



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Liliana Isabel Fragoso Ribeiro

IDENTIFICAÇÃO DE RECURSOS NO LADO DA PROCURA PARA FORNECIMENTO DE SERVIÇOS DE SISTEMA

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores,
Área de Especialização em Energia

Julho de 2015



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Universidade de Coimbra

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Identificação de recursos no lado da procura para fornecimento de Serviços de Sistema

Liliana Isabel Fragoso Ribeiro

Orientador

Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Presidente do Júri

Professor Doutor Mário João Simões Ferreira dos Santos

Vogal

Professor Doutor Tony Richard de Oliveira de Almeida

Coimbra, 2015



Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Especialização em Energia

Identificação de recursos no lado da procura para fornecimento de
Serviços de Sistema

Liliana Isabel Fragoso Ribeiro

Orientador: Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

*If I have seen further,
it is by standing on the shoulders of Giants.*
- Isaac Newton

Agradecimentos

Todo o trabalho desenvolvido em torno da presente dissertação representa o culminar de uma etapa de cinco anos.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda admiração e deixar um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes. Desde a decisão do tema de tese ao debate de ideias no decorrer desta, passando pela confiança depositada e pela total disponibilidade de recursos necessários à conclusão deste trabalho, a realização deste trabalho só foi possível graças à sua constante orientação.

Em segundo lugar, não poderia deixar passar a oportunidade de agradecer a todos os Professores do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores por todo o conhecimento que me transmitiram ao longo destes cinco anos.

Em terceiro lugar, agradeço aos meus pais e irmã. O apoio incondicional ao longo destes anos tem sido um dos maiores e melhores suportes que poderia ter.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus colegas e amigos. O apoio, os momentos de convívio e descontração tiveram um papel muito importante ao longo destes cinco anos.

A todos, muito obrigada.

Liliana Ribeiro

Resumo

A procura tem adquirido um protagonismo crescente no funcionamento dos Sistemas de Energia Elétrica. Incentivada por preços da energia variáveis ao longo do tempo ou por outros incentivos monetários diretos, a procura tem adquirido um comportamento cada vez mais reativo, permitindo benefícios quer para o consumidor quer do ponto de vista da rede.

Nesta perspectiva, tem sido estudada a possibilidade da procura participar de forma ativa na operação dos Sistemas através do fornecimento de serviços essenciais ao seu bom funcionamento.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, lecionada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, no ano letivo 2014/2015, tendo como objetivo a identificação de recursos do lado do utilizador final para fornecimento de Serviços de Sistema. Tal identificação foi possível com o desenvolvimento de uma ferramenta em *MATLAB* que permitiu simular o funcionamento de grupos de cargas de frio alimentar doméstico em situações normais e com a aplicação de ações de gestão da procura. Este modelo permitiu uma análise em termos de potência (diagramas de carga), tempos de resposta às diversas ações e impacto das ações na qualidade do serviço fornecido pelo equipamento, isto é, a temperatura interior. Assim, este trabalho permitiu concluir acerca do impacto que as diferentes ações de gestão da procura podem ter no funcionamento deste tipo de cargas, quer em termos de potência pedida à rede, quer em termos da qualidade do serviço por estes prestado. Importa realçar que este trabalho revela-se fundamental na avaliação prévia das ações, prevenindo impactos negativos da sua aplicação.

Palavras-chave: Serviços de Sistema, *Demand Response*, Frio Alimentar Doméstico, Modelos Fisicamente Baseados, Gestão da Procura.

Abstract

The demand for electrical energy is facing an increasing importance in the operation of Electrical Systems. The demand response has been actively reacting to the incentives of electrical energy with time based prices or other direct monetary incentives, which contributes to benefits for both the consumers and grid operation.

From this point of view, the possibility of an active participation of the demand in the operation of Electrical Systems has been studied.

This work was developed under the scope of the Integrated Master Thesis in Electrical and Computer Engineering, presented in the Electrical and Computer Engineering Department of the Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra, during the academic year 2014/2015. The aim of this work is to identify resources from the end user perspective to provide Ancillary Services. This identification was possible with the development of a MATLAB tool which simulates the operation of domestic cold storage groups in normal situations and with the application of demand-side management actions. This model provides an analysis of power (load diagram), response times to several actions and impact of the actions in the service quality provided by the equipment, i.e., inside temperature. Therefore, this work allowed to conclude about the impact of different demand-side management actions in this type of loads, in what concerns the power demand to the network or in terms of the service quality provided by these equipments. It is important to focus how this work is essential for the evaluation of previous actions, preventing negative impacts of their application.

Keywords: Ancillary Services, Demand Response, Domestic Cold Storage, Physically Based Model, Demand-Side Management.

Conteúdo

Abreviaturas	xii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Estrutura da dissertação	2
2 Mercados e Serviços de Sistema	3
2.1 O Setor Elétrico	3
2.2 Modelos de Mercado	4
2.3 Exemplos de Mercados de Electricidade	5
2.3.1 Mercado Ibérico de Electricidade, MIBEL	5
2.3.2 <i>Nordic Power Exchange, NordPool</i>	6
2.3.3 <i>New York Independent System Operator, NYISO</i>	6
2.4 Serviços de Sistema	7
3 Demand Response	11
3.1 Programas de <i>Demand Response</i>	11
3.2 Participação de Cargas em Serviços de Sistema	12
3.3 Barreiras ao uso de cargas como Serviços de Sistema	15
3.4 Modelos Fisicamente Baseados	17
3.4.1 Frio Alimentar Doméstico	18
3.4.2 Modelo de Grupo de Cargas	20
3.4.3 Análise de Sensibilidade	23
4 Caracterização do Impacto de Ações de Gestão da Procura	29
4.1 Impacto da alteração do valor de referência do termóstato ao longo de um dia	30
4.2 Caracterização do impacto de ações de controlo direto	33
4.3 Ações várias de reparametrização do termóstato	37
4.3.1 Manipulação do limite superior e inferior de temperatura do termóstato	37
4.3.2 Manipulação do limite superior de temperatura do termóstato	41
4.3.3 Manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato	43

4.4	Comparação das diferentes ações de gestão da procura implementadas	47
5	Caso de Estudo	51
6	Conclusões e Trabalho Futuro	53
	Bibliografia	55
A	Qualidade de Serviço em Conservação pelo Frio	1
B	Análise do Tempo de Estabilização	5
C	Tabelas resultantes da análise de sensibilidade	7
D	Tabelas Resumo das Equações das Retas de Tendência	23
E	Tabelas resultantes da ação de controlo direto	27
F	Tabelas resultantes da manipulação do limite superior e inferior de temperatura do termóstato	40
G	Tabelas resultantes da manipulação do limite superior de temperatura do termóstato	45
H	Tabelas resultantes da manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato	50
I	Caracterização dos Grupos para o Caso de Estudo	55

Lista de Figuras

2.1	Modelo desagregado do sector eléctrico [4].	4
2.2	NordPool - exemplificação [9].	6
2.3	Comparação dos sistemas europeu e americano e o tempo de resposta [16].	8
3.1	Interligação numa Smart Grid [21].	12
3.2	Categorias de Cargas de acordo com o grau de controlo e consumo anual de electricidade [22].	14
3.3	Esquema da parede do equipamento de Frio Alimentar Doméstico (FAD) [26].	19
3.4	Crescimento microbiano ao longo do tempo, a uma temperatura de 37°C [27].	20
3.5	Fluxo de dados do modelo.	21
3.6	Fator de Coincidência em função da temperatura ambiente num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), tendo ambos os equipamentos uma espessura de isolamento de 0,04m e as temperaturas limite dos termóstato entre os -21°C e -19°C, no caso da congelação, e entre 4°C e 6°C, no caso da refrigeração.	24
3.7	Fator de Coincidência em função da espessura de isolamento num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), estando ambos os equipamentos a uma temperatura ambiente de 18°C e as temperaturas limite dos termóstato entre os -21°C e -19°C, no caso da congelação, e entre 4°C e 6°C, no caso da refrigeração.	26
4.1	Valores considerados para alguns dos parâmetros nas simulações realizadas para caracterização do grupo de combinado e de arca frigorífica.	30
4.2	Fator de Coincidência em função das temperaturas limite do termóstato num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), estando ambos os equipamentos a uma temperatura ambiente de 25°C e com uma espessura de isolamento de 0,04m.	31
4.3	Fator de Coincidência com a aplicação de um corte de 60 minutos numa arca frigorífica às 12h, a 18°C e com uma espessura de isolamento 0,05m.	33
4.4	Fator de Coincidência com a aplicação de um corte de 15 minutos num combinado às 12h (à esquerda) e num combinado às 6h (à direita), a 18°C e com uma espessura de isolamento 0,05m.	33
4.5	Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 25°C e com uma espessura de isolamento 0,06m. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.	38

4.6	Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 25°C e com uma espessura de isolamento 0,06m. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.	41
4.7	Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 18°C e com uma espessura de isolamento 0,04m. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.	44
4.8	Potência disponível por equipamento com a manipulação dos limites de temperatura do termóstato, às três temperaturas consideradas e espessuras de isolamento estudadas, estando o combinado à direita e a arca frigorífica à esquerda.	49
4.9	Potência disponível por equipamento com a aplicação dos três cortes, às três temperaturas consideradas e espessuras de isolamento estudadas, estando o combinado à direita e a arca frigorífica à esquerda.	50
5.1	Redução da hora de ponta com a aplicação de ações de gestão da procura. . .	52
B.1	Análise do tempo de estabilização após a realização de ações.	5

Lista de Tabelas

3.1	Requisitos para a participação de Cargas em Serviços de Regulação [24] . . .	14
3.2	Requisitos para a participação de Cargas em Reserva Girante [24]	15
3.3	Variação de Características entre cargas do mesmo grupo para Caracterização de FAD	23
3.4	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C	25
3.5	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C	26
3.6	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C	27
3.7	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C	27
4.1	Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C	32
4.2	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C	32
4.3	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos	34
4.4	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos	35
4.5	Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 22°C	36
4.6	Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 22°C	37
4.7	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	39
4.8	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	40
4.9	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	42
4.10	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	43
4.11	Variação do FC no final de cada ação em relação à referência nas Arcas Frigoríficas	44

4.12	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	45
4.13	Variação do FC no final de cada ação em relação à referência nos Combinados	45
4.14	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	46
4.15	Serviços de Sistema que possam ser fornecidos, no que respeita ao requisito de tempo de resposta	49
5.1	Alteração da Temperatura Mínima de Referência do Termóstato	52
5.2	Consumo FAD simulado e Simulação com Manipulação do limite inferior de referência de temperatura do termóstato	52
A.1	Bactérias patogénicas e Produtos Alimentares Associados [27]	3
A.2	Tempos Máximos de exposição de produtos alimentares [32]	4
C.1	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 2°C e 4°C e no congelador entre -22°C e -21°C	9
C.2	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C	10
C.3	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 5°C e 7°C e no congelador entre -20°C e -18°C	11
C.4	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 2°C e 4°C e no congelador entre -22°C e -20°C	12
C.5	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C	13
C.6	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 5°C e 7°C e no congelador entre -20°C e -18°C	14
C.7	Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 18°C	15
C.8	Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 22°C	16
C.9	Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C	17
C.10	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -22°C e -20°C	18
C.11	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C	18
C.12	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -20°C e -18°C	19

C.13	Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -22°C e -20°C	19
C.14	Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C	20
C.15	Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -20°C e -18°C	20
C.16	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 18°C	21
C.17	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 22°C	21
C.18	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C	22
D.1	Tabela resumo das equações das retas de tendência obtidas para o FC e para o Consumo Médio para o Combinado em função das três variáveis analisadas: Temperatura Ambiente, Temperaturas Limite do Termóstato e Espessura de Isolamento	24
D.2	Tabela resumo das equações das retas de tendência obtidas para o FC e para o Consumo Médio para a Arca Frigorífica em função das três variáveis analisadas: Temperatura Ambiente, Temperaturas Limite do Termóstato e Espessura de Isolamento	25
E.1	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 15 minutos	27
E.2	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 30 minutos	28
E.3	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 60 minutos	29
E.4	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 15 minutos	30
E.5	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 30 minutos	31
E.6	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 60 minutos	32
E.7	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 15 minutos	33
E.8	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 30 minutos	33
E.9	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos	34
E.10	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 15 minutos	35
E.11	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 30 minutos	36
E.12	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos	37

E.13	Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 18°C	37
E.14	Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 22°C	38
E.15	Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 25°C	38
E.16	Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 18°C	38
E.17	Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 22°C	39
E.18	Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 25°C	39
F.1	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	41
F.2	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	42
F.3	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	43
F.4	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	44
G.1	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	46
G.2	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	47
G.3	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	48
G.4	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	49
H.1	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	51
H.2	Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas	52
H.3	Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	53
H.4	Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas	54
I.1	Características Gerais dos diversos grupos de Combinados	55
I.2	Características do Refrigerador dos diversos grupos de Combinados	56
I.3	Características do Congelador dos diversos grupos de Combinados	57
I.4	Análise dos diversos grupos de Combinados	58
I.5	Características dos diversos grupos de Arcas Frigoríficas	59
I.6	Análise dos diversos grupos de Arcas Frigoríficas	59

Abreviaturas

AT	Alta Tensão
BM	Banda Morta
BT	Baixa Tensão
<i>CAISO</i>	<i>California Independent System Operator</i>
CDC	Controlo Directo de Cargas
COP	Coefficiente de Performance
<i>ERCOT</i>	<i>Electric Reliability Council of Texas</i>
FAD	Frio Alimentar Doméstico
FC	Fator de Coincidência
<i>ISO</i>	Operador de Sistema Independente
<i>ISO-NE</i>	<i>Independent System Operator-New England</i>
MC	Monte Carlo
MFB	Modelos Fisicamente Baseados
MIBEL	Mercado Ibérico de Electricidade
<i>MISO</i>	<i>Midwest Independent System Operator</i>
<i>MO</i>	Operador de Mercado
<i>NordPool</i>	<i>Nordic Power Exchange</i>
<i>NYISO</i>	<i>New York Independent System Operator</i>
<i>OMEL</i>	<i>Operador del Mercado Ibérico de Energia</i>
OMIClear	Sociedade de Compensação de Mercados de Energia, S.A.
OMI	Operador de Mercado Ibérico
OMIP	Operador de Mercado Ibérico Português
<i>PJM</i>	<i>Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection</i>

<i>REE</i>	<i>Red Eléctrica de España, S.A.</i>
REN	Rede Elétrica Nacional, S.A.
SEE	Sistemas de Energia Elétrica
SS	Serviços de Sistema
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
<i>TSO</i>	Operador do Sistema de Transmissão
UE	União Europeia

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A manutenção de um equilíbrio constante entre a geração e a carga, de acordo com as limitações individuais das instalações de transmissão, é um requisito que os Sistemas de Energia Elétrica (SEE) devem satisfazer continuamente por forma a manter a fiabilidade e a estabilidade do sistema. A variação da carga em cada instante resulta do ligar e desligar aleatório de milhares de dispositivos de utilização final. A longo prazo, as variações resultam de fatores expectáveis como a sazonalidade e padrões de uso diário. O equilíbrio entre a geração e a carga é, usualmente, mantido através de ações adequadas no lado da geração. No entanto, os geradores também introduzem flutuações inesperadas, porque não seguem os regimes de geração definidos de uma forma exata e podem não dar resposta devido a uma falha inesperada no equipamento. Também a introdução das energias renováveis introduz outra vertente na variabilidade da geração, tornando a operação e gestão dos SEE mais desafiantes [1]. Nos SEE, a crescente penetração das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e da automatização das redes permitem lidar melhor com estes desafios.

Para além disso, o setor elétrico sofreu mudanças organizacionais que levaram a que um conjunto de serviços essenciais para o bom funcionamento do SEE, e que são conhecidos como Serviços de Sistema (SS), tenham adquirido uma maior relevância. Embora não haja consenso nem quanto à sua definição nem quanto à terminologia, os SS, que num cenário de estrutura vertical, que existiu até há alguns anos atrás, eram intrínsecos ao próprio funcionamento da entidade responsável pela geração de energia, são agora alvo de estudos muito criteriosos. Numa perspectiva de otimização do funcionamento dos SEE, é relevante tentar perceber se os SS podem ser fornecidos de outra forma que não apenas pela geração, como tem sucedido até aqui. Tendo em conta a disponibilidade das tecnologias e a quantidade de informação a que hoje é possível ter acesso, um dos impactos a analisar nos SEE será a possibilidade de haver uma gestão flexível

de algumas cargas de utilização final de forma a que alguns dos SS possam ser fornecidos através de ações de gestão do lado da procura.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho consiste na identificação e caracterização de recursos do lado do utilizador final para fornecimento de SS. Isto é, procura-se de alguma forma que os SS possam ser parcialmente fornecidos pelo lado da procura e não apenas pelos geradores como se tem verificado.

Com o aparecimento das *Smart Grids*, das *Smart Homes*, dos *Smart Buildings*, a implementação de *Smart Meters*, de *Smart Thermostats*, a crescente expansão a que se assiste na transmissão de dados via *internet* e com o advento da *Internet of Things*, estão criadas as condições tecnológicas para que a procura possa ter um papel mais ativo no padrão dos SEE. É importante tentar perceber até onde esse papel mais ativo pode ir, nomeadamente ao nível dos SS. A possibilidade de participação mais ativa da procura no funcionamento dos SEE impõe-se por questões económicas e ambientais, entre outras.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em diferentes capítulos. No capítulo 2 é apresentada uma abordagem geral dos Mercados e dos SS. É feita uma breve referência à evolução do setor eléctrico, sendo dados alguns exemplos de mercados existentes e, no que respeita aos SS, é apresentada uma caracterização destes. Relativamente ao capítulo 3, são analisadas as possibilidades, já existentes em diversos mercados, das cargas participarem em SS. Neste capítulo também se refere a existência dos modelos fisicamente baseados, mais concretamente de FAD (Frio Alimentar Doméstico) e, é analisada a qualidade de serviço que estes equipamentos prestam. Além disto, também se procedeu a uma análise de sensibilidade à variação de alguns parâmetros. Por sua vez, no capítulo 4 é apresentada uma caracterização do impacto de ações de gestão da procura, a qual será útil para o comercializador. Após a caracterização, foi analisado um caso de estudo, no capítulo 5, de forma a verificar o impacto no diagrama de carga de uma subestação. Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões que a realização deste trabalho permitiu obter, sendo deixadas algumas propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Mercados e Serviços de Sistema

2.1 O Setor Elétrico

O setor elétrico tem sofrido grandes alterações ao longo dos anos, as quais levaram, recentemente, à passagem de um modelo verticalmente estruturado para um modelo com separação das diferentes funções (geração, transmissão, distribuição e comercialização). Assim, passou-se de um modelo em que uma única empresa detinha a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização de energia, para um modelo em que existem dois monopólios naturais (transporte e distribuição) e diversas entidades competindo entre si na geração e na comercialização de energia. Existem, também, diversas outras entidades que executam tarefas essenciais ao bom funcionamento do SEE que até aqui eram intrínsecas às funções da empresa única em monopólio vertical. Algumas dessas entidades são, por exemplo, o Operador de Sistema Independente (*ISO*), o Operador do Sistema de Transmissão (*TSO*), o Operador de Mercado (*MO*) e o Consumidor Elegível [2] [3].

O *ISO* é o responsável pela coordenação técnica do sistema, enquanto que o *TSO* tem a seu cargo a agregação das atividades de transporte. Nesta nova organização, as transações de energia são efectuadas num mercado onde são recebidas propostas de compra, por parte dos clientes, e venda de energia, por parte dos produtores, ficando o *MO* responsável por fazer o encontro das ofertas de compra e venda. Relativamente ao Consumidor Elegível, este é o consumidor que tem opção de escolha no que respeita à entidade fornecedora de energia elétrica [2] [3].

É de realçar que, com esta nova organização, continua a haver um conjunto de serviços essenciais que é necessário garantir. Serviços estes que, até aqui, eram intrínsecos ao funcionamento da única empresa a operar na função de geração e transporte e que agora podem passar, alguns deles, a ser contratualizados. Assim, se dantes a referência aos Serviços de Sistema era rara, uma vez que estes eram fornecidos pela entidade que detinha a geração de energia, este, actualmente, é

um termo que começa a ser cada vez mais recorrente quando se fala em mercados, havendo a necessidade de assegurar estes serviços. Parte desses serviços são obrigatoriamente fornecidos pelos geradores. No entanto, alguns deixam de ser assegurados apenas pelos geradores, podendo ser prestados por outras vias como, por exemplo, com recurso à gestão da procura.

De uma forma sucinta, a atual estrutura é visível na figura 2.1.

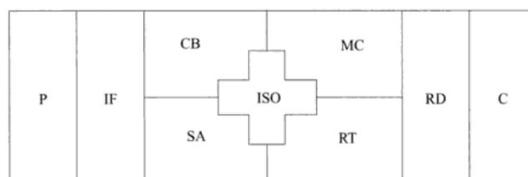


Figura 2.1: Modelo desagregado do sector eléctrico [4].

É de realçar que, nas extremidades, encontram-se as atividades competitivas, a produção (P) e a comercialização (C), às quais se junta a intermediação financeira (IF). Por intermediação financeira entenda-se as transações monetárias que ocorrem entre quem produz energia e quem compra e que podem ser intermediados por uma entidade terciária. Também são visíveis a rede de distribuição (RD) e a rede de transporte (RT), atividades que continuam em regime de monopólio. Na zona central, são visíveis atividades que estavam englobadas na atividade de transporte, as quais incluem os contratos bilaterais (CB), os mercados centralizados (MC), o ISO, os SS (SA) e a própria rede de transporte [4].

2.2 Modelos de Mercado

Na nova organização dos sistemas de energia elétrica, tudo é transacionado, tanto a energia como os serviços essenciais ao bom funcionamento do sistema. Há duas formas principais de transação de energia, os mercados centralizados e os contratos bilaterais.

Os mercados centralizados, também conhecidos por mercados de tipo *Pool*, são mercados tipo leilão em que há propostas de compra e venda e o *MO* faz o encontro das ofertas [3].

Os contratos bilaterais podem ser físicos ou financeiros, pressupondo o contacto entre produtores e comercializadores ou consumidores elegíveis. São estabelecidos acordos que abordam tanto o preço como a energia a produzir/consumir num período de tempo determinado [2]. Assim, este modelo permite ao consumidor escolher o fornecedor com o qual pretende estabelecer contacto.

O tipo de mercado onde o mercado centralizado e a possibilidade de existirem contratos bilaterais coexistem em simultâneo designa-se por modelo misto. As ofertas de compra e venda são apresentadas pelos consumidores elegíveis, pelos

produtores e pelos comercializadores ao *MO*. Posteriormente, este ordena as ofertas de venda por ordem crescente de preço e as ofertas de compra por ordem decrescente de preço. Com esta organização, surgem as denominadas curvas agregadas de oferta de compra e venda de energia. O preço/quantidade transacionada é definida pela interseção das duas curvas. De seguida, a informação é passada ao *ISO*, o qual a adiciona aos contratos bilaterais, verificando, posteriormente, a viabilidade do despacho. Este despacho final inclui já o mercado centralizado e os contratos bilaterais. Se todas as restrições forem cumpridas, é então transmitida a informação aos produtores e também são contratados os SS necessários. Caso se verifique algum congestionamento, é dada a possibilidade de ajustes por parte do *ISO* aos produtores ou, então, procedesse à ativação do *Market Splitting* [5].

Por *Market Splitting* entenda-se o mecanismo de resolução de congestionamentos no qual se avalia a capacidade das interligações entre as diferentes áreas de licitação [3].

2.3 Exemplos de Mercados de Electricidade

2.3.1 Mercado Ibérico de Electricidade, MIBEL

A reestruturação do setor elétrico chegou a Portugal em 1994, com a criação da Rede Eléctrica Nacional, REN, com o intuito de ser esta a gerir a rede de transporte de eletricidade. Assim, marcou-se o início da separação das atividades no setor elétrico. Com a criação de uma entidade reguladora e a criação de regras para o aparecimento de Mercado Interno de Eletricidade começa a ser evidente a liberalização do setor. Em 2001, dá-se o primeiro passo para a criação do Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL), o qual é constituído por Portugal e Espanha [2].

