grupos
 - Todos em conjunto
- Se respondeu vários grupos, indique quanto.
 - 2
 - 3
- De que forma acha que o seu equipamento afeta o seu consumo energético
Pouco 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muito
- Em sua casa o frigorífico é aberto muitas vezes?
 - Sim
 - Não
- Se considera que abriu a porta do frigorífico muitas vezes, acha que foram todas necessárias?
 - Sim
 - Não
- Ao longo do ano, quantas vezes alterou o termostato do equipamento?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
- Quantas pessoas utilizam o frigorífico diariamente?
1 2 3 4 5 6 7 8

2º Inquérito

- Ao longo da semana de teste, como avalia o desperdício alimentar em sua casa
Nulo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Elevado
- Qual acha que foi o principal motivo do desperdício alimentar existente?

- Em média quantas vezes abriu a porta num dia?

- Como avalia a forma como usou o frigorífico ao longo da semana de teste?
Péssimo 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Excelente