O Operador de Mercado Ibérico (OMI) possui duas vertentes: a vertente ligada à gestão de eletricidade e a vertente de Serviços de Sistema. No que respeita à eletricidade, podem-se distinguir o *Operador del Mercado Ibérico de Energia* (*OMEL*), situado em Madrid e responsável pela gestão do mercado diário e intradiário, o Operador de Mercado Ibérico Português (OMIP), localizado em Lisboa e que tem a seu cargo a gestão dos mercados a prazo e a Sociedade de Compensação de Mercados de Energia, S.A. (OMIClear), constituída em 2004 com as funções de câmara de compensação, contraparte central e sistema de liquidação [6]. Por sua vez, no que respeita aos SS, em Portugal, a entidade responsável por esta vertente é a Rede Eléctrica Nacional, S.A. (REN) e, em Espanha, é a *Red Eléctrica de España*, S.A. (*REE*). Estas duas entidades são responsáveis pelo transporte de energia, tendo o papel de *MO* no respetivo país [6].

2.3.2 *Nordic Power Exchange, NordPool*

Com o objetivo de estabelecer um mercado competitivo, onde estivessem integradas empresas produtoras e consumidores, em 1991, assiste-se à criação do *Nordic Power Exchange (NordPool)*. Este é um mercado transnacional de eletricidade o qual foi inicialmente constituído pela Noruega, Suécia, Finlândia e Dinamarca, tendo alargado o seu campo de operação para a Estónia, Lituânia, Alemanha, Letónia e Reino Unido [7] [8]. Pode ser dividido em dois tipos de mercados (fig. 2.2): num mercado financeiro e num mercado físico separado em dois mercados, *Elspot* e *Elbas* [7] [8].

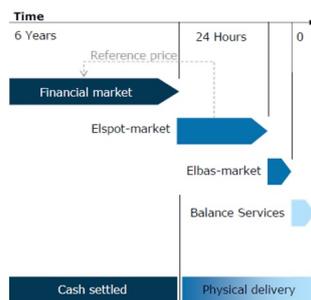


Figura 2.2: NordPool - exemplificação [9].

No mercado *Elspot*, há negociação diária, de hora a hora, de energia elétrica até às 12 horas do dia anterior. Assim, este mercado garante a entrega de energia em cada uma das horas do dia seguinte. No caso do mercado *Elbas*, verificam-se trocas contínuas de energia eléctrica até uma hora antes da entrega efetiva, ou seja, corresponde a um mercado intradiário. Este é um mercado que funciona 24 horas por dia.

Na figura 2.2 é visível a estrutura do *NordPool*, sendo que os serviços de balanceamento (*Balance Services*) englobam os SS [9].

2.3.3 *New York Independent System Operator, NYISO*

Em 1999, é criado o *New York Independent System Operator (NYISO)* com o intuito de facilitar a reestruturação do setor eléctrico que ocorria nos Estados Unidos da América. Esta reestruturação teve como objetivo a manutenção da fiabilidade e da segurança do sistema [7].

No *NYISO* é possível distinguir diferentes tipos de mercados, sendo os mercados que mais relevância têm no contexto deste trabalho o Mercado de Energia e o Mercado de Serviços de Sistema [10]. No Mercado de Energia podem ser encontrados os contratos bilaterais, o *day-ahead market* e o *real-time market*. O Mercado de SS fornece o suporte à rede eléctrica, sendo os dois serviços mais importantes o de reserva e o de regulação. Estes serviços, tipicamente, eram

fornecidos por geradores. No entanto, tem sido dada a possibilidade de usar cargas do lado da procura para o fornecimento destes serviços [10].

2.4 Serviços de Sistema

Os SS são serviços essenciais para manter o bom funcionamento dos SEE, permitindo manter a frequência dos sistemas dentro de limites definidos, controlar as tensões na rede, manter a estabilidade do sistema elétrico, prevenir congestionamentos na rede de transmissão, bem como restaurar o sistema ou parte do sistema caso ocorra uma falha [2] [11].

A responsabilidade de manter a segurança e a fiabilidade dos SEE, antes da reestruturação do setor elétrico, competia às empresas verticalmente integradas. Com a reestruturação, surgem novas estruturas e agentes, havendo a reformulação dos papéis de cada um dos envolvidos no setor elétrico. Assim, de forma a dar resposta à necessidade de garantir a segurança e a fiabilidade das operações dos SEE em tempo real em consequência de desvios de previsão da procura, situações imprevisíveis de avarias em grupos de geradores, apareceram os SS [2] [11].

Devido à diversidade de circunstâncias sob as quais os diferentes mercados de eletricidade estão sujeitos, não há uma uniformização no que respeita à definição de SS [2] [12]. Assim, há mercados onde os SS são definidos como um conjunto de serviços, separados da produção de energia, que permitem a manutenção da segurança e fiabilidade do SEE [13] ou definidos como serviços necessários à transmissão de energia elétrica do vendedor até ao consumidor e que asseguram a qualidade da energia fornecida [1] [12]. De uma forma sucinta, pode-se dizer que por SS entendem-se todos os serviços que são essenciais para o bom funcionamento dos SEE.

A classificação dos SS pode variar de um sistema para outro, dependendo da estrutura do mercado e dos requisitos técnicos, podendo ser distinguida uma classificação europeia e uma americana. De uma forma geral, a nível Europeu, os SS podem ser classificados em [14]:

- Controlo de frequência - consiste em regulação de reserva primária, secundária e terciária. A regulação de reserva primária é um SS de carácter obrigatório e não remunerado fornecido pelos geradores em serviço. Este tipo de regulação tem o intuito de corrigir automaticamente os desequilíbrios entre a geração e a carga em cada instante [15]. No que respeita à regulação de reserva secundária, esta permite corrigir elevados desvios de frequência, resultantes de maiores variações entre a geração e a carga. Por último, a regulação de reserva terciária tem como objetivo principal a reposição da reserva secundária. Este é um ajuste manual, podendo implicar a ativação de grupos de geradores que estejam desligados ou em *standby* [11];
- Controlo de tensão - o controlo de tensão tem como objetivo a manutenção

do valor de tensão dentro dos limites normais de operação [12]. É um SS, normalmente, obrigatório, podendo ser efetuado pelos geradores que possuam um sistema automático de controlo de tensão;

- Reposição de Serviço/*Black Start* - a reposição de serviço é um SS prestado por unidades que conseguem injetar energia no sistema após uma interrupção geral ou parcial do sistema, sem ser fornecido externamente. Este é um serviço não remunerado [12].

Esta é uma classificação que se encontra no mercado de Espanha, Portugal, Países Nórdicos, entre outros.

Na figura 2.3 é possível ver o tempo de resposta que cada um dos serviços exige, em cada um dos sistemas.

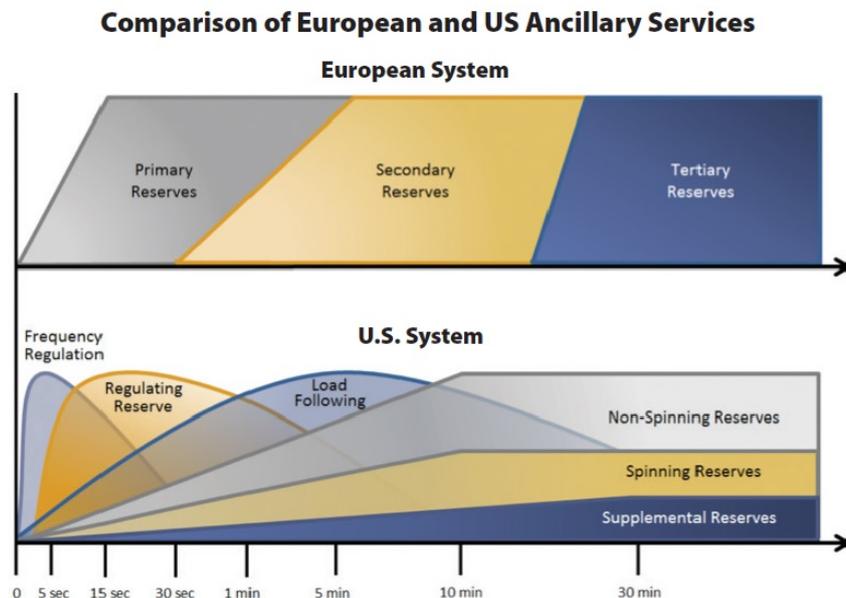


Figura 2.3: Comparação dos sistemas europeu e americano e o tempo de resposta [16].

Uma classificação americana também pode ser encontrada, classificando os SS em [16]:

- Reserva de Resposta em Frequência (*frequency response reserve*) - providencia uma resposta inicial de frequência a grandes distúrbios; também designada por controlo primário ou resposta do regulador, atuando em segundos;
- Reserva Regulatória (*regulating reserve*) - para manter o erro da área de controlo dentro de limites em resposta a movimentos aleatórios num espaço de tempo menor do que aquele que seria se fosse o mercado a atuar; também conhecida por controlo secundário, atuando em segundos;
- Reserva de Modulação de Carga (*load following reserve*) - para manter dentro de limites a frequência e o erro da área de controlo, devido a movi-

mentos não aleatórios; também chamado de reserva terciária, atuando em vários minutos;

- Reserva Girante (*spinning reserve*) - fontes sincronizadas com a rede que pode ser colocadas em serviço de forma imediata em resposta a uma solicitação;
- Reserva Não Girante (*non-spinning reserve*) - neste caso, não se encontram sincronizadas com a rede, sendo necessário fazer a sincronização quando solicitadas. São fontes com uma resposta mais lenta que a reserva girante;
- Reserva Suplementar (*supplemental reserve*) - para substituir a reserva rápida para restauro de um pré-evento; também chamada de reserva terciária ou reserva de substituição, atuando em minutos a horas.
- Controlo de tensão;
- Reposição de Serviço/*Black Start*.

As reservas regulatória e de modulação de carga são usadas durante o funcionamento normal do sistema. Por sua vez, as reservas girante, não girante e suplementares são usadas em situações de contingência [14].

Esta é uma classificação que se encontra em mercados como o *Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection (PJM)*, *California Independent System Operator (CAISO)*, *Electric Reliability Council of Texas (ERCOT)*, *Midwest Independent System Operator (MISO)*, *NYISO*, entre outros.

Capítulo 3

Demand Response

3.1 Programas de *Demand Response*

O método comumente usado para garantir o equilíbrio entre a geração e procura consiste no aumento ou diminuição de potência por parte de geradores. No entanto, este é um método que requer elevados investimentos no que respeita a infraestruturas, levando à necessidade de procurar outras formas de manter a fiabilidade e a qualidade de serviço na rede.

Com a crescente evolução das regras de mercado, as oportunidades para as cargas participarem em programas de emergência, económicos e serviços de sistema têm aumentado de uma forma geral. Inicialmente usadas para, temporariamente, serem desviadas por forma a reduzir o pico em horas de ponta, atualmente algumas cargas são vistas como podendo ter uma utilização mais dinâmica e flexível, podendo mesmo participar diretamente em atividades até aqui reservadas à geração, como o fornecimento de SS. A introdução da gestão ativa de cargas no mercado de electricidade pode reduzir, de forma significativa, a variação de preços no mercado de electricidade e, pode atuar potencialmente como uma forma de impedir o controlo do mercado apenas pelos geradores [17]. Assim, os programas de *demand response* surgem como ferramentas fortes e úteis que podem ser ativadas num curto espaço de tempo em situações críticas do sistema para providenciar a redução de procura necessária [18]. Estes programas podem ser divididos em duas categorias principais, *Time-based Program*, programas baseados no período horário, e *Incentive-based Program*, programas baseados em incentivos.

Nos programas baseados no período horário, o preço da electricidade varia nos diferentes períodos, de acordo com o custo da geração de electricidade, sendo, por exemplo, mais elevado em horas de ponta. Relativamente aos programas baseados em incentivos, o utilizador assina um contrato para reduzir a procura quando necessário, recebendo incentivos para disponibilizar essa flexibilidade. Assim, do lado da geração, há o benefício da redução do pico de cargas, o que leva à não ativação de formas de produção dispendiosas sem o comprometimento

da qualidade de serviço de energia e possibilita a manutenção da fiabilidade do sistema. Relativamente ao utilizador, verifica-se uma redução em horas de ponta, o que leva a uma diminuição do preço da fatura, bem como incentivos que poderão resultar do contrato estabelecido [19].

3.2 Participação de Cargas em Serviços de Sistema

Com a introdução das *Smart Grids* (fig. 3.1), surgiu a oportunidade de entregar energia de uma forma controlada e inteligente desde o ponto de geração até ao utilizador, criando-se, assim, a possibilidade de mudar os padrões de comportamento e de compra de energia de acordo com a informação que é recebida. As ações de controlo de procura tornam-se, então, uma parte integrante das *Smart Grids*, a qual conduz à necessidade de sistemas de comunicação, equipamentos de medição, entre outros [20].

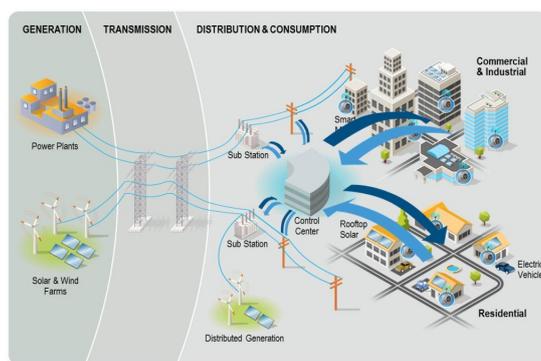


Figura 3.1: Interligação numa Smart Grid [21].

Tal controlo abre portas à possibilidade de utilizar, de forma dinâmica, algumas cargas do lado do consumidor, dando-se relevância, neste trabalho, às cargas de uso doméstico que possam ser usadas para fornecimento de SS. Torna-se, assim, crucial conhecer estas cargas, classificando-as em diferentes categorias, uma vez que as cargas não apresentam o mesmo tipo de funcionamento nem o mesmo regime de solicitação.

De acordo com as restrições técnicas e a flexibilidade por parte dos utilizadores para permitirem que as suas cargas sejam controladas automaticamente, as cargas, a nível residencial, podem ser divididas em quatro categorias [22]:

- Cargas Não Controláveis - cargas que, quando controladas, podem levar a desconforto para o utilizador ou perturbação de atividades (iluminação, equipamento de escritório e de entretenimento, entre outras);
- Cargas Parametrizáveis - cargas que são termostaticamente controláveis e permitem um ajuste das definições do termostato sem causar desconforto

para o utilizador (ar condicionados, termoacumuladores, equipamentos de frio);

- Cargas Interrompíveis - cargas que podem ser interrompidas durante um curto período de tempo sem diminuir a qualidade de energia do serviço prestado (ar condicionados, termoacumuladores, equipamentos de frio);
- Cargas Desviáveis - cargas cuja função pode ser adiada ou antecipada, de acordo com preferências do utilizador, sem provocar desconforto (máquinas de lavar, máquinas de secar).

Os consumos anuais das cargas de uso residencial e o seu grau de controlo podem ser vistos na fig. 3.2. O eixo das abcissas, juntamente com as circunferências de diferentes tamanhos, representam o consumo anual de eletricidade. Relativamente ao eixo das ordenadas, este indica o grau de controlo e, as elipses, por sua vez, mostram que algumas cargas podem ser alvo de mais do que uma ação de *Demand Response*. Apesar de algumas cargas poderem ser usadas pelo mesmo tipo de ação, é necessário ter atenção que as características de controlo da ação não são iguais para todas as cargas. Parâmetros como a duração da interrupção, a temperatura, a possibilidade de já terem estabilizado após a última ação, influenciam as cargas a serem usadas nas ações [23]. É de realçar que os frigoríficos e os congeladores são equipamentos que estão ligados durante todo o dia e, dependendo da eficiência do equipamento, justificando, conjuntamente com as elevadas taxas de posse, os elevados consumos apresentados. Equipamentos de aquecimento de ambiente, apesar de serem equipamentos de uso sazonal, apresentam, também, consumos elevados. Estes são equipamentos cujos consumos justificam-se com o fraco desempenho térmico dos edifícios [22].

Tendo em conta esta caracterização das cargas a nível residencial, bem como do potencial destas cargas, colocou-se a questão sobre a viabilidade de utilizar estas cargas para fornecer SS. A possibilidade de ter ações de controlo automático no setor residencial em cargas como ar condicionados, sistemas de aquecimento, termoacumuladores, frigoríficos, tornou-se real com a evolução das tecnologias, como sejam os *Smart Meters*, os *Smart Thermostats*, o IPv6, as TIC [23]. No entanto, nem todas as cargas utilizadas são capazes de fornecerem todos os tipos de SS, uma vez que há variações no que respeita aos diferentes requisitos de cada serviço relativamente ao tempo de resposta, duração e tamanho mínimo a disponibilizar [24]. Para além disso, há uma gestão fulcral que se prende com a participação e com a capacidade disponível para controlo para que ocorra a participação, sendo crucial o aparecimento da agregação. Este papel de agregador pode ser desempenhado pelo comercializador ou outra entidade que, com recurso à carteira de clientes que possua, gere as cargas de forma a dar resposta às diferentes necessidades do SEE, cumprindo todos os requisitos que cada SS apresenta.

Alguns dos mercados que, atualmente, possuem Mercados de SS são o *CAISO*, *ERCOT*, *MISO*, *PJM*, *NYISO* e *Independent System Operator-New England*

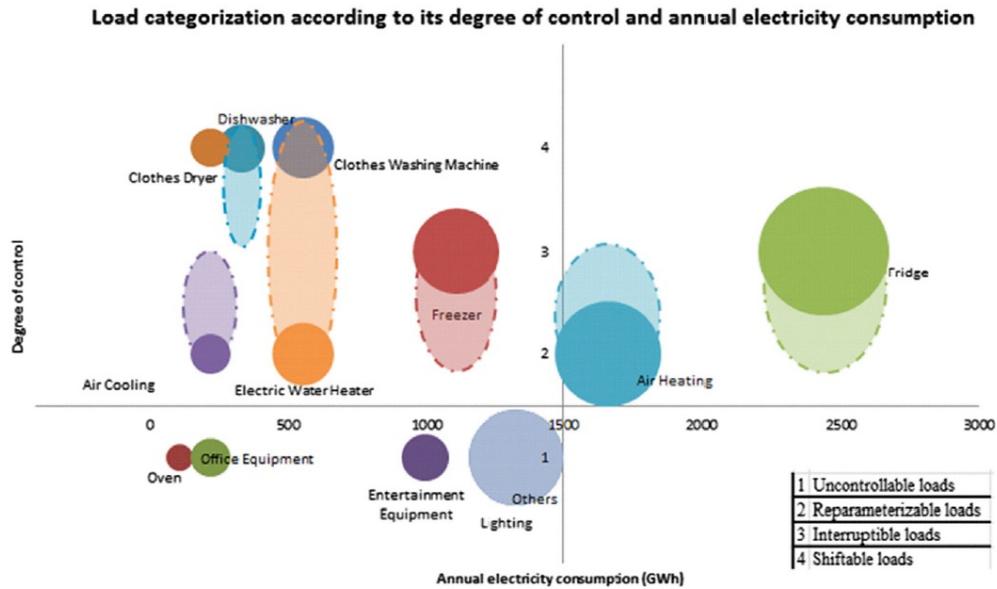


Figura 3.2: Categorias de Cargas de acordo com o grau de controlo e consumo anual de electricidade [22].

(*ISO-NE*) [24]. Estes mercados têm dado a possibilidade de cargas participarem no fornecimento de SS, mediante o cumprimento de determinados requisitos (tabelas 3.1, 3.2). É de realçar que a não permissão de agregação não é sinónimo de não utilização de recursos do lado da procura. Um tipo de recursos do lado da procura que permite a disponibilização de uma elevada capacidade só por si é o uso de cargas industriais.

Tabela 3.1: Requisitos para a participação de Cargas em Serviços de Regulação [24]

Mercado	Tamanho Mínimo (MW)	Agregação Permitida	Período Contínuo de Energia
CAISO	0.5	Não	60 minutos
ERCOT	0.1	Não	Não disponível
MISO	1	Não	60 minutos
PJM	0.1	Sim, mediante aprovação	Não disponível
NYISO	1	Não	Não disponível
ISO-NE	Não disponível	Não disponível	Não disponível

No que respeita à situação de Portugal, os SS, de acordo com a legislação em vigor, são assegurados pela geração [15].

Tabela 3.2: Requisitos para a participação de Cargas em Reserva Girante [24]

Mercado	Tamanho Mínimo (MW)	Agregação Permitida	Período Contínuo de Energia
CAISO	0.5	Não	30 minutos
ERCOT	0.1	Não	Não disponível
MISO	1	Sim	60 minutos
PJM	0.1	Sim, mediante aprovação	Não disponível
NYISO	1	Não	60 minutos
ISO-NE	1	Sim	Não disponível

3.3 Barreiras ao uso de cargas como Serviços de Sistema

As barreiras à participação de cargas em SS envolvem fatores como a exigência de disponibilidade e de capacidade e mesmo rigor técnico imposto pelo *ISO* em termos de despachabilidade e monitorização. Estas regras e protocolos, desenvolvidos durante um período no qual a geração era a única fonte para fornecimento de SS, bem como a co-otimização de energia e SS, desencorajam a participação de cargas no fornecimento de SS [1].

Pode ainda identificar-se como barreira o não interesse do consumidor em participar no fornecimento de SS, por razões várias. Algumas destas razões são o receio de perda de qualidade de serviço ou deterioração do equipamento devido à frequência de comutação. Também a necessidade de investir em tecnologia para controlo de cargas, para dar resposta às solicitações do despacho, e equipamento de comunicação e verificação pode funcionar como barreira [1].

Tal como aos geradores, é solicitado que as cargas possuam um tempo de resposta rápido (de segundos a minutos), requisitos mínimos de carga e capacidade de entrar e sair de funcionamento de uma forma rápida e frequente. Configurar cargas para cumprirem estes requisitos é caro e muitas cargas simplesmente não preenchem estes requisitos [1]. Além disso, a forma como as regras de fiabilidade do SEE foram estipuladas foi definida quando se usavam apenas geradores como fonte disponível para providenciar energia, capacidade ou serviços à rede, podendo não ser os mais adequados quando existem múltiplas fontes disponíveis com diferentes capacidades e limitações [1].

Assim, de uma forma sucinta, podem-se categorizar as barreiras ao uso de cargas para fornecimento de SS em:

- Barreiras Regulatórias/Legislativas - apesar de alguns mercados começarem a permitir a introdução de cargas para o fornecimento de SS, ainda não é comum em todos os mercados. Muitas das legislações existentes ainda referem os geradores como fonte para o fornecimento destes serviços, havendo mesmo alguma resistência por parte das entidades responsáveis no

uso de cargas. Além disto, também os próprios requisitos que se verificam em alguns SS dificultam o uso de cargas, nomeadamente a capacidade sob controlo, o tempo de resposta e a disponibilidade. No entanto, alguns mercados como o *PJM*, assiste-se já a alguma flexibilidade nestes requisitos para permitir o uso de cargas, principalmente no que respeita à capacidade mínima a ser fornecida, a qual já é, como referido nas tabelas 3.1 e 3.2, de 0,1 MW;

- Barreiras Técnicas - por barreiras técnicas entendam-se os entraves que se colocam na possibilidade de agregação e na disponibilidade das cargas. Uma vez que estamos a usar cargas do lado do consumidor, cargas cujo uso tem um determinado objetivo, o seu uso para o fornecimento de SS não pode comprometer a qualidade de serviço prestada por estas cargas. As preferências do utilizador final não podem ser comprometidas. Assim, surge uma aleatoriedade com a agregação, a disponibilidade, sendo difícil prever, num curto espaço de tempo, a possibilidade de fornecer ou não o SS com o recurso a cargas. Além disso, a capacidade de rapidamente identificar um conjunto de cargas que possam fornecer a capacidade necessária para manter a fiabilidade e estabilidade do SEE também é uma barreira técnica. É necessária a criação de mecanismos que permitam esta identificação;
- Quantificação e disponibilização de incentivos - como em qualquer contratação, também há incentivos que o utilizador final recebe ao disponibilizar as suas cargas para o fornecimento de SS. Estes incentivos podem ir desde a redução do preço da fatura a um incentivo diretamente dado ao utilizador. No entanto, surge a questão de quem irá dar este incentivo, que meios serão usados para o seu fornecimento e, muito importante, como avaliar e quantificar ao nível individual.
- Participação do utilizador final - outro aspeto que não deve ser desprezado é o interesse, por parte do utilizador final, em permitir o uso das suas cargas para o fornecimento de SS. Torna-se relevante informar o utilizador final e mostrar-lhe como pode ser útil a disponibilização das suas cargas e como pode, eventualmente, beneficiar, direta e indiretamente, por poder participar no fornecimento de tais serviços. Além disso, a participação não deverá colocar em causa a qualidade do serviço de energia fornecido pelas cargas para não se revelar um entrave à possibilidade de participação dos utilizadores finais.

Por vantagem direta considere-se o quanto recebe de incentivo pela disponibilização das suas cargas. Relativamente às vantagens indiretas, entendam-se o aumento de fiabilidade a que se assiste, bem como a redução do custo médio de fornecimento de energia. É de notar que as regalias indiretas acabam por ser usufruídas também pelos utilizadores finais que não disponibilizaram as suas cargas.

3.4 Modelos Fisicamente Baseados

A participação de cargas no fornecimento de SS passará pela alteração do seu funcionamento normal, modificando-se, desta forma, a potência pedida à rede de acordo com as necessidades dos SS a fornecer.

A necessidade de saber se é possível utilizar cargas para fornecimento de SS, sem comprometer a qualidade de serviço prestado por estas mesmas cargas, implica o uso de ferramentas adequadas que permitam analisar antecipadamente os impactos das ações de gestão das cargas. Os Modelos Fisicamente Baseados (MFB) são modelos que permitem saber, em cada instante, o valor de cada variável de interesse que caracteriza o fenómeno físico que descreve o funcionamento das cargas. Assim, com recurso a estes modelos, é possível simular o funcionamento de equipamentos e avaliar o impacto de ações de gestão da procura [25].

De entre as cargas usualmente usadas para participação em programas de gestão da procura e, por isso, também no fornecimento de SS, destacam-se as do tipo termostáticas. Bombas de calor, sistemas de ar condicionado, termoacumuladores, frigoríficos e arcas frigoríficas são alguns exemplos de cargas termostáticas, embora tipicamente nos programas de gestão da procura sejam usadas apenas ar condicionado e termoacumuladores.. As cargas usadas neste trabalho são cargas de FAD. Estas cargas têm o seu funcionamento controlado por um dispositivo, o termóstato, que admite uma determinada gama de valores de temperatura e determina o estado funcional ligado/desligado da carga. Neste tipo de cargas, há uma dissociação entre o serviço de energia utilizado e o estado funcional do equipamento, uma vez que embora o serviço de energia esteja continuamente a ser fornecido, o equipamento nem sempre está a consumir energia [25]. É esta dissociação que torna particularmente atrativa a possibilidade de utilização deste tipo de cargas na gestão da procura.

Tal situação, leva à ponderação do uso deste tipo de cargas para o fornecimento de SS. Várias questões surgem nesta reflexão como, por exemplo, quais os problemas de alterar, por breves instantes, a parametrização ou, qual será o impacto na qualidade de serviço prestado ao desligar a carga durante um período de tempo. Também a ponderação sobre o tempo que é necessário até que se verifique a estabilização da potência pedida à rede, bem como qual o impacto no diagrama de carga quando os equipamentos, após terem sido desligados, retomam o seu funcionamento são aspectos relevantes, não devendo ser desprezados nesta análise. Em suma, é essencial avaliar adequadamente o impacto das ações de controlo implementadas neste tipo de cargas, quer na qualidade do serviço fornecido quer na potência pedida à rede.

Os dispositivos de frio alimentar doméstico encontram-se em qualquer residência e, muitas vezes, cada residência possui mais do que um tipo deste equipamento. Foi usado um modelo individual fisicamente baseado e validado experimentalmente [26] para a simulação do funcionamento do equipamento e, com base

nesse modelo individual, foi desenvolvido e implementado um modelo agregado que permite a reprodução do funcionamento de grupos de cargas. A possibilidade de variar alguns parâmetros levou à criação de uma amostra representativa, bastante diversificada, com o intuito de aproximar, tanto quanto possível, à diversidade de equipamentos que encontramos entre diferentes residências.

3.4.1 Frio Alimentar Doméstico

Por FAD entenda-se todo o equipamento com capacidade de transferir calor de um ambiente mais frio para outro mais quente, com o intuito de preservar, a uma determinada temperatura, produtos alimentares e/ou bebidas, sendo necessário aplicar uma quantidade de trabalho ao sistema para esse efeito. O combinado e a arca frigorífica são exemplos deste tipo de equipamentos [26].

O funcionamento do FAD, para manter a sua temperatura interior dentro de uma gama precisamente definida, a Banda Morta (BM), pode ser dividido em dois ciclos, num ciclo ON e num ciclo OFF. No ciclo ON faz-se diminuir a temperatura até esta atingir o valor mínimo da gama definida. Neste ciclo, o FAD encontra-se a consumir energia da rede. No que respeita ao ciclo OFF, o FAD encontra-se com uma temperatura interior crescente entre a temperatura mínima e máxima definida, não estando a consumir energia. Este controlo de temperaturas é feito por um termóstato, que, desta forma, determina o funcionamento do FAD e, por isso, o seu padrão de consumo.

Matematicamente, relativamente ao ciclo OFF, o modelo de FAD utilizado modela a temperatura interior através da equação 3.1

$$T_{interior}(t + \Delta t) = T_{interior}(t) + \frac{Q_p}{M.C_p} \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

onde,

- $T_{interior}(t + \Delta t)$ representa a temperatura no instante seguinte [°C],
- $T_{interior}(t)$ representa a temperatura no instante actual [°C],
- Q_p representa a potência de perdas do frigorífico [W],
- M representa a massa do corpo [kg],
- C_p representa o calor específico do corpo [J/kg.°C],
- Δt representa o intervalo de tempo de discretização, 1 minuto, ou seja, 60 segundos [s].

Quando em ciclo ON, a temperatura no interior varia de acordo com a equação 3.2

$$T_{interior}(t + \Delta t) = T_{interior}(t) + \frac{-P.COP + Q_p}{M.C_p} \cdot \Delta t \quad (3.2)$$

onde,

- P representa a potência do compressor [W],
- COP representa o coeficiente de desempenho.

No que respeita ao cálculo das perdas, foi utilizada a equação genérica 3.3

$$Q_p = \frac{\Delta T'}{R} \quad (3.3)$$

onde,

- $\Delta T'$ representa a diferença de temperatura interior e a temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$],
- R representa a resistência térmica total [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$].

A resistência térmica total teve em conta os diferentes tipos de fenómenos envolvidos na transferência de calor pela envolvente que ocorrem, bem como a organização dos diversos compartimentos e as diferentes áreas efetivas envolvidas.

No que respeita ao cálculo do produto $M.C_p$, é necessário ter em conta a composição da parede. Observe-se a figura 3.3. Assim, este produto é obtido através da equação 3.4

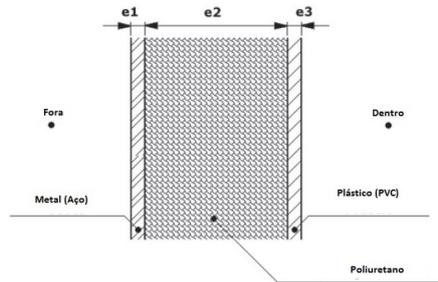


Figura 3.3: Esquema da parede do equipamento de FAD [26].

$$M.C_p = M_{e1}.C_{pe1} + M_{e2}.C_{pe2} + M_{e3}.C_{pe3} + M_{ar}.C_{par} \quad (3.4)$$

onde,

- M_{e1} representa a massa de metal (aço) [kg],
- C_{pe1} representa o calor específico do metal (aço) [$\text{J}/\text{kg}.\text{^{\circ}}\text{C}$],
- M_{e2} representa a massa de poliuretano [kg],
- C_{pe2} representa o calor específico do poliuretano [$\text{J}/\text{kg}.\text{^{\circ}}\text{C}$],
- M_{e3} representa a massa de plástico (PVC) [kg],
- C_{pe3} representa o calor específico do plástico (PVC) [$\text{J}/\text{kg}.\text{^{\circ}}\text{C}$],
- M_{ar} representa a massa de ar [kg],

- C_{par} representa o calor específico do ar [J/kg.°C],

No uso de FAD para o fornecimento de SS, um cuidado a ter, como já referido, é que a qualidade do serviço prestado por estes equipamentos não fique comprometida. Assim, é necessário saber quais os limites de temperatura a que os produtos alimentares podem ser submetidos e durante quanto tempo, de modo a preservar a qualidade destes.

A conservação de produtos alimentares a baixas temperaturas permite a redução/inibição da actividade enzimática e a multiplicação/actividade de microorganismos. Além da temperatura a que o produto é sujeito, também o factor tempo tem um papel relevante. Ou seja, a colocação de determinado produto a uma dada temperatura, num período de tempo, influencia o crescimento dos microorganismos [27]. Este fenómeno pode ser observado na fig. 3.4.

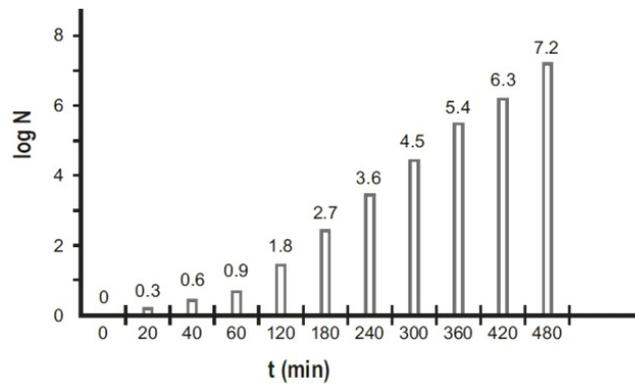


Figura 3.4: Crescimento microbiano ao longo do tempo, a uma temperatura de 37°C [27].

As tabelas A.1 e A.2 no anexo A apresentam os microorganismos presentes em diversos produtos alimentares e as condições de temperatura que limitam o desenvolvimento/crescimento de bactérias num dado período de tempo.

3.4.2 Modelo de Grupo de Cargas

Um dos principais objetivos da utilização de ferramentas de simulação é a previsão dos possíveis impactos de ações de gestão da procura sobre o funcionamento das cargas. Neste tipo de simulações, diversos aspectos devem ser tidos em conta. Existem parâmetros que caracterizam cada uma das cargas que possuem ligeiras variações de carga para carga, podendo afetar o seu funcionamento. Uma forma de lidar com esta aleatoriedade associada às cargas é o Método de Monte Carlo (MC), onde cada parâmetro segue uma distribuição probabilística. O método de MC é um modelo de simulação que, recorrendo à geração de números aleatórios para atribuir valores aos parâmetros, efetua N simulações do modelo fisicamente baseado desenvolvido, verificando-se a variação de parâmetros entre simulações. Estes parâmetros podem variar de carga para carga dentro do

mesmo grupo ou de simulação para simulação. No presente modelo desenvolvido, a geração aleatório de números segue uma distribuição normal, sendo definida a semente a priori e variada na realização das simulações [28] [29].

O modelo desenvolvido em *MATLAB* utiliza uma pré-parametrização feita numa folha de Excel onde é indicado o tipo de carga a simular e as respetivas características, tais como:

- a temperatura máxima e mínima de funcionamento do FAD,
- o Controlo Directo de Cargas (CDC), o qual assume dois valores, 0 e 1, consoante o FAD está desligado ou ligado, respetivamente,
- a temperatura ambiente,
- a potência do compressor do FAD que, no caso do combinado, são dois compressores,
- o Coeficiente de Performance (COP),
- o produto $M.C_p$,
- a resistência térmica total que, no caso do combinado, possui uma resistência térmica total para o refrigerador e outra para o congelador.

Nesta mesma folha de cálculo, é possível indicar se se pretende simular uma carga individual ou um grupo de cargas. De uma forma sucinta, observe-se a figura 3.5.

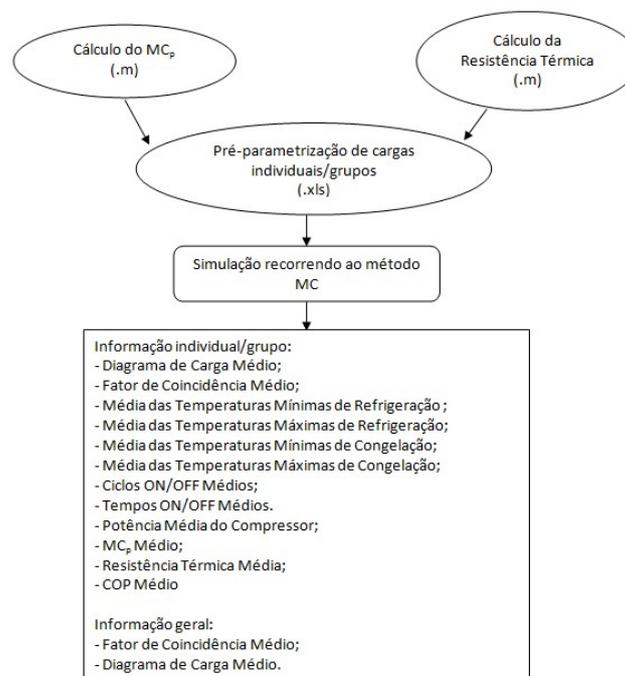


Figura 3.5: Fluxo de dados do modelo.

É de realçar que, a nível individual, há parâmetros que podem variar de carga para carga. Variáveis como, por exemplo, os limites da BM dependem da preferência do consumidor, embora seja conveniente serem adequadamente utilizadas. O valor da temperatura interior do FAD no início da simulação também pode variar, bem como o valor da temperatura ambiente, sendo que a temperatura da cozinha é influenciada por diversos parâmetros como a exposição ao sol, tipo de construção. Outras variáveis intrínsecas ao equipamento, que dependem de parâmetros físicos como o produto $M.C_p$ e as características do compressor podem variar entre cargas, uma vez que dois equipamentos, mesmo que construídos com os mesmos materiais e mesmas dimensões, nunca são exatamente iguais. É de realçar que a potência do compressor pode variar, inclusivé, em função da tensão e da frequência da rede.

No que respeita à variação entre grupos, as cargas pertencentes a um mesmo grupo têm em consideração critérios como localização geográfica e características técnicas das cargas. Assim, variáveis como a temperatura ambiente, o produto $M.C_p$, as características do compressor podem ser diferentes, sendo estas variáveis indicadas na folha de cálculo em Excel.

Após o desenvolvimento do modelo de grupos de FAD tornou-se relevante caracterizar o modelo, avaliando o seu comportamento em função de diversos parâmetros e de diferentes tipos de ações de controlo implementado. A análise é feita do ponto de vista de funcionamento agregado, com o intuito de dar uma noção dos impactos das ações de gestão da procura do grupo. É de realçar que os ganhos em termos de eficiência no funcionamento deste tipo de equipamento têm sido fortemente conseguidos na redução das perdas com o exterior, nomeadamente com o recurso a isolamento mais adequado (espessura). A outra forma de atuação, para melhorar a eficiência, é o recurso a motores (compressores) mais eficientes e o recurso a sistemas de trocas de calor (permutadores) com melhor desempenho. Todavia, tem sido ao nível da envolvente que se têm verificado os maiores ganhos em termos de eficiência. No que respeita à envolvente, esta compreende a camada interior, o isolamento e camada exterior, tendo sido a espessura de isolamento a variável manipulada durante a análise efetuada. Assim, neste contexto e embora seja um abuso de linguagem, por aumento de eficiência de um equipamento FAD entenda-se a diminuição de perdas, sendo esta variável minimizada com o aumento da espessura de isolamento do FAD. Um aumento de eficiência corresponde a um aumento da espessura de isolamento. No que respeita à correspondência do nível de eficiência energética com a classificação energética determinada pela União Europeia (UE) tal não foi possível de concretizar. A classificação energética da UE depende de parâmetros como o tipo de FAD, o volume dos respectivos compartimentos, a classe climática, tipo de instalação, o consumo de energia anual, sendo que, neste trabalho, não há possibilidade de estimar todos estes parâmetros e não foi esse o objetivo do trabalho [30].

Nesta análise, é de referir também que não foram consideradas aberturas ou carregamentos no FAD, sendo o termo consumo médio uma reflexão das perdas

de energia. Ou seja, faz-se uma análise independente da utilização que é feita do serviço.

Para esta caracterização, foi simulado o funcionamento de combinados e de arcas frigoríficas. O modelo de combinado utilizado possui 1,85m de altura, com uma largura de 0,6m e um comprimento de 0,6m. No que respeita à espessura de isolamento esta foi variada entre 0,04 e 0,06m. Os compressores do combinado, um para refrigeração e outro para congelação, foram definidos com uma potência de 110 W e um COP de 1,5. O modelo de arca frigorífica utilizado possui uma altura de 0,9m, uma largura de 0,54m e um comprimento de 0,584m. O compressor da arca possui uma potência de 90 W e um COP de 1,3. Para o exemplo de combinados, foi criado um grupo de 3424 equipamentos, variando as características de cada elemento do grupo de acordo com a tabela 3.3. No que respeita às arcas frigoríficas, cada grupo possuía 3500 equipamentos, estando a variação das suas características entre cargas do mesmo grupo também representada na tabela 3.3. O x representa o valor de referência do grupo da variável em questão. Por forma a dar validade estatística aos resultados obtidos, cada grupo foi simulado 30 vezes, sendo os resultados apresentados nesta dissertação a média das 30 simulações.

Tabela 3.3: Variação de Características entre cargas do mesmo grupo para Caracterização de FAD

Variável	Combinado	Arcas Frigorífica
Temperatura Mínima	$x.(1\pm 0,01)$	$x.(1\pm 0,05)$
Temperatura Máxima	$x.(1\pm 0,01)$	$x.(1\pm 0,05)$
Temperatura Ambiente	$x.(1\pm 0,1)$	$x.(1\pm 0,2)$
Potência do compressor	$x.(1\pm 0,1)$	$x.(1\pm 0,05)$
COP	$x.(1\pm 0,1)$	$x.(1\pm 0,1)$
Resistência Térmica	$x.(1\pm 0,07)$ para o congelador	$x.(1\pm 0,07)$
	$x.(1\pm 0,08)$ para o refrigerador	
$M.C_p$	$x.(1\pm 0,001)$ para o congelador	$x.(1\pm 0,001)$
	$x.(1\pm 0,0015)$ para o refrigerador	

3.4.3 Análise de Sensibilidade

Depois de implementar a ferramenta que permite simular o funcionamento de grupos de cargas, efetuou-se uma análise de sensibilidade a dois parâmetros: temperatura ambiente e espessura de isolamento. A análise que se faz é feita separadamente para cada variável. Embora se analisem os resultados em função de diferentes variáveis, apenas são apresentados os resultados em função de uma delas, sendo os resultados das restantes comparações apresentadas no Anexo C.

Para a caracterização em função da temperatura ambiente, manteve-se a temperatura do termóstato do FAD e a espessura de isolamento constante, por forma a

analisar o impacto da variação da temperatura ambiente. Nesta análise, obteve-se o Fator de Coincidência (FC), o qual se entende como sendo o quociente entre a potência máxima do diagrama de carga soma com a soma das potências máximas, como mostra a respectiva equação 3.5 [26].

$$FC = \frac{P_{m\acute{a}x}(DDC_{soma})}{\sum P_{m\acute{a}x}(DDC)} \quad (3.5)$$

O FC é um parâmetro que reflete a percentagem de potência solicitada à rede. Isto é, quando se diz que um grupo apresenta um fator de coincidência médio de 0,1, diz-se que a potência que está a ser pedida à rede corresponde à potência total do grupo multiplicada por 0,1.

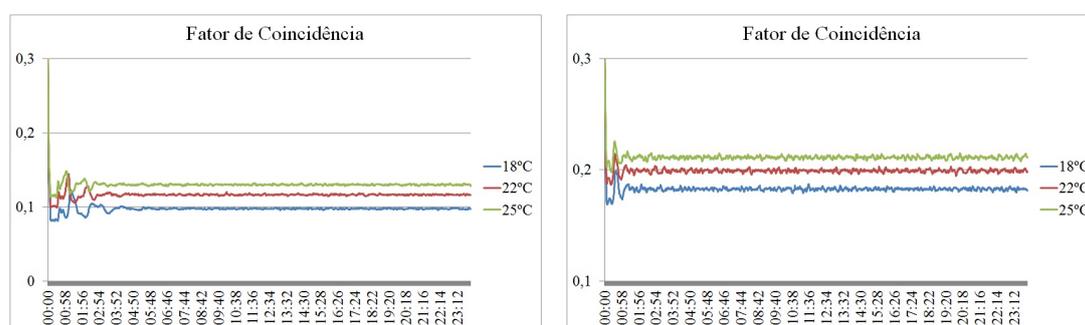


Figura 3.6: Fator de Coincidência em função da temperatura ambiente num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), tendo ambos os equipamentos uma espessura de isolamento de 0,04m e as temperaturas limite dos termóstato entre os -21°C e -19°C , no caso da congelação, e entre 4°C e 6°C , no caso da refrigeração.

Com esta simulação, foi possível verificar que, de uma forma geral, o fator de coincidência aumentou com o aumento da temperatura ambiente (figura 3.6), bem como o consumo médio por parte do FAD. Tal justifica-se pelo aumento da diferença de temperatura entre o exterior e o interior do equipamento, o que aumenta as perdas e exige mais do compressor para retirar calor do interior, o que faz com que esteja mais tempo em funcionamento e, portanto, aumenta o FC. A necessidade de identificar recursos disponíveis de forma mais expedita leva-nos à necessidade da construção de relações entre alguns parâmetros principais que caracterizam este tipo de cargas, possibilitando, desta forma, essa identificação. Assim, apresentam-se equações que tentam otimizar esta identificação. Para o fator de coincidência do combinado, a equação da reta de tendência obtida é $y = 0,0046x + 0,0149$ e, para o caso da arca frigorífica, $y = 0,0041x + 0,11$, onde x representa a temperatura ambiente e y o fator de coincidência. No que respeita ao consumo médio, para o combinado foi obtida a equação de recta $y = 25,619x + 82,354$ por equipamento e, para a arca, $y = 9,209x + 249,275$ por equipamento, onde x representa a temperatura ambiente e y representa o consumo médio. A tabela resumo das equações obtidas para as diferentes parametrizações pode ser vista no Anexo D.

Tabela 3.4: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Consumo médio/equip [Wh]	542,943	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	17,978	22,619	25,191	15,236	19,259	22,127	13,124	16,659	19,185
Número de Ciclos OFF	18,567	23,178	26,451	15,839	19,835	22,686	13,736	17,250	19,761
Tempo ON	8,950	8,993	9,012	9,169	9,207	9,227	9,396	9,420	9,441
Tempo OFF	71,961	55,217	46,995	86,458	66,295	56,428	101,811	77,978	66,359
Consumo médio/equip [Wh]	306,975	388,478	446,297	266,255	338,338	389,855	234,726	299,200	345,475
Peso no Consumo (R+C)	0,565	0,601	0,618	0,579	0,615	0,632	0,658	0,690	0,707
Congelador									
Número de Ciclos ON	38,260	41,836	44,493	30,903	33,819	36,040	19,261	21,130	22,606
Número de Ciclos OFF	38,878	42,447	45,094	31,529	34,443	36,657	19,915	21,783	23,252
Tempo ON	3,208	3,218	3,225	3,257	3,269	3,272	3,293	3,304	3,299
Tempo OFF	34,583	31,332	29,255	43,586	39,513	36,861	72,102	65,359	60,853
Consumo médio/equip [Wh]	235,932	258,802	275,794	193,484	212,524	226,705	121,923	134,172	143,342
Peso no Consumo (R+C)	0,435	0,399	0,382	0,421	0,386	0,368	0,342	0,310	0,293

No que respeita ao combinado, ao analisar de forma individual o refrigerador e o congelador, foi possível observar que os tempos OFF diminuíram significativamente com o aumento da temperatura. No que respeita aos tempo ON, estes também apresentaram alguma variação mas muito ligeira. Tal pode ser justificado pelo aumento da diferença de temperatura que se verificou entre a temperatura que se pretende manter no interior do frigorífico e a temperatura no exterior deste. Assim, verifica-se que o número de ciclos do FAD aumentaram (tabela 3.4). Um comportamento igual foi verificado nas arcas frigoríficas (tabela 3.5).

Relativamente às percentagens de consumo por cada compartimento do consumo total verificado por parte do FAD, notou-se que o peso do consumo do refrigerador teve tendência a aumentar com o aumento da temperatura ambiente (tabela 3.4). Tal justifica-se pelo facto de a diferença de temperatura ser maior no refrigerador do que no congelador.

Mantendo a temperatura do termóstato constante, bem como a temperatura ambiente, verificou-se que, com o aumento da espessura de isolamento, de uma forma geral, o fator de coincidência e o consumo médio tiveram tendência a diminuir (figura 4.2).

Tabela 3.5: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Consumo médio/equip [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Número de Ciclos ON	42,002	45,546	48,071	36,706	39,949	42,225	32,359	35,279	37,332
Número de Ciclos OFF	42,521	46,047	48,560	37,243	40,469	42,733	32,918	35,818	37,864
Tempo ON	6,287	6,327	6,355	6,402	6,420	6,448	6,517	6,537	6,564
Tempo OFF	28,134	25,418	23,719	33,017	29,789	27,804	38,217	34,484	32,191

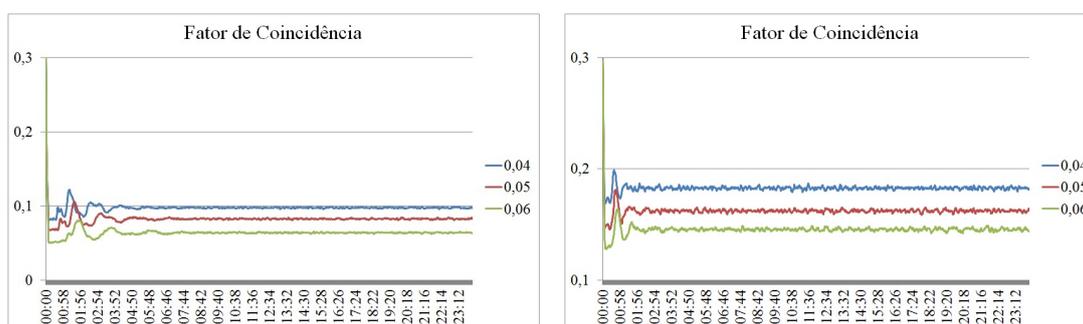


Figura 3.7: Fator de Coincidência em função da espessura de isolamento num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), estando ambos os equipamentos uma temperatura ambiente de 18°C e as temperaturas limite dos termóstato entre os -21°C e -19°C , no caso da congelação, e entre 4°C e 6°C , no caso da refrigeração.

No que respeita às equações da reta de tendência, para o combinado foi obtida a equação $y = -1,6797x + 0,1657$, para o caso do fator de coincidência, onde x representa a espessura de isolamento e y o fator de coincidência, e $y = -8761,682x + 876,168$ para o consumo médio por equipamento, onde x representa a espessura de isolamento e y o consumo médio. Relativamente à arca, as respectivas retas de tendência são dadas por $y = -1,8574x + 0,2566$, onde y representa o fator de coincidência, e $y = -2857,143x + 571,429$ por equipamento, onde y representa o consumo médio, sendo x , em ambas, a espessura de isolamento. A tabela resumo das equações obtidas para as diferentes parametrizações pode ser vista no Anexo D.

No caso do combinado, verificou-se que o refrigerador e o congelador apresentaram, ambos um aumento significativo do tempo OFF. Ou seja, com o aumento da espessura de isolamento, o tempo durante o qual o FAD se consegue manter sem entrar em funcionamento aumenta. Este comportamento é justificado pelo aumento da que se verifica da espessura de isolamento e, tal como anteriormente explicado, há uma diminuição das perdas, o que permite a manutenção da temperatura interior por um maior período de tempo (tabela 3.6).

Tabela 3.6: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Consumo médio/equip [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,092	616,559	488,817
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	17,978	15,236	13,124	22,619	19,259	16,659	25,911	22,127	19,185
Número de Ciclos OFF	18,567	15,839	13,736	23,178	19,835	17,250	26,451	22,686	19,761
Tempo ON	8,950	9,169	9,396	8,993	9,207	9,420	9,012	9,227	9,441
Tempo OFF	71,961	86,458	101,811	55,217	66,295	77,978	46,995	56,428	66,359
Consumo médio/equip [Wh]	306,975	266,255	234,726	388,478	338,338	299,200	446,297	389,855	345,475
Peso no Consumo (R+C)	0,565	0,579	0,658	0,601	0,614	0,690	0,618	0,632	0,707
Congelador									
Número de Ciclos ON	38,260	30,903	19,261	41,836	33,819	21,130	44,494	36,040	22,606
Número de Ciclos OFF	38,878	31,529	19,915	42,447	34,443	21,783	45,094	36,657	23,252
Tempo ON	3,208	3,257	3,294	3,218	3,269	3,304	3,225	3,272	3,299
Tempo OFF	34,583	43,586	72,102	31,332	39,513	65,359	29,255	36,861	60,853
Consumo médio/equip [Wh]	235,932	193,484	121,923	258,802	212,524	134,172	275,794	226,705	143,342
Peso no Consumo (R+C)	0,435	0,421	0,342	0,399	0,386	0,310	0,382	0,368	0,293

No que respeita ao comportamento da arca frigorífica, tiraram-se as mesmas conclusões que para o combinado (tabela 3.7).

Tabela 3.7: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Consumo médio/equip [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,320	427,108	384,303
Número de Ciclos ON	42,002	36,706	32,359	45,546	39,948	35,279	48,071	42,225	37,332
Número de Ciclos OFF	42,521	37,243	32,918	46,047	40,469	35,818	48,560	42,733	37,864
Tempo ON	6,297	6,402	6,517	6,237	6,420	6,537	6,355	6,448	6,564
Tempo OFF	28,134	33,017	38,217	25,418	29,789	34,484	23,719	27,804	32,191

Capítulo 4

Caracterização do Impacto de Ações de Gestão da Procura

Para a caracterização do impacto de ações, recorreu-se à realização intensiva de simulações com recurso aos MFB, em que se variaram alguns parâmetros (figura 4.1). Basicamente, procurou-se simular três diferentes tipos de ações: alteração permanente (24h) do valor de referência do termóstato (Fase 1), corte de alimentação (Fase 2) e alterações por períodos de tempo do valor de referência do termóstato (Fase 3). Esta análise é efetuada para diferentes valores de espessura de isolamento e de temperatura ambiente. Em relação à análise destas três fases, é de realçar que, na segunda fase e na terceira fase, a análise foi mais virada para a interpretação da influência das ações de gestão da procura no que respeita ao tempo de estabilização, consumo médio, variação da amplitude após ação, tempo de resposta, tempo de disponibilidade total em função da duração das ações. Foi uma análise mais focada na capacidade de utilizar o FAD para fornecer SS numa dada altura do dia. Por forma a ter validação estatística, a análise foi efetuada recorrendo a 30 simulações de um mesmo conjunto de cargas. Estas simulações de MC foram efetuadas considerando a variação uniformemente distribuída para os parâmetros que variam entre as simulações, conforme descrito no capítulo 3.

Tendo em consideração a necessidade de também analisar o impacto na qualidade do serviço de energia fornecido das simulações, no caso dos cortes, foram também retirados dados como o número de cargas que ultrapassaram limites definidos de temperatura para a manutenção de uma boa qualidade de serviço, o tempo durante o qual este limite foi ultrapassado e qual a temperatura máxima das temperaturas máximas que foi atingida. Da análise do rótulo de diversos alimentos, estes limites foram estabelecidos em 8°C para a parte de refrigeração e $-17,8^{\circ}\text{C}$ para a parte de congelação.

A análise que se faz é feita separadamente para cada tipo de ação de gestão da procura. Embora se analisem os resultados em função de diferentes variáveis, apenas são apresentados os resultados em função de uma delas, sendo os

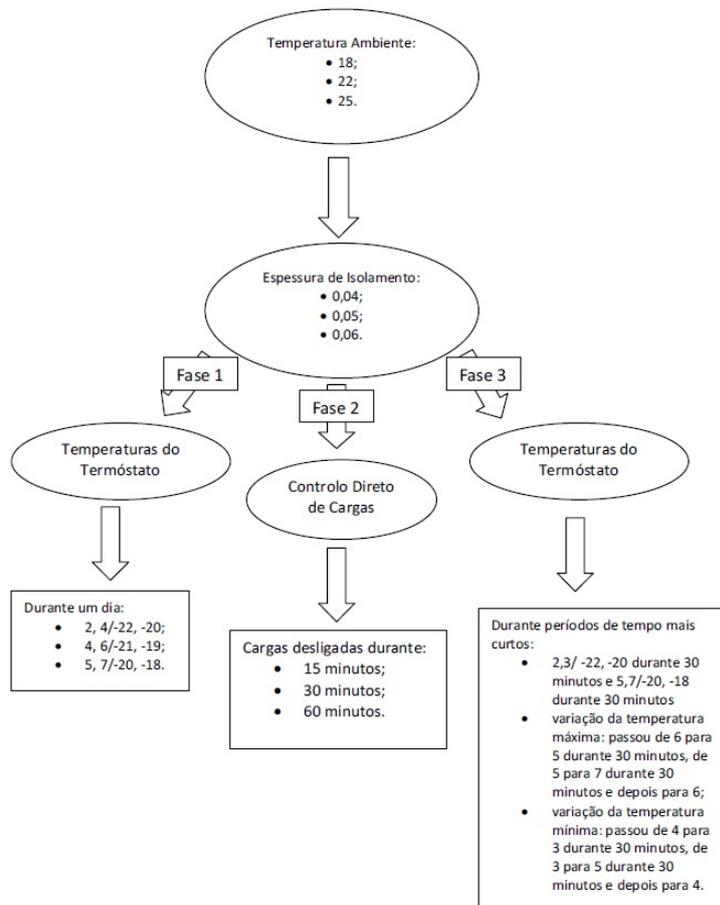


Figura 4.1: Valores considerados para alguns dos parâmetros nas simulações realizadas para caracterização do grupo de combinado e de arca frigorífica.

resultados das restantes comparações apresentadas nos Anexos C, E, F, G, H, I. No Anexo B, também poderá ser encontrada informação sobre a obtenção do parâmetro tempo de estabilização e a justificação para que este valor não tenha sido analisado.

4.1 Impacto da alteração do valor de referência do termóstato ao longo de um dia

No que respeita à análise do comportamento do FAD perante a variação da temperatura do termóstato, mantendo a temperatura ambiente e a espessura de isolamento constante, verificou-se que, de uma forma geral, em ambos os tipos de FAD houve uma tendência para diminuir o fator de coincidência (figura 4.2) e o consumo médio com o aumento das temperaturas do termóstato.

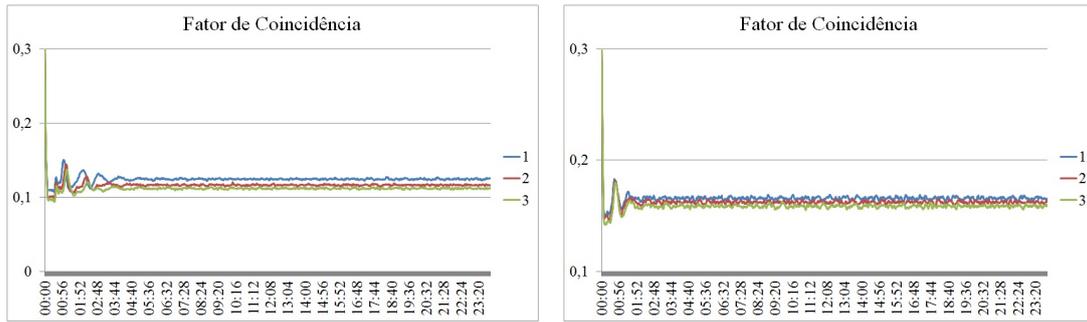


Figura 4.2: Fator de Coincidência em função das temperaturas limite do termóstato num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), estando ambos os equipamentos a uma temperatura ambiente de 25°C e com uma espessura de isolamento de 0,04m.

Relativamente às equações das retas de tendência, no caso do combinado, para o fator de coincidência é descrita por $y = -0,006x + 0,1434$, onde x representa a escala de temperaturas do termóstato do FAD e y o fator de coincidência e, para o consumo médio, $y = -33,532x + 876,168$ por equipamento, onde y , neste caso, representa o consumo médio. Para as arcas frigoríficas, na mesma ordem que foram indicadas para o combinado, $y = -0,0037x + 0,2187$ e $y = -8,357x + 571,429$ por equipamento. No que respeita à escala de temperaturas, entenda-se o valor 1 dessa escala como temperaturas no refrigerador entre 2°C e 4°C e, no congelador, temperaturas entre -22°C e -20°C; o valor 2 como temperaturas no refrigerador entre 4°C e 6°C e, no congelador, temperaturas entre -21°C e -19°C; e o valor 3 como temperaturas no refrigerador entre 5°C e 7°C e, no congelador, temperaturas entre -20°C e -18°C. A tabela resumo das equações obtidas para as diferentes parametrizações pode ser vista no Anexo D.

Numa análise individual e mais pormenorizada, foi possível verificar que no combinado houve um aumento significativo do tempo OFF. Isto é, com o aumento das temperaturas do termóstato, houve uma maior aproximação da temperatura interior do FAD à temperatura no exterior, não havendo necessidade do FAD entrar tantas vezes em funcionamento. O FAD conseguiu permanecer mais tempo desligado, aumentando, assim, os tempos OFF. No que respeita aos tempos ON, mais uma vez, a sua variação foi muito reduzida (tabela 4.1).

Tabela 4.1: Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,138	0,130	0,126	0,118	0,111	0,107	0,094	0,088	0,085
Consumo médio/equip [Wh]	764,714	722,091	697,649	654,229	616,559	594,971	521,868	488,829	470,647
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	27,859	25,911	24,936	23,853	22,127	21,283	20,702	19,185	18,426
Número de Ciclos OFF	28,384	26,451	25,483	24,399	22,686	21,849	21,266	19,761	19,008
Tempo ON	9,078	9,012	8,968	9,287	9,227	9,174	9,506	9,441	9,393
Tempo OFF	43,001	46,995	49,231	51,605	56,428	59,087	60,727	66,359	69,537
Consumo médio/equip [Wh]	483,377	446,297	427,377	423,004	389,855	372,843	375,489	345,475	330,218
Peso no Consumo (R+C)	0,632	0,618	0,613	0,647	0,632	0,627	0,719	0,707	0,702
Congelador									
Número de Ciclos ON	45,473	44,493	43,429	36,909	36,040	35,211	23,137	22,606	22,035
Número de Ciclos OFF	46,068	45,094	44,032	37,526	36,656	35,827	23,785	23,252	22,687
Tempo ON	3,218	3,225	3,238	3,258	3,272	3,283	3,289	3,299	2,316
Tempo OFF	22,558	29,255	30,043	35,922	36,861	37,806	59,374	60,953	62,518
Consumo médio/equip [Wh]	281,337	275,794	270,272	231,225	226,705	222,128	146,340	143,342	140,429
Peso no Consumo (R+C)	0,368	0,382	0,387	0,353	0,368	0,373	0,281	0,293	0,298

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela 4.2: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,215	0,211	0,208	0,192	0,188	0,185	0,173	0,169	0,166
Consumo médio/equip [Wh]	487,673	479,319	470,959	434,650	427,108	419,662	391,311	384,303	377,418
Número de Ciclos ON	49,064	48,071	47,129	43,029	42,225	41,381	38,219	37,332	36,569
Número de Ciclos OFF	49,549	48,560	47,624	43,538	42,733	41,898	38,748	37,864	37,103
Tempo ON	6,333	6,355	6,369	6,439	6,448	6,465	6,526	6,564	6,581
Tempo OFF	23,127	23,719	24,307	27,165	27,804	28,488	31,323	32,191	32,990

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Na arca frigorífica, verificou-se o mesmo que no combinado, um aumento do tempo OFF e uma variação muito pequena dos tempos ON (tabela 4.2).

4.2 Caracterização do impacto de ações de controlo direto

A ação isolada aplicada correspondeu à realização de um corte com duração de 15, 30 e 60 minutos, tendo todos eles início às 12h, no caso das arcas frigoríficas (figura 4.3) e, no caso dos combinados, às 6h.

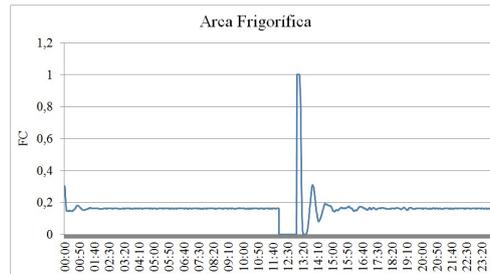


Figura 4.3: Fator de Coincidência com a aplicação de um corte de 60 minutos numa arca frigorífica às 12h, a 18°C e com uma espessura de isolamento 0,05m.

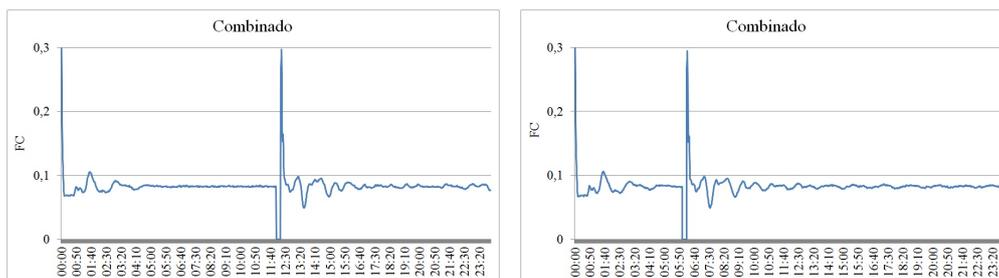


Figura 4.4: Fator de Coincidência com a aplicação de um corte de 15 minutos num combinado às 12h (à esquerda) e num combinado às 6h (à direita), a 18°C e com uma espessura de isolamento 0,05m.

Nos combinados foi realizado a esta hora, uma vez que, com cortes às 12h, nem sempre foi possível verificar a estabilização do grupo, como se pode ver na figura 4.4 (imagem à esquerda). Observando que às 6h o grupo já se encontrava estabilizado, antecipou-se o corte para esta hora, como é visível na figura 4.4 (imagem à direita).

Com a realização do corte (tabelas 4.3 e 4.4), verificou-se que, em ambos os equipamentos, toda a potência média pedida pelo grupo fica imediatamente disponível, isto é, o consumo por parte do grupo de FAD passou de imediato a zero. Após a realização do corte, verificou-se a existência de um pico de consumo, pico este que, analisando para a mesma espessura de isolamento, aumentou com o aumento da temperatura ambiente. Isto é, com o aumento da temperatura exterior, verifica-se uma maior diferença entre a temperatura no interior do FAD e a temperatura exterior, levando a que a temperatura no interior do FAD aumente

mais depressa. Assim, quando é retirado o corte, o grupo necessita de pedir à rede mais potência para repor a temperatura interior dentro da gama estabelecida para cada carga. No entanto, este pico é menor com o aumento da espessura de isolamento para a mesma temperatura ambiente. Neste caso, esta diminuição ocorre devido às menores perdas que ocorrem com o aumento da espessura de isolamento, sendo que a temperatura no interior do FAD não é tão deteriorada. A ocorrência deste pico não se verificou imediatamente após a retirada da ação, levando uns minutos até surgir, no caso de cortes de 15 e 30 minutos, no que respeita às arcas frigoríficas. Tais dados encontram-se no Anexo E. Este tempo pode ser justificado pelos diferentes impactos que o corte teve em cada carga, sendo que algumas cargas poderão não ter sido tão afetadas como outras e pelo facto de o combinado ser para todos os efeitos duas cargas controladas. Um fator que pode influenciar este aspeto é o ciclo de funcionamento em que cada carga se encontrava quando ocorreu o corte. Para cortes de 60 minutos, este pico verificou-se no minuto seguinte à retirada da ação, no caso das arcas frigoríficas, o que indica que uma grande parte das cargas foram afetadas. Relativamente aos combinados, nos três cortes o pico levou algum tempo até surgir.

Tabela 4.3: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,182	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Consumo médio/equip [Wh]	413,861	450,965	478,141	367,782	401,615	426,331	330,443	361,134	383,813
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Pico após corte [FC]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duração do pico [min]	9	10	11	7	8	9	7	7	8
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	27,977	33,105	36,404	21,039	25,351	28,852	17,267	19,918	22,219
Temperatura Máxima [°C]	-14,479	-13,929	-13,569	-15,124	-14,664	-14,329	-15,678	-15,243	-14,939
Número de cargas	3498,138	3500	3500	3276,517	3476,103	3499	2636,414	3134	3356,034
Tempo de estabilização [min]	285	269	283	296	298	263	306	308	290

Tabela 4.4: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,116	0,129	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Consumo Médio/equip [Wh]	541,887	645,941	720,551	458,985	549,896	615,471	356,298	432,884	488,202
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Pico após corte [FC]	0,941	0,998	0,999	0,867	0,964	0,997	0,721	0,849	0,925
Tempo até atingir o pico [min]	5	5	2	4	5	5	3	3	3
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	19,761	23,099	25,988	15,058	16,985	18,333	7,488	8,702	9,461
Temperatura Máxima [°C]	-15,071	-14,675	-14,275	-15,869	-15,500	-15,243	-17,107	-16,908	-16,719
Número de cargas	3159,689	3378,138	3418,931	2101,207	2621	2924,103	324,897	524,207	781,276
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	3,591	8,556	12,595	0,724	5,206	8,556	0	3,036	5,593
Temperatura Máxima [°C]	8,371	8,919	9,348	8,077	8,587	8,966	7,842	8,277	8,611
Número de cargas	61,034	786	1494,931	0,448	221,310	756,655	0	29,345	243,862
Tempo de estabilização [min]	396	374	438	429	343	471	459	546	493

É de realçar que estas observações foram verificadas na análise individual de cada corte, em ambos os equipamentos. No caso do corte de 60 minutos, para as arcas frigoríficas, foi possível verificar que a duração do pico após o corte aumenta com o aumento da temperatura, para a mesma espessura de isolamento. Tal deve-se à diferença de temperaturas entre o interior do FAD e o exterior, sendo pedida potência à rede durante um maior período de tempo para repor a temperatura pretendida no interior do FAD. Por sua vez, mantendo a temperatura ambiente constante, observou-se que a duração do pico diminui com o aumento da espessura de isolamento. Isto é, verificam-se menores perdas, conseguindo, com menores consumos, reduzir mais depressa a temperatura no interior do FAD sem ser necessário solicitar tanta potência à rede.

No que respeita ao número de cargas que ultrapassaram o limite mínimo de temperatura definido para a manutenção de uma boa qualidade de serviço por parte do FAD, em ambos os equipamentos verificou-se que, para a mesma espessura de isolamento, este número aumentou com o aumento da temperatura ambiente, aumentando, também, o tempo durante o qual a temperatura limite é ultrapassada. Na avaliação de diferentes espessuras de isolamento a uma mesma temperatura ambiente, observou-se que o número de cargas que ultrapassou o limite diminui com o aumento da espessura de isolamento, bem como o tempo durante o qual ocorre a ultrapassagem do limite.

Comparando os diferentes cortes efetuados nos dois equipamentos (tabelas 4.5 e 4.6), observou-se que quanto maior o corte, menor o fator de coincidência, menor o consumo médio por parte do FAD e, além disso, maior o pico de consumo após a retirada da ação, em ambos os equipamentos. A variação do fator de coincidência justifica-se com o menor número de cargas que se encontram simultaneamente em funcionamento, isto é, com a ocorrência do corte, durante um período de tempo vão estar todas desligadas e, quanto maior o corte, maior esse período de tempo. No que respeita à duração do pico de consumo, no caso das arcas frigoríficas, verificou-se que este também aumenta com o aumento do tempo da ação. Também o número de cargas que ultrapassaram o limite aumentou em ambos os equipamentos.

Realce-se que, a aplicação deste tipo de ações, poderá não ser indicado em equipamentos que possuam tempos OFF curtos, o que levará a que a realização de cortes possa, facilmente, deteriorar a qualidade de serviço prestado pelo equipamento. Tal verificou-se neste estudo. A arca frigorífica utilizada, e já caracterizada no capítulo 3, corresponde a arcas pouco eficientes que ainda se encontram em utilização. No entanto, na aplicação de ações do tipo controlo direto, estes fatores deverão ser tidos em conta.

Tabela 4.5: Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,117	0,117	0,117	0,099	0,099	0,099	0,078	0,078	0,078
Referência [FC]	0,117			0,099			0,078		
Consumo médio/equip [Wh]	647,275	647,102	645,941	550,788	550,93	549,896	433,445	433,461	432,884
Referência [Wh]	647,280			550,861			433,372		
Pico após corte [FC]	0,429	0,761	0,998	0,352	0,641	0,964	0,237	0,449	0,849
Número de cargas que ultrapassou limite - 17,8°C	0	732,897	3378,138	0	201,966	2621,035	0	0	524,207
Temperatura Máxima [°C]	-17,834	-16,743	-14,675	-18,089	-17,215	-15,500	-18,444	-17,935	-16,908
Número de cargas que ultrapassou limite 8°C	0	0	786	0	0	221,310	0	0	29,345
Temperatura Máxima [°C]	7,246	7,789	8,919	7,126	7,624	8,587	7,047	7,487	8,277

Tabela 4.6: Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,199	0,199	0,199	0,177	0,177	0,177	0,159	0,159	0,159
Referência [FC]	0,199			0,177			0,159		
Consumo médio/equip [Wh]	452,185	451,934	450,965	402,415	402,353	401,615	361,999	361,668	361,134
Referência [Wh]	452,219			402,350			361,714		
Pico após corte [FC]	0,749	0,998	1	0,645	0,978	1	0,561	0,920	1
Duração do pico [min]	1	1	10	1	1	8	1	1	7
Número de cargas	8,483	1332,931	3500	0	705,897	3476,103	0	311,172	3134
Temperatura Máxima [°C]	-17,628	-16,384	-13,929	-17,854	-16,758	-14,664	-18,013	-17,075	-15,243

4.3 Ações várias de reparametrização do termóstato

4.3.1 Manipulação do limite superior e inferior de temperatura do termóstato

A manipulação do limite superior e inferior de temperatura do termóstato foi realizada às 12h, sendo que, estando anteriormente com temperaturas limite de 4°C e 6°C no refrigerador do combinado e temperaturas limite de -21°C e -19°C no congelador do combinado e na arca frigorífica, durante 30 minutos aplicou-se uma redução para temperaturas limite de 2°C e 3°C no refrigerador do combinado e temperaturas limite de -22°C e -20°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Após estes 30 minutos, aplicou-se uma segunda ação, também de 30 minutos, onde foram aplicadas temperaturas limite de 5°C e 7°C no refrigerador do combinado e temperaturas limite de -20°C e -18°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Ao fim destes 30 minutos, foram restabelecidas as condições iniciais do FAD, ou seja, a preferência do utilizador final. Um exemplo do comportamento do FAD perante estas ações é visível na figura 4.5. É de realçar que foi omitido o eixo secundário, relativo à gama de temperaturas, para não sobrecarregar a imagem de informação e evitar a minimização da informação relevante a analisar. Por forma a permitir uma melhor análise do impacto de ações no comportamento do FAD, é mostrado o período de tempo em que foram aplicadas as ações.

Pela análise dos dados obtidos das simulações (tabelas 4.7 e 4.8), foi possível constatar que não é imediato o alcance do consumo nulo por parte do FAD com a aplicação da segunda ação, sendo que nos combinados este tempo foi constante para qualquer espessura de isolamento, não se verificando o mesmo para as arcas frigoríficas. No caso das arcas frigoríficas, verificou-se que o tempo

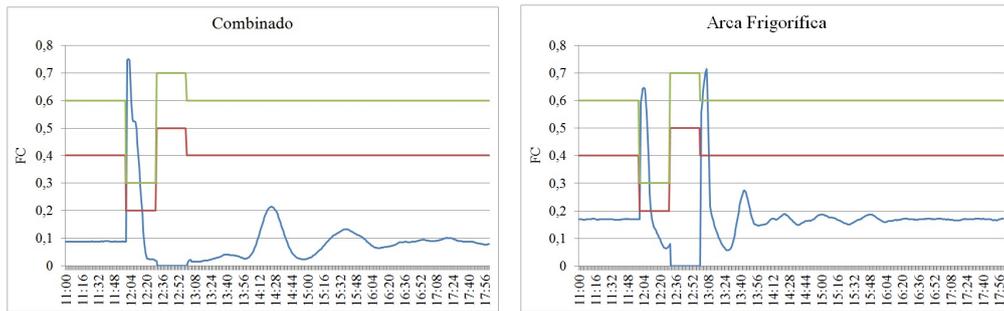


Figura 4.5: Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 25°C e com uma espessura de isolamento 0,06m. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.

que se demorou a atingir o consumo nulo desde a aplicação da segunda ação foi menor na espessura de isolamento 0,04m do que nas restantes. As espessuras de isolamento 0,05m e 0,06m apresentaram um tempo igual para 18°C e 22°C, sendo que a 25°C o maior tempo corresponde à espessura de 0,06m. Este desfasamento pode ser justificado pelo diferentes regimes de funcionamento de algumas cargas do grupo.

O tempo durante o qual se verificou consumo nulo por parte do FAD, no que respeita às arcas frigoríficas, aumentou com o aumento da espessura de isolamento para temperaturas de 22°C e 25°C. Para a temperatura de 18°C, verificou-se, igualmente, um aumento comparando a espessura de isolamento 0,04m com a espessura de isolamento 0,05m, mas a espessura de isolamento 0,05m e 0,06m apresentaram um valor igual. Relativamente aos combinados, este tempo aumentou da espessura de isolamento 0,04m para a espessura de isolamento 0,05m, mas a espessura de isolamento 0,05m e 0,06m apresentaram um valor igual para as diferentes temperaturas ambiente. Tal ocorre devido às menores perdas que se verificam com o aumento da espessura de isolamento.

É de notar que o término do consumo nulo não correspondeu ao final da segunda ação, sendo que, nas arcas frigoríficas, este tempo diminui com o aumento da espessura de isolamento a uma dada temperatura ambiente. Tal significa que a disponibilização de tempo de consumo nulo com este tipo de ação estará limitado no tempo e tem que ser identificado. No caso dos combinados, apenas se verifica a ocorrência de desfasamento entre o consumo nulo e o término da ação para a espessura de isolamento de 0,04m. Mais uma vez, tal fenómeno está relacionado com as perdas que ocorrem em baixas espessuras de isolamento. Isto é, quanto menor a espessura de isolamento, mais perdas se vão verificar, tendo o FAD de entrar em funcionamento para repor a temperatura no interior do frigorífico dentro dos limites especificados pelo utilizador.

Após o consumo nulo por parte FAD, no caso das arcas frigoríficas, verificou-se que o maior pico de consumo ocorria após a retirada da segunda ação. O pico de consumo verificado diminui com o aumento da espessura de isolamento para uma

Tabela 4.7: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Consumo Médio/equip [Wh]	414,899	368,645	330,816	452,117	402,535	361,824	479,472	427,398	384,594
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Pico após primeira ação [FC]	0,657	0,643	0,624	0,671	0,653	0,635	0,682	0,663	0,647
Tempo até atingir o pico [min]	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	3	4	4	2	4	4	2	3	4
Tempo de consumo nulo [min]	22	26	26	20	23	26	19	21	25
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	0	0	8	3	0	9	6	1
Pico após consumo nulo [FC]	0,864	0,678	0,393	0,910	0,809	0,593	0,897	0,868	0,715
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	6	5	11	8	6	12	11	7
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	6	5	3	5	6	3	5	6
Tempo de estabilização [min]	296	333	228	252	272	276	222	238	199

dada temperatura ambiente. Por sua vez, nos combinados, foi possível verificar que, nalguns casos, o maior pico de consumo ocorre um considerável período de tempo após a retirada da ação. O primeiro pico que ocorreu foi máximo para temperaturas ambiente inferiores a 25°C na espessura de isolamento de 0,04m, sendo que a uma temperatura ambiente de 25°C, este pico máximo também correspondeu ao primeiro pico para uma espessura de isolamento de 0,05m. É de realçar que se verificou que o pico de consumo diminui com o aumento da espessura de isolamento para a mesma temperatura ambiente, em ambos os equipamentos. Este pico máximo ocorre devido à redução de temperaturas limite do termóstato. Como para a espessura de isolamento de 0,04m se verificam maiores perdas, este atinge temperaturas superiores no FAD em comparação com as outras espessuras, necessitando de pedir mais potência à rede. As diferenças entre o grupo de arcas frigoríficas e o grupo de combinados justifica-se por o combinado ser constituído por duas cargas, o refrigerador e o congelador. Sendo a variação de temperaturas no refrigerador superior à do congelador e da arca, este diminui muito mais a sua temperatura interior, não necessitando de pedir tanta potência à rede como no caso do congelador e da arca frigorífica. Este comportamento do refrigerador influencia, também, o pico tardio de potência máxima solicitada à rede.

Tabela 4.8: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,065	0,117	0,099	0,079	0,131	0,111	0,088
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Consumo Médio/equip [Wh]	545,311	462,007	359,016	649,219	552,729	435,319	723,537	617,974	490,619
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	488,817
Pico após primeira ação [FC]	0,765	0,757	0,747	0,768	0,761	0,749	0,771	0,762	0,750
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de consumo nulo [min]	27	28	28	24	28	28	22	28	28
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	0	0	4	0	0	6	0	0
Pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,115	0,033	0,359	0,188	0,037	0,366	0,251	0,039
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	3	62	6	3	44	8	3	37
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	3	62	2	3	44	2	3	37
Maior pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,163	0,145	0,359	0,239	0,189	0,366	0,251	0,215
Tempo até atingir o maior pico após o consumo nulo [min]	4	118	145	6	82	104	8	3	84
Tempo até atingir o maior pico após fim da segunda ação [min]	3	118	145	2	82	104	2	3	84
Tempo de estabilização [min]	428	407	485	396	435	416	383	399	416

Analisando a influência da variação da temperatura para a mesma espessura de isolamento, verificou-se que o tanto o fator de coincidência como o consumo aumentaram com o aumento da temperatura ambiente, tanto nas arcas frigoríficas como nos combinados. No que respeita ao pico alcançado após a aplicação da primeira ação, verificou-se que este aumentou com o aumento da temperatura ambiente nos dois tipos de FAD analisados. O tempo ao fim do qual este pico foi atingido é constante para qualquer temperatura ambiente, sendo que é maior nas arcas frigoríficas quando comparado com o tempo que os combinados demoraram a alcançá-lo. Uma vez que os dados eram os mesmo que os dados das tabelas 4.7 e 4.8 apenas com uma organização diferente, foram colocadas no Anexo F.

No que respeita ao alcance do consumo nulo, este não foi imediato em nenhum dos equipamentos. No entanto, para os combinados, verificou-se que este tempo é constante para qualquer temperatura ambiente, sendo o tempo durante o qual se verifica o consumo nulo constante para a espessura de isolamento de 0,05m e

0,06m. No caso da espessura de isolamento 0,04m, verificou-se um diminuição do tempo de consumo nulo com o aumento da temperatura ambiente. Relativamente às arcas frigoríficas, este tempo diminuiu com o aumento da temperatura ambiente, excepto na espessura de isolamento 0,06m que, perante temperaturas inferiores a 25°C, conseguiu manter um tempo constante de consumo nulo.

Analisando os picos de maior consumo após a retirada da segunda ação, verifica-se que estes, no caso dos combinados, aumentaram com o aumento da temperatura.

4.3.2 Manipulação do limite superior de temperatura do termóstato

A manipulação do limite superior de temperatura do termóstato foi realizada às 12h, sendo que, estando anteriormente com temperaturas limite de 4°C e 6°C no refrigerador do combinado e temperaturas limite de -21°C e -19°C no congelador do combinado e na arca frigorífica, durante 30 minutos reduziu-se o valor do limite superior de temperatura para 5°C no refrigerador do combinado e -20°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Após estes 30 minutos, aplicou-se uma segunda ação, também de 30 minutos, onde foram aplicadas temperaturas de 7°C no refrigerador do combinado e de -18°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Ao fim destes 30 minutos, foram restabelecidas as condições iniciais do FAD, ou seja, a preferência do utilizador final. Aplicando as ações descritas, é possível ver um exemplo do comportamento do FAD ao longo de um dia na figura 4.6.

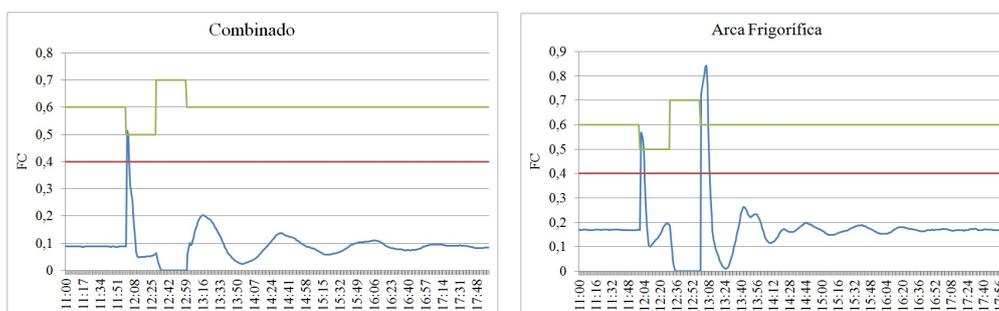


Figura 4.6: Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 25°C e com uma espessura de isolamento 0,06m. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.

Após a aplicação da primeira ação, observou-se a ocorrência de um pico máximo de consumo coincidente com a aplicação da ação em ambos os equipamentos. Este pico é imediato, pois foi manipulado o limite superior, sendo que parte do número de cargas poderia estar acima do novo valor estabelecido. Por sua vez, na aplicação da segunda ação, o consumo nulo por parte do FAD não se

verificou de imediato, sendo que, nos combinados, verificou-se que o tempo que vai desde a aplicação da segunda ação até ao consumo nulo foi constante para as três espessuras analisadas (tabelas 4.9 e 4.10).

Tabela 4.9: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Consumo Médio/equip [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,706	479,260	427,130	384,244
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Pico após primeira ação [FC]	0,574	0,565	0,555	0,579	0,571	0,563	0,585	0,576	0,569
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	8	8	7	7	8	7	8	8
Tempo de consumo nulo [min]	18	21	22	15	19	22	14	16	20
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	1	0	8	4	0	9	6	2
Pico após consumo nulo [FC]	0,908	0,820	0,707	0,909	0,892	0,785	0,91	0,909	0,842
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	6	5	10	10	5	10	11	8
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	5	5	2	6	5	5	5	6
Tempo de estabilização [min]	212	218	192	201	232	302	265	194	230

No que respeita à análise do comportamento da espessura de isolamento a diferentes temperaturas (tabelas no Anexo G), verificou-se que o fator de coincidência e consumo médio aumentaram com o aumento da temperatura ambiente em ambos os equipamentos.

Com a aplicação da primeira ação, o pico verificou-se imediatamente a qualquer temperatura ambiente e aumentou com o aumento da temperatura ambiente em ambos os equipamentos. Com a segunda ação, não foi visível consumo nulo de imediato, no entanto, o tempo até este ocorrer foi constante, no caso dos combinados, para qualquer temperatura.

O tempo durante o qual foi mantido o consumo nulo diminui com o aumento da temperatura ambiente, sendo que, no caso das arcas frigoríficas, para temperaturas inferiores a 25°C e com uma espessura de isolamento de 0,06m manteve-se constante o período de tempo durante o qual o consumo é nulo. No caso dos combinados, verificou-se igualmente uma diminuição do consumo com o aumento da

temperatura ambiente para uma espessura de isolamento 0,04m, no entanto, para as espessuras de isolamento 0,05m e 0,06m, o tempo de consumo nulo manteve-se constante para as três temperaturas ambiente analisadas.

Tabela 4.10: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Variável	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,079	0,130	0,111	0,088
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,079	0,130	0,111	0,088
Consumo Médio/equip [Wh]	542,966	459,946	356,699	647,392	550,925	433,537	722,187	616,737	489,058
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	489,817
Pico após primeira ação [FC]	0,519	0,515	0,504	0,527	0,519	0,509	0,529	0,523	0,515
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tempo de consumo nulo [min]	22	23	23	19	23	23	17	23	23
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	0	0	4	0	0	6	0	0
Pico após consumo nulo	0,375	0,281	0,119	0,549	0,330	0,166	0,623	0,454	0,203
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	3	50	7	3	30	9	3	16
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	3	50	3	3	30	3	3	16
Tempo de estabilização [min]	356	397	369	341	366	493	333	355	344

O desfasamento entre o término do consumo nulo e a aplicação da segunda ação aumentou com o aumento da temperatura ambiente, sendo que, no que respeita às arcas frigoríficas, a temperaturas inferiores a 25°C e com uma espessura de isolamento 0,06m, não se verificou desfasamento. Para o caso dos combinados, é de realçar que este aumento verificou-se para a espessura de isolamento de 0,04m, sendo nulo para as espessuras 0,05m e 0,06m nas três temperaturas analisadas.

Analisando o pico após o consumo nulo, este aumentou com o aumento da temperatura ambiente nos dois tipos de equipamento analisados.

4.3.3 Manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato

A manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato foi realizada às 12h, sendo que, estando anteriormente com temperaturas limite de 4°C e 6°C no

refrigerador do combinado e temperaturas limite de -21°C e -19°C no congelador do combinado e na arca frigorífica, durante 30 minutos reduziu-se o valor do limite inferior de temperatura para 3°C no refrigerador do combinado e -22°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Após estes 30 minutos, aplicou-se uma segunda ação, também de 30 minutos, onde foram aplicadas temperaturas de 5°C no refrigerador do combinado e de -20°C no congelador do combinado e na arca frigorífica. Ao fim destes 30 minutos, foram restabelecidas as condições iniciais do FAD, ou seja, a preferência do utilizador final. O comportamento dos dois tipos de FAD estudados é visível na figura 4.7.

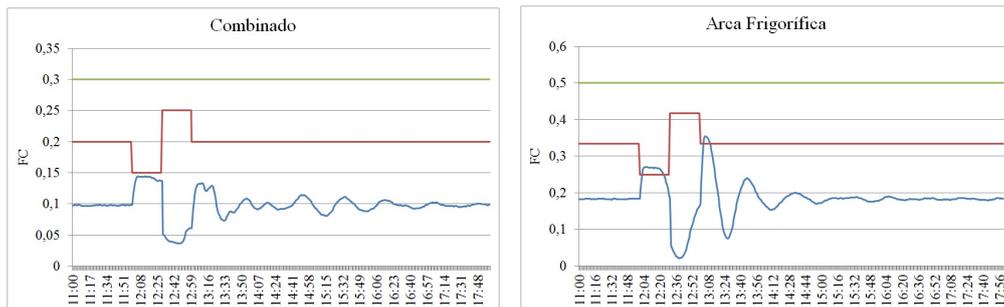


Figura 4.7: Fator de Coincidência com a aplicação das ações descritas num combinado (à esquerda) e numa arca frigorífica (à direita), a 18°C e com uma espessura de isolamento $0,04\text{m}$. Linha verde = limite inferior de temperatura de referência; linha vermelha = limite superior de temperatura de referência.

Tabela 4.11: Variação do FC no final de cada ação em relação à referência nas Arcas Frigoríficas

		Temperatura Ambiente		
		18°C	22°C	25°C
Aplicação da Primeira Ação		$\Delta \text{FC} [\%]$	$\Delta \text{FC} [\%]$	$\Delta \text{FC} [\%]$
0,04m	0,183 - 0,268	45,4	0,199 - 0,292 46,7	0,211 - 0,311 47,4
0,05m	0,162 - 0,238	46,9	0,177 - 0,259 46,3	0,188 - 0,277 47,3
0,06m	0,146 - 0,215	47,3	0,159 - 0,235 47,8	0,169 - 0,249 47,3
Aplicação da Segunda Ação		$\Delta \text{FC} [\%]$	$\Delta \text{FC} [\%]$	$\Delta \text{FC} [\%]$
0,04m	0,183 - 0,021	88,5	0,199 - 0,023 88,4	0,211 - 0,024 88,6
0,05m	0,162 - 0,020	87,7	0,177 - 0,020 88,7	0,188 - 0,021 88,8
0,06m	0,146 - 0,03	79,5	0,159 - 0,024 84,9	0,169 - 0,019 88,8

No caso da arca frigorífica, a primeira ação levou a uma disponibilização de potência (neste caso, aumento de potência pedida à rede) superior a 45% (tabela 4.11)(45,4% com temperatura ambiente de 18°C e espessura de isolamento de $0,04\text{m}$ e 47,8% na situação de temperatura ambiente de 22°C e $0,06$ de espessura). O tempo de disponibilização varia entre os 12 minutos e os 20 minutos (tabela 4.12). Em conjunto, com a segunda ação conseguem-se reduções muito

Tabela 4.12: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Consumo Médio/equip [Wh]	414,837	368,580	330,687	452,301	402,503	361,751	479,669	427,159	384,434
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,268	0,238	0,215	0,292	0,259	0,235	0,311	0,277	0,249
Tempo até atingir a média de pico [min]	6	3	3	4	3	3	6	3	3
Tempo de média de pico [min]	12	16	20	12	14	16	9	16	17
Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,021	0,020	0,030	0,023	0,020	0,024	0,024	0,021	0,019
Tempo até atingir o pico desde aplicação da segunda ação [min]	8	14	16	4	11	14	2	8	13
Pico após término da segunda ação [FC]	0,355	0,277	0,248	0,391	0,333	0,285	0,425	0,365	0,298
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	5	5	14	4	7	11	4	6	9
Tempo de estabilização [min]	443	351	476	340	204	221	240	204	217

significativas de potência pedida à rede que ultrapassam os 88% (temperatura ambiente de 18°C e espessura de 0,04m) relativamente à avaliação anterior ao início das ações, mas com durações que variam entre os 4 e os 16 minutos.

Tabela 4.13: Variação do FC no final de cada ação em relação à referência nos Combinados

	Temperatura Ambiente					
	18°C		22°C		25°C	
Aplicação da Primeira Ação	Δ FC [%]		Δ FC [%]		Δ FC [%]	
0,04m	0,098 - 0,143	45,9	0,117 - 0,170	45,3	0,130 - 0,188	44,6
0,05m	0,083 - 0,122	46,9	0,099 - 0,145	46,5	0,111 - 0,163	46,8
0,06m	0,064 - 0,094	46,9	0,078 - 0,114	46,2	0,088 - 0,129	46,6
Aplicação da Segunda Ação	Δ FC [%]		Δ FC [%]		Δ FC [%]	
0,04m	0,098 - 0,040	59,2	0,117 - 0,047	59,8	0,130 - 0,050	61,5
0,05m	0,083 - 0,038	54,2	0,099 - 0,045	54,5	0,111 - 0,049	55,9
0,06m	0,064 - 0,035	45,3	0,078 - 0,042	46,2	0,088 - 0,046	47,7

Nos combinados, no final da primeira ação, consegue-se um aumento de potência que varia entre os 44% e os 46% (tabela 4.13), com durações entre os 17 e os 25 minutos (tabela 4.14). Com a aplicação da segunda ação e comparando com a

Tabela 4.14: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Consumo Médio [Wh]	543,383	459,994	356,703	647,656	551,362	443,801	722,284	616,07	489,371
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	489,817
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,143	0,122	0,094	0,170	0,145	0,114	0,188	0,163	0,129
Tempo até atingir a média de pico [min]	4	5	5	3	4	4	4	5	6
Tempo de consumo máximo [min]	17	22	24	17	18	25	19	14	20
Média de Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,040	0,038	0,035	0,047	0,045	0,042	0,050	0,049	0,046
Tempo até atingir a média de pico após aplicação da segunda ação [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pico após término da segunda ação [FC]	0,133	0,112	0,086	0,149	0,129	0,099	0,184	0,133	0,100
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	10	13	38	10	10	17	9	10	15
Tempo de estabilização [min]	282	243	349	258	317	265	320	378	313

situação de referência, conseguem-se reduções de potência superiores a 45%.

O pico máximo de consumo alcançado com a aplicação da primeira ação, verificou-se que este diminuiu com o aumento da espessura de isolamento. É de realçar que o pico máximo de consumo não se verifica imediatamente após a realização da ação (tabelas 4.12 e 4.14).

Com a aplicação da segunda ação, verificou-se, em ambos os equipamentos, uma descida no consumo. No entanto, apesar desta descida não atingir o consumo nulo, ficando sempre algumas cargas em funcionamento, ela ocorre de imediato com a aplicação da segunda ação.

A ação que se traduz na variação de um dos limiares da BM do termóstato parece apresentar impactos, em termos de potência pedida à rede, que são atrativos para o fornecimento de SS baseados no aumento ou redução de potência durante um certo período de tempo. Por um lado, disponibilizam recursos (aumento/diminuição de potência) durante certo tempo, por outro lado, o risco de degradação da qualidade de serviço pode ser eliminado se as ações são adequadamente parametrizadas. Outro potencial efeito adverso, o pico pós ação, vem também menor quando comparado com outras ações.

4.4 Comparação das diferentes ações de gestão da procura implementadas

De uma forma geral, pode concluir-se que os equipamentos com maior espessura de isolamento permitem disponibilizar menos potência quando comparados com os equipamentos com menor espessura de isolamento, uma vez que o peso dos seus tempos ON no ciclo de funcionamento do FAD é menor. Assim, como passam menos tempo ligados, consomem menos potência. Este aspeto também é visível pela comparação referida entre os fatores de coincidência, realçando-se que estes diminuem com o aumento da espessura.

Observe-se também que, com a aplicação de ações, há aspetos a realçar no comportamento dos equipamentos. Na aplicação de cortes de alimentação, verifica-se que os tempos de resposta são mais rápidos. Isto é, com a aplicação da ação, verifica-se de imediato o consumo nulo por parte do FAD. Por outro lado, quer na realização de cortes quer na manipulação das duas temperaturas limite e do termóstato ou apenas na temperatura superior limite, observou-se, também, que o valor disponibilizado de potência está assegurado. Ou seja, toda a potência que estava a ser consumida é disponibilizada. O mesmo não se verificou na ação em que apenas se manipulou a temperatura de referência mínima do termóstato.

No que respeita aos picos atingidos após a aplicação da ação, verificou-se que este pico é superior na aplicação de cortes com mais de 15 minutos. Os menores picos após a ação verificaram-se na manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato. Este é um aspeto a ter em conta na escolha da ação de gestão da procura a aplicar, uma vez que o pico após a ação refletir-se-á no diagrama de carga e é necessário saber qual será o impacto que este pico terá.

Além disto, note-se que no caso dos cortes é uma aplicação com apenas uma direção. Ou seja, apenas se verifica uma redução do consumo, enquanto que, nas outras ações estudadas, assistimos a um aumento de consumo seguido de uma redução de consumo. Assim, ações que envolvam a manipulação dos limites de temperatura do termóstato apresentam a possibilidade de aumentar ou reduzir o consumo, consoante o SS solicitado. Mais uma vez, este aumento também terá impacto no diagrama de carga, sendo que este impacto se verifica duas vezes: no início da ação e após a retirada da ação, quando se repõe a preferência do utilizador.

A temperatura ambiente é, também, um aspeto que não deve ser negligenciado. É um aspeto que afeta o comportamento do FAD e, na aplicação de ações, também terá uma grande influência. Efetivamente verifica-se que, quanto maior a temperatura ambiente, maior será a potência disponibilizada, o que é algo que se procura quando se aplicam ações. No entanto, também há outro aspetos a considerar. Na aplicação de cortes, um aumento da temperatura ambiente aumenta a possibilidade de deterioração do serviço prestado pelo equipamento. Na manipulação do limite superior ou ambos os limites de temperatura do termós-

tato, um aumento de temperatura ambiente leva a que se verifique uma redução do tempo de consumo nulo. No que respeita à manipulação do limite inferior, a redução de consumo é menor com o aumento da temperatura ambiente.

Relativamente aos tempos de consumo nulo, também se verificaram diferenças. No caso de cortes, verificou-se que o tempo de aplicação da ação corresponde ao tempo durante o qual se verifica o consumo nulo. No entanto, na manipulação do limite superior de temperatura do termóstato ou de ambos os limites, não se verificou esta correspondência de tempo. Verifica-se, assim, que o tempo de consumo nulo, em relação ao tempo durante o qual a ação é aplicada, diminui nestes dois tipos de variação de banda do termóstato. No caso da manipulação do limite inferior de temperatura do termóstato, é de referir que não se verifica o consumo nulo, mas há redução do consumo durante todo o tempo da segunda ação. Este é um tipo de ação onde se verifica que o número de cargas às quais se aplica a ação terá um peso bastante relevante na possibilidade de fornecer SS. Importa esclarecer que os cortes, efetivamente, permitem alcançar o consumo nulo durante todo o tempo da ação, mas corre-se o risco de deteriorar a qualidade de serviço prestada pelo equipamento. No caso de manipular os limites de temperatura do termóstato, conseguimos manter a temperatura sempre dentro de determinados limites, não havendo o risco de a temperatura atingir valores de risco para a conservação dos alimentos.

Outro aspeto a focar é a diferença de comportamentos entre arca frigoríficas e combinados perante as diferentes ações de gestão da procura. Estes comportamentos diferentes podem ser justificados pelos compressores diferentes de cada equipamento, bem como pela existência de duas cargas no combinado (o refrigerador e o congelador) e apenas uma na arca frigorífica (o próprio congelador).

Realce-se, assim, que a escolha da ação a aplicar deverá ser ponderada e adaptada a cada circunstância. Isto é, deverá ser de acordo com o número de cargas e com o tipo de cargas disponíveis (no que respeita à sua espessura de isolamento, tipo de equipamento), com a temperatura ambiente, com o tempo durante o qual se quer minimizar o consumo e qual será a potência disponível na rede para dar resposta às necessidades do FAD após a aplicação da ação.

De uma forma sucinta, analise-se na tabela 4.15 a capacidade de cada uma das aplicações apresentadas poder servir determinado SS, tendo em conta a figura 2.3 do capítulo 2 e a análise já feita no presente capítulo.

No que respeita à possibilidade destas ações preencherem os requisitos de capacidade mínima necessária por o fornecimento de SS, observem-se as figuras 4.8 e 4.9, onde foi discriminada a potência disponibilizada por equipamento, tendo em conta a ação, a temperatura ambiente e a espessura de isolamento.

Tabela 4.15: Serviços de Sistema que possam ser fornecidos, no que respeita ao requisito de tempo de resposta

Tipo de Ação	Serviço de Sistema					
	Reserva de Resposta em Frequência	Reserva Regulatória	Reserva de Modulação de Carga	Reserva Girante	Reserva Não Girante	Reserva Suplementar
Corte	x	x	x	x	x	x
Manipulação das duas bandas limite de temperatura do termostato			x	x	x	x
Manipulação da banda superior de limite de temperatura do termostato			x	x	x	x
Manipulação da banda inferior de limite de temperatura do termostato	x	x	x	x	x	x

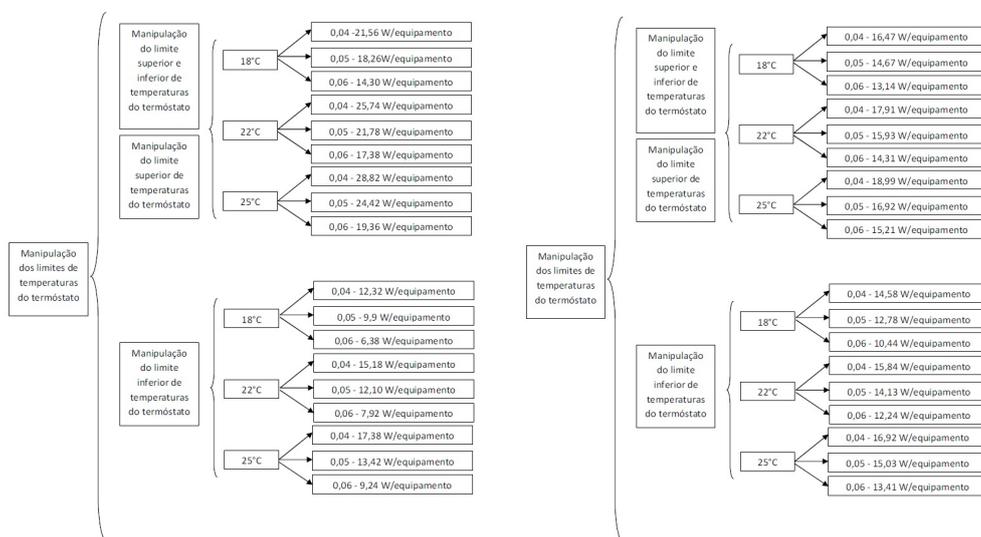


Figura 4.8: Potência disponível por equipamento com a manipulação dos limites de temperatura do termostato, às três temperaturas consideradas e espessuras de isolamento estudadas, estando o combinado à direita e a arca frigorífica à esquerda.

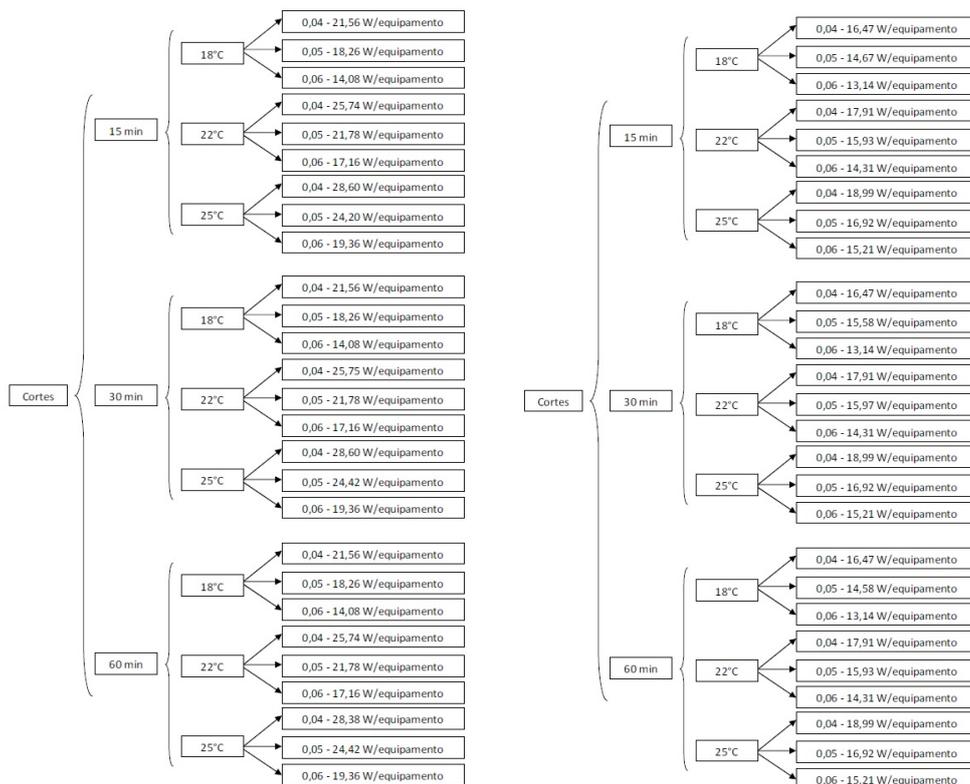


Figura 4.9: Potência disponível por equipamento com a aplicação dos três cortes, às três temperaturas consideradas e espessuras de isolamento estudadas, estando o combinado à direita e a arca frigorífica à esquerda.

Capítulo 5

Caso de Estudo

Por forma a avaliar o impacto de ações de gestão da procura numa situação real, utilizou-se um diagrama de carga de uma subestação com uma relação de transformação Alta Tensão (AT)/Baixa Tensão (BT), em kV, de 60/15, uma potência instalada de 60 MVA e com um número total de consumidores de 35950.

O número total de cargas de FAD foi estimado usando as taxas de posse [31]. Assim, sabendo que a taxa de posse de frigoríficos é de 1,05, aproximou-se o valor para 37700. Os frigoríficos usados para simulação foram todos considerados combinados. Por seu lado, sendo a taxa de posse das arcas frigoríficas de 0,5, o valor usado para simulação foi de 18000. Estes valores foram distribuídos por grupos: 10 grupos de combinados e 5 grupos de arcas frigoríficas. No caso dos combinados, com o intuito de criar diversidade entre grupos, variou-se a potência do compressor de ambos os compartimentos, a altura do equipamento, a espessura de isolamento, o COP, a altura e a área do evaporador. Além da diversidade entre grupos, também se procedeu a alguma diversidade entre cargas, como é visível na tabela 3.3 do capítulo 3, onde x representa o valor de referência do grupo. Além da variação nas variáveis visíveis, também a temperatura inicial de funcionamento foi variada dentro dos limites da temperatura máxima e mínima, ou seja, dentro da BM. É de notar que o valor das variáveis $M.C_p$ e Resistência Térmica é influenciado por diversas variáveis entre as quais a altura, a espessura de isolamento e a área do evaporador do equipamento, as quais, como referido acima, foram variadas entre grupos. No que respeita às características de cada grupo, estas podem ser vistas no Anexo I.

Definidas as características dos 15 grupos, dividiram-se os diversos equipamentos pelos respetivos grupos. No que respeita aos combinados, a constituição dos grupos variou entre 3400 e 4100 equipamentos. No caso das arcas frigoríficas, a composição dos grupos variou entre os 3500 e os 3800.

As ações de gestão da procura que foram simuladas foram a manipulação da temperatura mínima de referência do termóstato dos equipamentos (tabela 5.1), com o objetivo de fornecer um SS à rede entre as 12h e as 13h. Esta manipula-

ção consiste em duas ações: redução e aumento do limite inferior de referência. Como visto no capítulo 4, após a diminuição do limite superior seguido de um aumento em relação à temperatura de referência, não se verifica a redução total de consumo. No entanto, são um conjunto de ações que produzem um baixo impacto no diagrama de carga da subestação após a sua finalização.

Tabela 5.1: Alteração da Temperatura Mínima de Referência do Termóstato

Horas	Grupo														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11:30	-1				-1	-1			-1	-1	-1		-1	-1	
11:45	-1	-1			-1	-1			-1	-1	-1		-1	-1	
12:00	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1
12:15	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
12:30		+1	+1	+1			+1	+1				+1			+1
12:45			+1	+1			+1	+1				+1			+1

Na figura 5.1 é possível ver a redução do diagrama de carga na hora em que se forneceu um SS à rede.



Figura 5.1: Redução da hora de ponta com a aplicação de ações de gestão da procura.

Tabela 5.2: Consumo FAD simulado e Simulação com Manipulação do limite inferior de referência de temperatura do termóstato

Horas	11:30	11:45	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00
Potência Real Subestação [MW]	40.04	40.37	43.47	43.49	41.10	40.46	38.48
Variação na Subestação [%]	+0,57	+0,59	-0,28	-0,30	-0,24	-0,31	+0,28
Potência Real FAD [MW]	0.95	0.96	0.95	0.96	0.97	0.96	0.96
Variação no FAD [%]	+24,15	+24,94	-12,76	-13,74	-10,18	-12,97	+11,26

Na tabela 5.2 verificam-se as alterações do diagrama de carga na hora em que se forneceu um SS à rede. Pode-se, assim, baixar o consumo em hora de ponta, das 12h às 13h, em 119 kW. Este é um tipo de ação que permitiria o fornecimento de SS em mercados como o PJM, onde, mediante aprovação, é permitida a agregação e solicita uma capacidade mínima de 0.1 MW.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido em torno desta dissertação teve como objetivo caracterizar o impacto de algumas ações de gestão da procura sobre cargas de Frio Alimentar Doméstico e avaliar a possibilidade de utilização no fornecimento de Serviços de Sistema. Para tal, recorreu-se a um modelo fisicamente baseado que permite simular o funcionamento deste tipo de carga e construiu-se uma ferramenta que permite reproduzir o funcionamento de conjuntos de cargas de Frio Alimentar Doméstico com recurso a simulações de Monte Carlo. Com recurso a esta ferramenta foi possível caracterizar e analisar o impacto de diferentes ações e avaliar o potencial de interesse de utilização deste tipo de cargas para o fornecimento de Serviços de Sistema.

Para tal, avaliou-se o impacto das diferentes ações em termos de tempo de resposta, em termos de variação de fator de coincidência, da duração dessa variação e do impacto na qualidade de serviço (medido em termos da violação de uma temperatura limite, nas situações em que tal se justificava). Assim, após a simulação de diferentes ações foi possível aferir os impactos diferenciados e aduzir considerações acerca da sua utilização no fornecimento dos diferentes Serviços de Sistema. Nomeadamente, que é possível, pelo menos, participar no fornecimento dos Serviços de Sistema baseados na redução/aumento de potência pedida à rede, ou seja, serviços relacionados com reserva regulatória, reserva girante, entre outros.

Aspetos importantes a reter em torno do trabalho desenvolvido prendem-se com o compromisso que deve existir entre a quantidade de serviço fornecido (variação de potência pedida à rede) e qualidade de serviço. No caso específico do corte, estes permitem reduzir a potência, na sua totalidade, de uma forma garantida e durante todo o tempo de duração da ação, embora com risco de degradação da qualidade de serviço. No que respeita à variação de um limiar ou de ambos os limiares da banda morta, não degrada, em "princípio", a qualidade de serviço e permite obter redução, sendo a redução total no caso de variar ambos os limites ou apenas o limite superior, ou aumento da potência, mas com disponibilidade variável.

Como em qualquer trabalho de investigação, surgem diversas vertentes que poderão dar continuidade ao trabalho desenvolvido e apresentado nesta dissertação. Do trabalho realizado constatou-se a necessidade de recurso a ferramentas de otimização que permitam, com alguma celeridade, conceber as ações de gestão a implementar sobre os grupos de cargas sob controlo de forma a atingir os objetivos desejados em termos de participação no fornecimento de Serviços de Sistema. Além disso, também a análise mais detalhada das respostas das cargas a diferentes ações, nomeadamente as rampas (subida ou descida da potência pedida à rede), poderá ser importante para o alcance destes objetivos. Em virtude do longo período de tempo de simulação que os modelos fisicamente baseados necessitam, poderá ser útil o uso de métodos expeditos para identificar os recursos do lado da procura. Assim, o uso de ferramentas do tipo redes neuronais poderá ser uma forma de conseguir identificar estes recursos num menor período de tempo. As redes neuronais poderão ser usadas, não só nesta identificação, como em conjunto com algoritmos de otimização.

Bibliografia

- [1] G. Heffner, C. Goldman, B. Kirby, and M. Kintner-Meyer, “Loads Providing Ancillary Services: Review of International Experience,” tech. rep., Lawrence Berkeley Laboratory, 2007.
- [2] J. Sousa and J. Saraiva, “Os Serviços de Sistema no MIBEL - regras de fornecimento e de contratação e resultados obtidos de 2010 a 2012,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [3] P. Soares and J. Saraiva, “Análise Numérica dos Resultados do Mercado de Electricidade em Portugal, inserido no Mercado Ibérico de Electricidade (MIBEL) do ano de 2008,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [4] J. Saraiva, J. Silva, and J. Leão, *Mercado de Electricidade - Regulação e Tarificação de Uso das Redes*. Saraiva, J. and Silva, J. and Leão, J., 2002.
- [5] P. Gonçalves and J. Saraiva, “Análise Estatística dos Resultados do Mercado Ibérico de Electricidade no ano de 2011,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [6] MIBEL, “<http://www.mibel.com>.” visitado em 6 de julho de 2015.
- [7] C. Andrade and J. Saraiva, “Aplicação para Tratamento de Congestionamentos em Redes de Transmissão de Energia Eléctrica utilizando Market Splitting,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Março 2008.
- [8] NordPool Spot, “<http://www.nordpoolspot.com>.” visitado em 5 de julho de 2015.
- [9] “Welcome to NordPool Spot - the largest market for electrical energy in the world,” 2009.
- [10] NYISO, “<http://www.nyiso.com>.” visitado em 5 de julho de 2015.
- [11] R. Araújo and J. Saraiva, “Análise dos Serviços de Sistema em Portugal e Espanha,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

- [12] P. Andrianesis, P. Biskas, and G. Liberopoulos, “An overview of Greece’s wholesale electricity market with emphasis on ancillary services,” *Electric Power Systems Research*, vol. 81, no. 8, pp. 1631 – 1642, 2011.
- [13] E. L. Miguélez, I. E. Cortés, L. R. Rodríguez, and G. L. Camino, “An overview of ancillary services in Spain,” *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 3, pp. 515 – 523, 2008.
- [14] I. J. Pérez-Arriaga, ed., *Regulation of the Power Sector*. Springer, 2013.
- [15] E. R. de Serviços Energéticos, *Manual de Procedimentos da Gestão Global do Sistema do Setor Elétrico*, Abril 2014.
- [16] D. Hurley, P. Peterson, and M. Whited, “Demand Response as a Power System Resource. Program Designs, Performance and Lessons learned in the United States,” tech. rep., Synpase - Energy Economics, Inc., May 2013.
- [17] R. Walawalkar, S. Fernands, N. Thakur, and K. R. Chevva, “Evolution and current status of Demand Response (DR) in electricity markets: Insights from PJM and NYISO,” *Energy*, vol. 35, no. 4, pp. 1553 – 1560, 2010. Demand Response Resources: the US and International Experience.
- [18] H. Aalami, M. P. Moghaddam, and G. Yousefi, “Demand response modeling considering Interruptible/Curtailable loads and capacity market programs,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 1, pp. 243 – 250, 2010.
- [19] M. P. Moghaddam, A. Abdollahi, and M. Rashidinejad, “Flexible Demand Response programs modeling in Competitive Electricity Markets,” *Applied Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3257 – 3269, 2011.
- [20] P. Siano, “Demand Response and Smart Grids - A survey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, no. 0, pp. 461 – 478, 2014.
- [21] Trilliant, “<http://trilliantinc.com/smart-grid>.” visitado em 6 de julho de 2015.
- [22] A. Soares, A. Gomes, and C. Antunes, “Domestic load characterization for demand-responsive energy management systems,” in *Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2012 IEEE International Symposium on*, pp. 1–6, May 2012.
- [23] A. Soares, A. Gomes, and C. Antunes, “Integrated Management of Residential Energy Resources,” vol. 33, p. 05005, 2012.
- [24] J. MacDonald, P. Cappers, D. S. Callaway, and S. Kiliccote, “Demand Response Providing Ancillary Services a Comparison of Opportunities and Challenges in the U.S. Wholesale Markets,” in *Grid-Interop 2012*, (Irving, TX), Dezembro 2012.

- [25] A. Gomes, “Simulação de Cargas Eléctricas no Contexto do Condicionamento da Procura de Energia Eléctrica,” Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 1995.
- [26] C. Oliveira, A. Gomes, and A. Figueiredo, “Modelos para simulação de cargas de frio alimentar doméstico para avaliação do potencial de Demand Response,” Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 2013.
- [27] P. Baptista and C. Antunes, *Higiene e Segurança Alimentar na Restauração - Volume II - Avançado*. 1^a ed., 2005.
- [28] A. Marques, A. Gomes, and A. Figueiredo, “Modelos para Simulação de Cargas e Avaliação do Potencial de Demand Response,” Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 2012.
- [29] J. Martinho, A. Gomes, and C. Antunes, “Modelos de Cargas de Condicionamento Ambiente para Avaliação do Potencial de Demand Response,” Master’s thesis, Universidade de Coimbra, 2011.
- [30] “Regulamento Delegado n.º 1060/2010 da Comissão, de 28 de setembro de 2010.”
- [31] A. T. Almeida, *REMODECE, FCTUC*. ISR - Universidade de Coimbra.
- [32] P. Baptista, *Higiene e Segurança Alimentar no Transporte de Produtos Alimentares*. 2006.

Anexo A

Qualidade de Serviço em Conservação pelo Frio

Tabela A.1: Bactérias patogénicas e Produtos Alimentares Associados [27]

Bactérias	Produtos Alimentares Associados
<i>Salmonella typhi</i>	carne crua, frango e peru, leite
<i>Salmonella paratyphi</i>	e derivados, pescado, camarão, molhos e temperos, sobremesas recheadas com cremes, manteiga de amendoim, gelatina, chocolate
<i>Escherichia coli enterohemorrágica</i>	carne bovina crua ou mal
<i>enterohemorrágica</i>	passada, queijo e leite
<i>Escherichia coli enteroinvasiva</i>	queijo
<i>Escherichia coli enteropatogénica</i>	leite, carne e frango crus
<i>Escherichia coli enterotoxigénica</i>	saladas e vegetais crus
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	pescado cru ou mariscos contaminados
<i>Listeria</i>	leite, queijos, gelados,
<i>monocytogenes</i>	vegetais, frango cru ou cozido, carnes cruas, enchidos, pescado cru e fumado
<i>Clostridium botulinum</i>	alimentos enlatados e embalados em vácuo; milho enlatado, pimenta, feijão verde, sopas, beterraba, espargos, cogumelos, azeitonas, atum, frango, fígado de galinha, carnes frias, presunto, lagosta, pescada salgada e fumado
<i>Bacillus cereus</i>	alimentos com amido (arroz, batatas, legumes, feijão, legumes cozidos, puré de batata), carne, vegetais, pescado e sopas
<i>Clostridium perfringens</i>	carnes e derivados, aves,
<i>Staphylococcus aureus</i>	ovos, atum, saladas, bolos com recheio, natas, leite e derivados

Tabela A.2: Tempos Máximos de exposição de produtos alimentares [32]

Condições Potenciais de Risco	Temperatura do Produto [°C]	Tempo Máximo
Crescimento e Formação de toxinas de <i>Bacillus cereus</i>	4 - 6	5 dias
	7 - 10	17 horas
	11 - 21	6 horas
	Acima de 21	3 horas
Germinação, crescimento e formação de toxinas pelo <i>Clostridium botulinum</i> Tipo A e proteolítico B e F	10 - 21	11 horas
	Acima de 21	2 horas
Germinação, crescimento e formação de toxinas pelo <i>Clostridium botulinum</i> Tipo E e não-proteolítico B e F	3.3 - 5	7 dias
	6 - 10	> 2 dias
Crescimento de <i>Clostridium botulinum</i> Tipo E e não-proteolítico B e F	11 - 21	11 horas
	Acima de 21	6 horas
	10 - 12	21 dias
	13 - 14	1 dia
Crescimento de esporos patogénicos de <i>Escherichia coli</i>	15 - 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas
	7 - 10	14 dias
Crescimento de <i>Listeria monocytogenes</i>	11 - 21	6 horas
	Acima de 21	3 horas
	-0.4 - 5	7 dias
Crescimentos de espécies de <i>Salmonella</i>	6 - 10	2 dias
	11 - 21	12 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento e formação de toxinas por <i>Staphylococcus aureus</i>	5.2 - 10	14 dias
	11 - 21	6 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	7 - 10	14 dias
	11 - 21	12 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5 - 10	21 dias
	11 - 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas

Anexo B

Análise do Tempo de Estabilização

É de realçar que, ao tentar retirar o valor do tempo de estabilização após a aplicação de ações de gestão da procura, foi possível notar que, mesmo após o gráfico dar essa percepção, surgiam pequenas oscilações posteriormente. Tal poderá ser justificado pela existência de cargas com diferentes frequências de funcionamento que estabilizam em tempos diferentes, como pode ser visto na figura B.1. Este valor é apresentado nos dados retirados durante a análise das simulações, no entanto, devido à sua incerteza, não foram tiradas conclusões sobre a sua evolução.

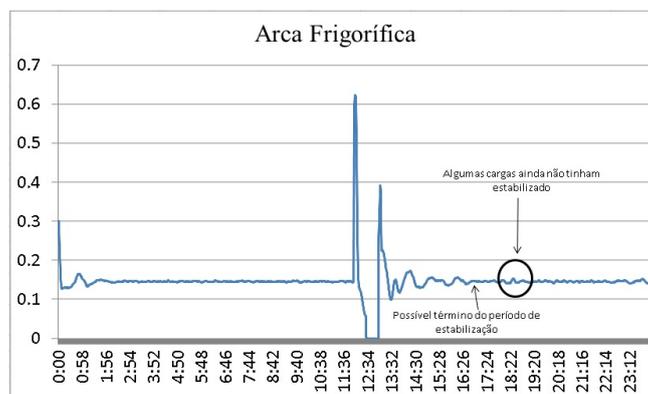


Figura B.1: Análise do tempo de estabilização após a realização de ações.

Anexo C

Tabelas resultantes da análise de sensibilidade

Tabela C.1: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 2°C e 4°C e no congelador entre -22°C e -21°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,106	0,125	0,138	0,090	0,106	0,118	0,071	0,084	0,094
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	589,952	691,785	764,714	500,991	590,096	654,229	392,229	467,448	521,868
Desvio Padrão	0,381	0,390	0,499	0,232	0,355	0,388	0,381	0,334	0,421
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	20,234	24,718	27,859	17,195	21,077	23,853	14,827	18,248	20,693
Desvio Padrão	1,626	1,927	2,120	1,409	1,667	1,850	1,231	1,453	1,620
Número de Ciclos OFF	20,812	25,262	28,384	17,782	21,643	24,399	15,429	18,829	21,254
Desvio Padrão	1,624	1,925	2,118	1,408	1,663	1,849	1,229	1,451	1,617
Tempo ON	9,022	9,053	9,078	9,238	9,269	9,287	9,467	9,492	9,511
Desvio Padrão	0,689	0,693	0,693	0,974	0,973	0,978	0,714	0,712	0,716
Tempo OFF	62,821	49,692	43,001	75,432	59,645	51,605	88,869	70,263	60,762
Desvio Padrão	5,232	4,108	3,518	6,279	4,908	4,237	7,365	5,741	4,494
Consumo Médio/equip [Wh]	348,486	427,443	483,377	302,837	372,921	423,004	267,429	330,334	375,489
Desvio Padrão	0,301	0,363	0,432	0,173	0,282	0,352	0,245	0,402	0,293
Peso no Consumo (R+C)	0,591	0,618	0,632	0,604	0,632	0,647	0,682	0,707	0,719
Congelador									
Número de Ciclos ON	39,258	42,822	45,473	31,734	34,697	36,040	19,779	21,704	23,110
Desvio Padrão	8,556	9,242	9,864	6,934	7,584	7,467	4,364	4,786	5,097
Número de Ciclos OFF	39,869	43,429	46,068	32,364	35,319	36,657	20,435	22,353	23,757
Desvio Padrão	8,562	9,247	9,866	6,937	7,588	7,470	4,369	4,789	5,099
Tempo ON	3,201	3,211	3,218	3,248	3,256	3,272	3,284	3,289	3,299
Desvio Padrão	0,686	0,683	0,688	0,696	0,701	0,668	0,710	0,710	0,711
Tempo OFF	33,624	30,539	28,558	42,355	38,343	36,861	70,095	63,549	59,449
Desvio Padrão	7,059	6,371	5,987	8,886	8,092	7,378	14,813	13,445	12,572
Consumo Médio/equip [Wh]	241,529	264,343	281,337	198,153	217,175	226,705	124,939	137,236	146,340
Desvio Padrão	0,142	0,179	0,191	0,164	0,151	0,185	0,118	0,116	0,107
Peso no Consumo (R+C)	0,409	0,382	0,396	0,396	0,368	0,353	0,318	0,293	0,281

Tabela C.2: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	542,943	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,429	0,396	0,475	0,269	0,331	0,463	0,255	0,272	0,365
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	17,978	22,619	25,191	15,236	19,259	22,127	13,124	16,659	19,185
Desvio Padrão	2,031	2,482	2,805	1,745	2,134	2,417	1,521	1,864	2,113
Número de Ciclos OFF	18,567	23,178	26,451	15,839	19,835	22,686	13,736	17,250	19,761
Desvio Padrão	2,032	2,482	2,803	1,744	2,134	2,416	1,522	1,863	2,113
Tempo ON	8,950	8,993	9,012	9,169	9,207	9,227	9,396	9,420	9,441
Desvio Padrão	0,953	0,956	0,957	0,974	0,973	0,978	0,999	1,001	1,000
Tempo OFF	71,961	55,217	46,995	86,458	66,295	56,428	101,811	77,978	66,359
Desvio Padrão	8,265	6,235	5,272	9,938	7,499	6,332	11,719	8,822	7,452
Consumo Médio/equip [Wh]	306,975	388,478	446,297	266,255	338,338	389,855	234,726	299,200	345,475
Desvio Padrão	0,285	0,367	0,374	0,229	0,262	0,358	0,246	0,243	0,324
Peso no Consumo (R+C)	0,565	0,601	0,618	0,579	0,615	0,632	0,658	0,690	0,707
Congelador									
Número de Ciclos ON	38,260	41,836	44,493	30,903	33,819	36,040	19,261	21,130	22,606
Desvio Padrão	7,932	8,638	9,191	6,414	6,998	7,467	4,047	4,407	4,759
Número de Ciclos OFF	38,878	42,447	45,094	31,529	34,443	36,657	19,915	21,783	23,252
Desvio Padrão	7,934	8,640	9,191	6,417	6,998	7,470	4,050	4,412	4,762
Tempo ON	3,208	3,218	3,225	3,257	3,269	3,272	3,293	3,304	3,299
Desvio Padrão	0,656	0,658	0,659	0,667	0,668	0,668	0,681	0,679	0,683
Tempo OFF	34,583	31,332	29,255	43,586	39,513	36,861	72,102	65,359	60,853
Desvio Padrão	6,933	6,267	5,863	8,728	7,897	7,378	14,564	13,129	12,319
Consumo Médio/equip [Wh]	235,932	258,802	275,794	193,484	212,524	226,705	121,923	134,172	143,342
Desvio Padrão	0,168	0,180	0,189	0,129	0,159	0,185	0,100	0,114	0,121
Peso no Consumo (R+C)	0,435	0,399	0,382	0,421	0,386	0,368	0,342	0,310	0,293

Tabela C.3: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura no refrigerador a variar entre 5°C e 7°C e no congelador entre -20°C e -18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,093	0,112	0,126	0,079	0,095	0,107	0,061	0,075	0,085
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	516,174	621,857	697,649	436,356	528,575	549,971	336,902	414,692	470,647
Desvio Padrão	0,415	0,399	0,486	0,381	0,328	0,421	0,290	0,318	0,344
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	16,834	21,586	24,936	14,239	18,354	21,283	12,262	15,851	18,426
Desvio Padrão	2,209	2,757	3,141	1,891	2,366	2,707	1,647	2,065	2,363
Número de Ciclos OFF	17,429	22,152	25,483	14,852	18,939	21,849	12,884	16,447	19,008
Desvio Padrão	2,209	2,756	3,140	1,889	2,367	2,706	1,648	2,065	2,363
Tempo ON	8,903	8,941	8,968	9,126	9,156	9,174	9,343	9,382	9,393
Desvio Padrão	1,096	1,102	1,100	1,128	1,129	1,130	1,154	1,159	1,158
Tempo OFF	77,542	58,352	49,231	93,234	70,088	59,087	109,713	82,490	69,537
Desvio Padrão	10,279	7,596	6,356	12,378	9,136	7,639	14,598	10,788	9,019
Consumo Médio/equip [Wh]	285,858	368,608	427,377	247,593	320,656	372,843	217,998	283,453	330,218
Desvio Padrão	0,277	0,315	0,356	0,279	0,256	0,332	0,243	0,249	0,296
Peso no Consumo (R+C)	0,554	0,593	0,613	0,567	0,607	0,627	0,647	0,684	0,702
Congelador									
Número de Ciclos ON	37,206	40,796	43,429	30,018	33,039	35,211	18,706	20,601	22,035
Desvio Padrão	7,302	8,009	8,509	5,888	6,466	6,867	3,706	4,079	4,358
Número de Ciclos OFF	37,825	41,405	44,032	30,647	33,664	35,827	19,366	21,254	22,687
Desvio Padrão	7,304	8,012	8,511	5,891	6,470	6,871	3,709	4,084	4,361
Tempo ON	3,220	3,230	3,238	3,272	3,274	3,283	3,308	3,315	3,316
Desvio Padrão	0,629	0,632	0,633	0,638	0,638	0,637	0,649	0,650	0,650
Tempo OFF	35,653	32,209	30,043	44,959	40,529	37,806	74,349	67,145	62,518
Desvio Padrão	6,799	6,156	5,746	8,551	7,709	7,176	14,229	12,865	11,972
Consumo Médio/equip [Wh]	230,315	253,249	270,272	188,763	207,919	222,128	118,904	131,239	140,429
Desvio Padrão	0,223	0,214	0,216	0,141	0,174	0,199	0,095	0,123	0,106
Peso no Consumo (R+C)	0,446	0,407	0,387	0,433	0,393	0,373	0,353	0,316	0,298

Tabela C.4: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 2°C e 4°C e no congelador entre -22°C e -20°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,106	0,090	0,071	0,125	0,106	0,084	0,138	0,118	0,094
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	589,952	500,991	392,230	691,785	590,096	467,448	764,714	654,229	521,868
Desvio Padrão	0,381	0,232	0,381	0,390	0,355	0,334	0,499	0,388	0,421
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	20,234	17,195	14,827	24,718	21,077	18,248	27,859	23,853	20,693
Desvio Padrão	1,626	1,409	1,231	1,927	1,667	1,453	2,120	1,850	1,620
Número de Ciclos OFF	20,812	17,782	15,429	25,262	21,262	18,829	28,384	24,399	21,254
Desvio Padrão	1,624	1,408	1,229	1,925	1,663	1,451	2,118	1,849	1,618
Tempo ON	9,022	9,238	9,467	9,053	9,269	9,492	9,078	9,287	9,511
Desvio Padrão	0,689	0,702	0,714	0,693	0,704	0,712	0,693	0,706	0,716
Tempo OFF	62,821	75,432	88,869	44,692	59,645	70,263	43,001	51,605	60,762
Desvio Padrão	5,232	6,279	7,356	4,108	4,908	5,741	3,518	4,237	4,949
Consumo Médio/equip [Wh]	348,486	302,838	267,429	427,443	372,921	330,334	483,377	423,004	375,489
Desvio Padrão	0,301	0,173	0,245	0,363	0,282	0,402	0,432	0,352	0,293
Parte de Consumo	0,591	0,604	0,682	0,618	0,632	0,707	0,632	0,647	0,719
Congelador									
Número de Ciclos ON	39,258	31,734	19,779	42,822	34,697	21,704	45,473	36,909	23,110
Desvio Padrão	8,556	6,934	4,364	9,242	7,584	4,786	9,864	8,049	5,097
Número de Ciclos OFF	39,869	32,364	20,435	43,429	35,319	22,353	46,068	37,526	23,757
Desvio Padrão	8,562	6,937	4,369	9,247	7,588	4,789	9,866	8,052	5,099
Tempo ON	3,201	3,248	3,284	3,211	3,256	3,289	3,218	3,258	3,294
Desvio Padrão	0,686	0,696	0,710	0,683	0,701	0,710	0,688	0,699	0,711
Tempo OFF	33,624	42,355	70,095	30,539	38,343	63,549	28,549	35,922	59,449
Desvio Padrão	7,059	8,886	14,813	6,371	8,092	13,445	5,987	7,551	12,572
Consumo Médio/equip [Wh]	241,529	198,153	124,939	264,343	217,175	137,236	281,337	231,225	146,340
Desvio Padrão	0,142	0,164	0,117	0,179	0,151	0,116	0,191	0,187	0,107
Parte de Consumo	0,409	0,396	0,318	0,382	0,368	0,293	0,368	0,353	0,281

Tabela C.5: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 4°C e 6°C e no congelador entre -21°C e -19°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,092	616,559	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,475	0,463	0,365
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	17,978	15,236	13,124	22,619	19,259	16,659	25,911	22,127	19,185
Desvio Padrão	2,031	1,745	1,521	2,482	2,134	1,864	2,805	2,417	1,113
Número de Ciclos OFF	18,567	15,839	13,736	23,178	19,835	17,250	26,451	22,686	19,761
Desvio Padrão	2,032	1,744	1,522	2,482	2,134	1,863	2,803	2,416	2,113
Tempo ON	8,950	9,169	9,396	8,993	9,207	9,420	9,012	9,227	9,441
Desvio Padrão	0,953	0,974	0,999	0,956	0,973	1,001	0,957	0,978	1,001
Tempo OFF	71,961	86,458	101,811	55,217	66,295	77,978	46,995	56,428	66,359
Desvio Padrão	8,265	9,938	11,719	6,235	7,499	8,822	5,272	6,332	7,452
Consumo Médio/equip [Wh]	306,975	266,255	234,726	388,478	338,338	299,200	446,297	389,855	345,475
Desvio Padrão	0,285	0,229	0,246	0,367	0,262	0,243	0,374	0,358	0,324
Parte de Consumo	0,565	0,579	0,658	0,601	0,614	0,690	0,618	0,632	0,707
Congelador									
Número de Ciclos ON	38,260	30,903	19,261	41,836	33,819	21,130	44,494	36,040	22,606
Desvio Padrão	7,932	6,414	4,047	8,638	6,998	4,407	9,191	7,467	4,759
Número de Ciclos OFF	38,878	31,529	19,915	42,447	34,443	21,783	45,094	36,657	23,252
Desvio Padrão	7,934	6,417	4,050	8,640	6,998	4,412	9,191	7,470	4,762
Tempo ON	3,208	3,257	3,294	3,218	3,269	3,304	3,225	3,272	3,299
Desvio Padrão	0,658	0,667	0,681	0,658	0,668	0,679	0,659	0,668	0,683
Tempo OFF	34,583	43,586	72,102	31,332	39,513	65,359	29,255	36,861	60,853
Desvio Padrão	6,933	8,728	14,564	6,267	7,897	13,129	5,863	7,378	12,319
Consumo Médio/equip [Wh]	235,932	193,484	121,923	258,802	212,524	134,172	275,794	226,705	143,342
Desvio Padrão	0,168	0,129	0,100	0,180	0,159	0,114	0,189	0,185	0,121
Parte de Consumo	0,435	0,421	0,342	0,399	0,386	0,310	0,382	0,368	0,293

Tabela C.6: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura no refrigerador a variar entre 5°C e 7°C e no congelador entre -20°C e -18°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,093	0,078	0,061	0,112	0,095	0,075	0,126	0,107	0,085
Desvio Padrão	0,011	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	516,174	436,356	336,902	621,857	528,575	414,563	697,650	594,971	470,647
Desvio Padrão	0,415	0,381	0,290	0,399	0,328	0,269	0,486	0,421	0,344
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	16,834	14,239	12,262	21,586	18,354	15,854	24,936	21,283	18,426
Desvio Padrão	2,209	1,891	1,647	2,757	2,366	2,056	3,141	2,707	2,363
Número de Ciclos OFF	17,429	14,852	12,884	22,152	18,939	16,452	25,483	21,849	19,008
Desvio Padrão	2,209	1,889	1,648	2,756	2,367	2,057	3,140	2,706	2,363
Tempo ON	8,903	9,126	9,343	8,941	9,156	9,374	8,968	9,174	9,393
Desvio Padrão	1,096	1,128	1,154	1,102	1,129	1,152	1,100	1,130	1,158
Tempo OFF	77,542	93,234	109,713	58,352	70,088	82,468	49,231	59,087	69,537
Desvio Padrão	10,279	12,378	14,598	7,596	9,136	10,747	6,356	7,639	9,019
Consumo Médio/equip [Wh]	285,858	247,593	217,998	368,608	320,657	283,453	427,377	372,843	330,218
Desvio Padrão	0,277	0,279	0,243	0,315	0,256	0,249	0,356	0,332	0,296
Parte de Consumo	0,527	0,539	0,611	0,569	0,582	0,654	0,592	0,605	0,676
Congelador									
Número de Ciclos ON	37,206	30,018	18,706	40,796	33,039	20,589	43,429	35,211	22,035
Desvio Padrão	7,302	5,888	3,706	8,009	6,466	4,054	8,509	6,867	4,358
Número de Ciclos OFF	37,825	30,647	19,366	41,405	33,664	21,243	44,032	35,823	22,687
Desvio Padrão	7,304	5,891	3,709	8,012	6,470	4,059	8,511	6,871	4,361
Tempo ON	3,220	3,272	3,308	3,230	3,274	3,316	3,238	3,283	3,316
Desvio Padrão	0,629	0,638	0,649	0,632	0,638	0,649	0,633	0,637	0,650
Tempo OFF	35,653	44,959	74,349	32,209	40,529	67,189	30,043	37,806	62,518
Desvio Padrão	6,799	8,551	14,229	6,156	7,709	12,816	5,746	7,176	11,972
Consumo Médio/equip [Wh]	230,315	188,764	118,904	253,249	207,919	131,239	270,272	222,128	140,429
Desvio Padrão	0,223	0,141	0,095	0,214	0,174	0,123	0,216	0,199	0,106
Parte de Consumo	0,473	0,461	0,389	0,431	0,418	0,346	0,408	0,395	0,324

Tabela C.7: Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,106	0,098	0,093	0,090	0,083	0,078	0,071	0,064	0,061
Desvio Padrão	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012
Consumo Médio/equip [Wh]	589,952	542,943	516,174	500,991	459,739	436,356	392,229	356,649	336,902
Desvio Padrão	0,381	0,429	0,415	0,232	0,269	0,381	0,381	0,255	0,290
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	20,234	17,978	16,834	17,195	15,236	14,239	14,827	13,124	12,262
Desvio Padrão	1,626	2,031	2,209	1,409	1,745	1,891	1,231	1,521	1,647
Número de Ciclos OFF	20,812	18,567	17,429	17,782	15,839	14,852	15,429	13,736	12,884
Desvio Padrão	1,624	2,032	2,209	1,408	1,744	1,889	1,229	1,552	1,648
Tempo ON	9,022	8,950	8,903	9,238	9,169	9,126	9,467	9,396	9,343
Desvio Padrão	0,689	0,953	1,096	0,974	0,974	1,128	0,714	0,999	1,154
Tempo OFF	62,821	71,961	77,542	75,432	86,458	93,234	88,869	101,811	109,713
Desvio Padrão	5,232	8,265	10,279	6,279	9,938	12,378	7,365	11,719	14,598
Consumo Médio/equip [Wh]	348,486	306,975	285,858	302,837	266,255	247,593	267,429	234,726	217,998
Desvio Padrão	0,301	0,285	0,554	0,173	0,229	0,279	0,245	0,246	0,243
Peso no Consumo (R+C)	0,591	0,565	0,632	0,604	0,579	0,539	0,682	0,658	0,611
Congelador									
Número de Ciclos ON	39,258	38,260	37,206	31,734	30,903	30,018	19,779	19,261	18,706
Desvio Padrão	8,556	7,932	7,302	6,934	6,414	5,888	4,364	4,047	3,706
Número de Ciclos OFF	39,869	38,878	37,825	32,364	31,529	30,647	20,435	19,915	19,366
Desvio Padrão	8,562	7,934	7,304	6,937	6,417	5,891	4,369	4,050	3,709
Tempo ON	3,201	3,208	3,220	3,248	3,257	3,272	3,284	3,294	3,308
Desvio Padrão	0,686	0,656	0,629	0,696	0,667	0,638	0,710	0,681	0,649
Tempo OFF	33,624	34,583	35,653	42,355	43,586	44,959	70,095	72,102	74,349
Desvio Padrão	7,059	6,933	6,799	8,886	8,728	8,551	14,813	14,564	14,229
Consumo Médio/equip [Wh]	241,529	235,932	230,315	198,153	193,484	188,764	124,939	121,923	118,904
Desvio Padrão	0,142	0,168	0,223	0,164	0,129	0,141	0,117	0,100	0,095
Peso no Consumo (R+C)	0,409	0,435	0,446	0,396	0,421	0,461	0,318	0,342	0,389

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela C.8: Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,125	0,117	0,112	0,106	0,099	0,095	0,094	0,078	0,075
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	691,785	647,280	621,857	590,096	550,861	528,575	521,868	433,372	414,692
Desvio Padrão	0,390	0,396	0,399	0,355	0,331	0,328	0,421	0,272	0,318
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	24,718	22,619	21,586	21,077	19,259	18,354	20,693	16,659	15,851
Desvio Padrão	1,927	2,482	2,757	1,667	2,134	2,366	1,620	1,864	2,065
Número de Ciclos OFF	25,262	23,178	22,152	21,643	19,835	18,939	21,254	17,250	16,447
Desvio Padrão	1,925	2,482	2,756	1,663	2,134	2,367	1,618	1,863	2,065
Tempo ON	9,053	8,993	8,941	9,269	9,207	9,156	9,511	9,420	9,382
Desvio Padrão	0,693	0,956	1,102	0,973	0,973	1,129	0,716	1,001	1,159
Tempo OFF	44,692	55,217	58,352	59,645	66,295	70,088	60,762	77,978	82,490
Desvio Padrão	4,108	6,235	7,596	4,908	7,499	9,136	4,949	8,822	10,788
Consumo Médio/equip [Wh]	427,443	388,478	368,608	372,921	338,338	320,656	375,489	299,200	283,453
Desvio Padrão	0,618	0,601	0,569	0,632	0,615	0,607	0,293	0,243	0,249
Peso no Consumo (R+C)	0,618	0,601	0,569	0,632	0,615	0,607	0,719	0,690	0,684
Congelador									
Número de Ciclos ON	42,822	41,836	40,796	34,697	33,819	33,039	23,110	21,130	20,601
Desvio Padrão	9,242	8,638	8,009	7,584	6,998	6,466	5,097	4,407	4,079
Número de Ciclos OFF	43,429	42,447	41,405	35,319	34,443	33,664	23,757	21,783	21,254
Desvio Padrão	9,247	8,640	8,012	8,012	7,588	6,998	5,099	4,412	4,084
Tempo ON	3,211	3,218	3,230	3,256	3,269	3,274	3,294	3,304	3,315
Desvio Padrão	0,683	0,658	0,632	0,701	0,668	0,638	0,711	0,679	0,650
Tempo OFF	30,539	31,332	32,209	38,343	39,513	40,529	59,449	65,359	67,145
Desvio Padrão	6,371	6,267	6,156	8,092	7,897	7,709	12,572	13,129	12,865
Consumo Médio/equip [Wh]	264,343	258,802	253,249	217,175	212,524	207,919	146,340	134,172	131,239
Desvio Padrão	0,179	0,180	0,214	0,151	0,159	0,174	0,107	0,114	0,123
Peso no Consumo (R+C)	0,382	0,399	0,431	0,368	0,386	0,393	0,281	0,310	0,316

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela C.9: Dados para análise do Combinado em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,138	0,130	0,126	0,118	0,111	0,107	0,094	0,088	0,085
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,011	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	764,714	722,091	697,649	654,229	616,559	594,971	521,868	488,829	470,647
Desvio Padrão	0,499	0,475	0,486	0,388	0,463	0,421	0,421	0,384	0,344
Refrigerador									
Número de Ciclos ON	27,859	25,911	24,936	23,853	22,127	21,283	20,702	19,185	18,426
Desvio Padrão	2,120	2,805	3,141	1,850	2,417	2,707	1,622	2,102	2,363
Número de Ciclos OFF	28,384	26,451	25,483	24,399	22,686	21,849	21,266	19,761	19,008
Desvio Padrão	2,118	2,803	3,140	1,849	2,416	2,706	1,621	2,105	2,363
Tempo ON	9,078	9,012	8,968	9,287	9,227	9,174	9,506	9,441	9,393
Desvio Padrão	0,693	0,957	1,101	0,0706	0,978	1,130	0,717	0,998	1,158
Tempo OFF	43,001	46,995	49,231	51,605	56,428	59,087	60,727	66,359	69,537
Desvio Padrão	3,518	5,272	6,356	4,237	6,332	7,639	4,95	7,426	9,019
Consumo Médio/equip [Wh]	483,377	446,297	427,377	423,004	389,855	372,843	375,489	345,475	330,218
Desvio Padrão	0,432	0,374	0,356	0,352	0,358	0,332	0,719	0,707	0,702
Peso no Consumo (R+C)	0,632	0,618	0,613	0,647	0,632	0,627	0,719	0,707	0,702
Congelador									
Número de Ciclos ON	45,473	44,493	43,429	36,909	36,040	35,211	23,137	22,606	22,035
Desvio Padrão	9,864	9,191	8,509	8,049	7,467	6,867	5,098	4,759	4,358
Número de Ciclos OFF	46,068	45,094	44,032	37,526	36,656	35,827	23,785	23,252	22,687
Desvio Padrão	9,866	9,191	8,511	8,052	7,470	6,871	5,102	4,762	4,361
Tempo ON	3,218	3,225	3,238	3,258	3,272	3,283	3,289	3,299	2,316
Desvio Padrão	0,688	0,659	0,633	0,699	0,668	0,637	0,710	0,683	0,650
Tempo OFF	22,558	29,255	30,043	35,922	36,861	37,806	59,374	60,953	62,518
Desvio Padrão	5,987	5,863	5,746	7,551	7,378	7,176	12,556	12,319	11,972
Consumo Médio/equip [Wh]	281,337	275,794	270,272	231,225	226,705	222,128	146,340	143,342	140,429
Desvio Padrão	0,191	0,189	0,216	0,187	0,185	0,199	0,107	0,121	0,106
Peso no Consumo (R+C)	0,368	0,382	0,387	0,353	0,368	0,373	0,281	0,293	0,298

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela C.10: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -22°C e -20°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,187	0,203	0,215	0,166	0,181	0,192	0,149	0,162	0,172
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	423,563	460,434	487,673	376,509	410,002	434,650	338,119	368,783	391,311
Desvio Padrão	0,593	0,815	0,834	0,604	0,569	0,763	0,423	0,582	0,742
Número de Ciclos ON	42,993	46,591	49,064	37,620	40,792	43,029	33,172	36,079	38,219
Desvio Padrão	9,077	9,820	10,275	7,975	8,627	9,129	7,087	7,687	8,129
Número de Ciclos OFF	43,504	47,090	49,549	38,156	41,311	43,538	33,722	36,614	38,748
Desvio Padrão	9,079	9,823	10,279	7,979	8,629	9,131	7,088	7,687	8,131
Tempo ON	6,279	6,297	6,334	6,379	6,407	6,439	6,500	6,517	6,526
Desvio Padrão	1,426	1,432	1,430	1,455	1,458	1,467	1,498	1,491	1,492
Tempo OFF	27,355	24,730	23,127	32,073	29,048	27,165	37,133	33,587	31,323
Desvio Padrão	5,647	5,115	4,754	6,648	6,012	5,639	7,736	6,994	6,521

Tabela C.11: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Número de Ciclos ON	42,002	45,546	48,071	36,706	39,949	42,225	32,359	35,279	37,332
Desvio Padrão	8,420	9,066	9,601	7,372	8,049	8,438	6,519	7,114	7,511
Número de Ciclos OFF	42,521	46,047	48,560	37,243	40,469	42,733	32,918	35,818	37,864
Desvio Padrão	8,421	9,068	9,605	7,375	8,052	8,440	6,524	7,119	7,515
Tempo ON	6,297	6,327	6,355	6,402	6,420	6,448	6,517	6,537	6,564
Desvio Padrão	1,378	1,377	1,387	1,399	1,407	1,404	1,427	1,432	1,438
Tempo OFF	28,134	25,418	23,719	33,017	29,789	27,804	38,217	34,484	32,191
Desvio Padrão	5,544	4,986	4,672	6,506	5,905	5,476	7,552	6,827	6,368

Tabela C.12: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura Ambiente com uma temperatura de termóstato a variar entre -20°C e -18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,179	0,196	0,208	0,159	0,174	0,185	0,143	0,156	0,166
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	406,023	443,491	470,959	360,440	394,532	419,662	323,350	354,821	377,418
Desvio Padrão	0,676	0,627	0,676	0,597	0,617	0,645	0,496	0,583	0,536
Número de Ciclos ON	41,016	44,594	47,129	35,837	39,049	41,381	31,574	34,448	36,569
Desvio Padrão	7,782	8,452	8,861	6,840	7,415	7,877	6,047	6,588	6,979
Número de Ciclos OFF	41,539	45,098	47,624	36,376	39,580	41,898	32,130	34,992	37,103
Desvio Padrão	7,783	8,454	8,860	6,843	7,416	7,876	6,051	6,589	6,979
Tempo ON	6,310	6,339	6,369	6,414	6,442	6,465	6,533	6,568	6,581
Desvio Padrão	1,325	1,331	1,329	1,347	1,352	1,359	1,375	1,382	1,384
Tempo OFF	28,954	26,088	23,127	33,969	30,605	28,489	39,326	35,451	32,990
Desvio Padrão	5,426	4,892	4,532	6,386	5,739	5,359	7,410	6,681	6,219

Tabela C.13: Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -22°C e -20°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,187	0,166	0,149	0,203	0,181	0,162	0,215	0,192	0,172
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	423,563	376,509	338,119	460,434	410,002	368,783	487,673	434,650	391,311
Desvio Padrão	0,593	0,604	0,423	0,815	0,569	0,582	0,834	0,763	0,742
Número de Ciclos ON	42,993	37,620	33,172	46,591	40,792	36,079	49,064	43,029	38,219
Desvio Padrão	9,077	7,975	7,087	9,820	8,627	7,687	10,275	9,129	8,129
Número de Ciclos OFF	43,504	38,156	33,722	47,090	41,311	36,614	49,549	43,538	38,748
Desvio Padrão	9,079	7,979	7,088	9,823	8,629	7,687	10,279	9,131	8,131
Tempo ON	6,279	6,379	6,500	6,297	6,407	6,517	6,334	6,439	6,526
Desvio Padrão	1,426	1,455	1,498	1,432	1,458	1,491	1,430	1,467	1,492
Tempo OFF	27,3551	32,073	37,133	24,730	29,048	33,587	23,127	27,165	31,323
Desvio Padrão	5,647	6,648	7,736	5,115	6,012	6,994	4,754	5,639	6,521

Tabela C.14: Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -21°C e -19°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,320	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,639	0,533	0,712	0,613
Número de Ciclos ON	42,002	36,706	32,359	45,546	39,948	35,279	48,071	42,225	37,332
Desvio Padrão	8,420	7,372	6,519	9,066	8,049	7,115	9,601	8,438	7,511
Número de Ciclos OFF	42,521	37,243	32,918	46,047	40,469	35,818	48,560	42,733	37,864
Desvio Padrão	8,421	7,375	6,524	9,068	8,052	7,119	9,605	8,440	7,515
Tempo ON	6,297	6,402	6,517	6,237	6,420	6,537	6,355	6,448	6,564
Desvio Padrão	1,378	1,399	1,427	1,377	1,407	1,432	1,387	1,405	1,438
Tempo OFF	28,134	33,017	38,217	25,418	29,789	34,484	23,719	27,804	32,191
Desvio Padrão	5,544	6,506	7,552	4,986	5,905	6,827	4,672	5,476	6,368

Tabela C.15: Exemplo de análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com uma temperatura de termóstato a variar entre -20°C e -18°C

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,179	0,159	0,143	0,196	0,174	0,156	0,208	0,185	0,166
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	406,023	360,440	323,350	443,491	394,532	354,821	470,959	419,662	377,418
Desvio Padrão	0,676	0,597	0,496	0,627	0,617	0,583	0,676	0,645	0,536
Número de Ciclos ON	41,016	35,837	31,574	44,594	39,049	34,448	47,129	41,381	36,569
Desvio Padrão	7,782	6,840	6,047	8,452	7,415	6,588	8,861	7,877	6,979
Número de Ciclos OFF	41,539	36,376	32,130	45,098	39,580	34,992	47,624	41,898	37,103
Desvio Padrão	7,783	6,843	6,051	8,454	7,416	6,589	8,860	7,876	6,979
Tempo ON	6,310	6,414	6,533	6,339	6,442	6,568	6,369	6,465	6,581
Desvio Padrão	1,325	1,347	1,375	1,331	1,352	1,382	1,329	1,359	1,384
Tempo OFF	28,954	33,969	39,326	26,088	30,605	35,451	23,127	28,489	32,990
Desvio Padrão	5,426	6,386	7,410	4,892	5,739	6,681	4,532	5,359	6,219

Tabela C.16: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,187	0,183	0,179	0,166	0,163	0,159	0,149	0,146	0,143
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	423,563	414,901	406,023	376,509	368,536	360,440	338,119	330,707	323,350
Desvio Padrão	0,593	0,508	0,676	0,604	0,483	0,597	0,423	0,612	0,496
Número de Ciclos ON	42,993	42,002	41,016	37,620	36,706	35,837	33,172	32,359	31,574
Desvio Padrão	9,077	8,420	7,782	7,975	7,372	6,840	7,087	6,519	6,047
Número de Ciclos OFF	43,504	42,521	41,539	38,156	37,243	36,376	33,722	32,918	32,130
Desvio Padrão	9,079	8,421	7,783	7,979	7,375	6,843	7,088	6,524	6,051
Tempo ON	6,279	6,297	6,310	6,379	6,402	6,414	6,500	6,517	6,533
Desvio Padrão	1,426	1,378	1,325	1,455	1,399	1,347	1,498	1,427	1,375
Tempo OFF	27,355	28,134	28,954	32,073	33,017	33,969	37,133	38,217	39,326
Desvio Padrão	5,647	5,544	5,426	6,648	6,506	6,386	7,736	7,552	7,410

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela C.17: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,203	0,199	0,196	0,181	0,177	0,174	0,162	0,159	0,156
Desvio Padrão	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	460,434	452,219	443,491	410,002	402,350	394,532	368,783	361,714	354,821
Desvio Padrão	0,815	0,537	0,627	0,569	0,581	0,617	0,582	0,634	0,583
Número de Ciclos ON	46,591	45,546	44,594	40,792	39,949	39,049	36,079	35,279	34,448
Desvio Padrão	9,820	9,066	8,452	8,627	8,049	7,415	7,687	7,114	6,588
Número de Ciclos OFF	47,090	46,047	45,098	41,311	40,469	39,580	36,614	35,818	34,992
Desvio Padrão	9,823	9,068	8,454	8,629	8,052	7,416	7,687	7,119	6,589
Tempo ON	6,297	6,327	6,339	6,407	6,420	6,422	6,517	6,537	6,568
Desvio Padrão	1,432	1,377	1,331	1,458	1,407	1,352	1,491	1,432	1,382
Tempo OFF	24,730	25,418	26,088	29,048	29,789	30,605	33,587	34,484	35,451
Desvio Padrão	5,115	4,986	4,892	6,012	5,905	5,739	6,994	6,827	6,681

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela C.18: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Escala de temperatura do termóstato com uma temperatura ambiente de 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	0,215	0,211	0,208	0,192	0,188	0,185	0,173	0,169	0,166
Desvio Padrão	0,008	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	487,673	479,319	470,959	434,650	427,108	419,662	391,311	384,303	377,418
Desvio Padrão	0,834	0,533	0,676	0,763	0,712	0,645	0,742	0,613	0,536
Número de Ciclos ON	49,064	48,071	47,129	43,029	42,225	41,381	38,219	37,332	36,569
Desvio Padrão	10,275	9,601	8,861	9,129	8,438	7,877	8,129	7,511	6,979
Número de Ciclos OFF	49,549	48,560	47,624	43,538	42,733	41,898	38,748	37,864	37,103
Desvio Padrão	10,279	9,605	8,860	9,131	8,440	7,876	8,131	7,515	6,979
Tempo ON	6,333	6,355	6,369	6,439	6,448	6,465	6,526	6,564	6,581
Desvio Padrão	1,430	1,387	1,329	1,467	1,494	1,359	1,492	1,438	1,384
Tempo OFF	23,127	23,719	24,307	27,165	27,804	28,488	31,323	32,191	32,990
Desvio Padrão	4,754	4,672	4,532	5,639	5,476	5,359	6,521	6,368	6,219

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Anexo D

Tabelas Resumo das Equações das Retas de Tendência

Tabela D.1: Tabela resumo das equações das retas de tendência obtidas para o FC e para o Consumo Médio para o Combinado em função das três variáveis analisadas: Temperatura Ambiente, Temperaturas Limite do Termóstato e Espessura de Isolamento

Temperatura Ambiente	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	$y = 0,0045x + 0,0254$	$y = 0,0046x + 0,0149$	$y = 0,0047x + 0,0089$	$y = 0,004x + 0,0193$	$y = 0,004x + 0,0102$	$y = 0,0041x + 0,0051$	$y = 0,0033x + 0,0106$	$y = 0,0034x + 0,0003$	$y = 0,0034x - 0,0013$
Consumo Médio/equip	$y = 29,993x + 140,642$	$y = 25,619x + 82,354$	$y = 25,952x + 49,602$	$y = 21,912x + 107,010$	$y = 22,423x + 56,548$	$y = 22,680x + 28,555$	$y = 18,535x + 58,920$	$y = 18,897x + 16,836$	$y = 19,125x - 6,958$
Temperaturas Limite do Termóstato	0,04								
FC	$y = -0,0067x + 0,1125$	$y = -0,0063x + 0,1305$	$y = -0,006x + 0,1434$	$y = -0,0058x + 0,0957$	$y = -0,0055x + 0,01115$	$y = -0,0053x + 0,1228$	$y = -0,005x + 0,0753$	$y = -0,0048x + 0,0886$	$y = -0,0046x + 0,00983$
Consumo Médio/equip	$y = -36,921x + 584,112$	$y = -34,964x + 584,112$	$y = -33,532x + 876,168$	$y = -32,317x + 584,112$	$y = -30,761x + 584,112$	$y = -29,629x + 584,112$	$y = -27,733x + 292,056$	$y = -26,439x + 584,112$	$y = -25,610x + 584,112$
Espessura de Isolamento	18°C			22°C			25°C		
FC	$y = -1,784$	$y = -1,657$	$y = -1,6166x + 0,1584$	$y = -2,0231x + 0,2063$	$y = -1,9293x + 0,1946$	$y = -1,87x + 0,1876$	$y = -2,19x + 0,2262$	$y = -2,1031x + 0,215$	$y = -2,0471x + 0,2084$
Consumo Médio/equip	$y = -8761,682x + 876,168$	$y = -8761,682x + 876,168$	$y = -8761,682x + 876,168$	$y = -11682,243x + 1168,224$					

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Tabela D.2: Tabela resumo das equações das retas de tendência obtidas para o FC e para o Consumo Médio para a Arca Frigorífica em função das três variáveis analisadas: Temperatura Ambiente, Temperaturas Limite do Termóstato e Espessura de Isolamento

Temperatura Ambiente	0,04			0,05			0,06		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
FC	$y = 0,114 + 0,004x + 0,11$	$y = 0,0041x + 0,11$	$y = 0,0041x + 0,1054$	$y = 0,0037x + 0,1$	$y = 0,0037x + 0,0962$	$y = 0,0037x + 0,0918$	$y = 0,0033x + 0,0889$	$y = 0,0034x + 0,085$	$y = 0,0034x + 0,0814$
Consumo Médio/equip	$y = 258,719 + 9,162x + 249,275$	$y = 9,209x + 249,275$	$y = 9,281x + 239,058$	$y = 8,309x + 227,014$	$y = 8,372x + 217,935$	$y = 8,464x + 208,166$	$y = 7,603x + 201,349$	$y = 7,662x + 192,904$	$y = 7,732x + 184,342$
Temperaturas Limite do Termóstato	0,04								
FC	$y = -0,1906 + 0,0039x + 0,2068$	$y = -0,0037x + 0,2068$	$y = -0,0037x + 0,2187$	$y = -0,0035x + 0,1695$	$y = -0,0034x + 0,1842$	$y = -0,0033x + 0,1949$	$y = -0,0033x + 0,1523$	$y = -0,0031x + 0,1657$	$y = -0,0031x + 0,1756$
Consumo Médio/equip	$y = 571,429 - 8,770x + 571,429$	$y = -8,471x + 571,429$	$y = -8,357x + 571,429$	$y = -8,035x + 285,714$	$y = -7,735x + 285,714$	$y = -7,494x + 571,429$	$y = -7,384x + 285,714$	$y = -6,981x + 285,714$	$y = -6,946x + 285,714$
Espessura de Isolamento	18°C			22°C			25°C		
FC	$y = -1,02614 + 1,8824x + 0,2513$	$y = -1,8574x + 0,2566$	$y = -1,8216x + 0,2513$	$y = -2,0194x + 0,2831$	$y = -1,9943x + 0,2785$	$y = -1,9552x + 0,2731$	$y = -2,1257x + 0,2993$	$y = -2,0945x + 0,2944$	$y = -2,0622x + 0,2895$
Consumo Médio/equip	$y = 571,429 - 2857,143x + 571,429$	$y = -2857,143x + 571,429$	$y = -2857,143x + 571,429$	$y = -5714,286x + 571,429$					
Espessura de Isolamento	18°C			22°C			25°C		
FC	$y = -1,8824x + 0,2614$	$y = -1,8574x + 0,2566$	$y = -1,8216x + 0,2513$	$y = -2,0194x + 0,2831$	$y = -1,9943x + 0,2785$	$y = -1,9552x + 0,2731$	$y = -2,1257x + 0,2993$	$y = -2,0945x + 0,2944$	$y = -2,0622x + 0,2895$
Consumo Médio/equip	$y = 571,429 - 2857,143x + 571,429$	$y = -2857,143x + 571,429$	$y = -2857,143x + 571,429$	$y = -5714,286x + 571,429$					

Legenda: 1=[2/4] [-22/-20]; 2=[4/6] [-21/-19]; 3=[5/7] [-20/-18]

Anexo E

Tabelas resultantes da ação de controlo direto

Tabela E.1: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 15 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,041	0,035	0,031	0,046	0,039	0,034	0,049	0,042	0,037
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo médio/equip [Wh]	414,802	368,627	330,852	452,185	402,415	361,999	479,227	427,148	384,463
Desvio Padrão	0,601	0,489	0,427	0,535	0,635	0,580	0,0791	0,661	0,470
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Pico após corte [FC]	0,679	0,582	0,504	0,749	0,645	0,561	0,798	0,692	0,604
Tempo até atingir o pico [min]	4	4	4	4	4	4	4	4	5
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	0	0	0	1,129	0	0	1,439	0,379	0
Temperatura Máxima [°C]	-17,832	-17,975	-18,117	-17,628	-17,854	-18,0134	-17,496	-17,813	-17,919
Número de cargas	0	0	0	8,483	0	0	25,655	0,379	0
Tempo de estabilização [min]	226	291	226	192	266	280	244	209	292

Tabela E.2: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 30 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,071	0,066	0,059	0,074	0,069	0,064	0,075	0,072	0,065
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,653	368,229	330,560	451,934	402,353	361,669	479,099	426,892	384,196
Desvio Padrão	0,493	0,586	0,518	0,649	0,614	0,564	0,582	0,626	0,622
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Pico após corte [FC]	0,989	0,939	0,858	0,998	0,978	0,920	0,999	0,991	0,954
Tempo até atingir o pico [min]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	5,656	4,504	3,313	6,792	5,238	4,193	7,658	5,888	4,717
Temperatura Máxima [°C]	-16,668	-17,009	-17,294	-16,384	-16,758	-17,075	-16,184	-16,588	-16,895
Número de cargas	903,552	405,931	150,241	1332,931	705,897	311,172	1657,586	979,345	482,310
Tempo de estabilização [min]	256	266	276	262	272	280	281	295	291

Tabela E.3: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,182	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,093	0,089	0,086	0,096	0,092	0,089	0,098	0,094	0,091
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Mé- dio/equip [Wh]	413,861	367,782	330,443	450,965	401,615	361,134	478,141	426,331	383,813
Desvio Padrão	0,712	0,577	0,524	0,654	0,733	0,498	0,552	0,525	0,590
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Pico após corte [FC]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duração do pico [min]	9	7	7	10	8	7	11	9	8
Tempo que ultrapas- sou -17,8°C [min]	27,977	21,039	17,267	33,105	25,351	19,918	36,404	28,852	22,219
Temperatura Máxima [°C]	-14,479	-15,124	-15,678	-13,929	-14,664	-15,243	-13,569	-14,329	-14,939
Número de cargas	3498,138	3267,517	2636,414	3500	3476,103	3134	3500	3499	3356,034
Tempo de estabiliza- ção [min]	285	296	306	269	298	308	283	263	290

Tabela E.4: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 15 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,021	0,018	0,016	0,025	0,021	0,017	0,027	0,023	0,019
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	542,803	459,753	356,528	647,275	550,788	433,445	722,014	616,327	488,954
Desvio Padrão	0,354	0,392	0,222	0,396	0,372	0,311	0,588	0,387	0,468
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,475	0,463	0,365
Pico após corte [FC]	0,368	0,294	0,207	0,429	0,352	0,237	0,479	0,384	0,269
Tempo até atingir o pico [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	0	0	0	0	0	0	0,621	0	0
Temperatura Máxima [°C]	-17,940	-18,175	-18,510	-17,834	-18,089	-18,444	-17,729	-18,002	-18,397
Número de cargas	0	0	0	0	0	0	0,862	0	0
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	7,062	6,991	6,918	7,246	7,216	7,047	7,366	7,219	7,132
Número de cargas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de estabilização [min]	502	729	770	488	765	854	480	499	474

Tabela E.5: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 30 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,039	0,032	0,024	0,046	0,038	0,029	0,051	0,043	0,034
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	542,622	459,631	356,479	647,102	550,693	433,461	722,730	616,269	488,784
Desvio Padrão	0,329	0,391	0,255	0,491	0,336	0,399	0,516	0,350	0,344
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,475	0,463	0,365
Pico após corte [FC]	0,667	0,547	0,386	0,761	0,641	0,449	0,822	0,711	0,508
Tempo até atingir o pico [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	4,486	2,925	0	5,065	3,677	0	5,675	4,155	0
Temperatura Máxima [°C]	-16,965	-17,384	-18,045	-16,743	-17,215	-17,935	-16,537	-17,078	-17,851
Número de cargas	438,069	88,241	0	732,897	201,966	0	972,069	314,690	0
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	0	0	0	0	0	0	0,241	0	0
Temperatura Máxima [°C]	7,501	7,359	7,242	7,789	7,624	7,487	8,036	7,804	7,620
Número de cargas	0	0	0	0	0	0	0,276	0	0
Tempo de estabilização [min]	491	320	847	463	513	720	402	473	516

Tabela E.6: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,067	0,058	0,046	0,075	0,068	0,057	0,077	0,072	0,064
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,067	0,058	0,046	0,075	0,068	0,057	0,077	0,072	0,064
Consumo Médio/equip [Wh]	542,803	459,753	356,528	647,275	550,788	433,445	722,014	616,327	488,954
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	488,817
Pico após corte [FC]	0,941	0,867	0,721	0,998	0,964	0,849	0,999	0,997	0,925
Tempo até atingir o pico [min]	5	4	3	5	5	3	2	5	3
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	19,761	15,058	7,488	23,099	16,985	8,702	25,988	18,333	9,461
Temperatura Máxima [°C]	-15,071	-15,869	-17,107	-14,675	-15,500	-16,908	-14,275	-15,243	-16,719
Número de cargas	3159,689	2101,207	324,897	3378,138	2621,034	524,207	3418,931	2924,103	781,276
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	3,591	0,724	0	8,556	5,206	3,036	12,595	8,556	5,593
Temperatura Máxima [°C]	8,371	8,077	7,842	8,919	8,587	8,277	9,348	8,966	8,611
Número de cargas	61,034	0,448	0	786	221,310	29,345	1494,931	756,655	243,862
Tempo de estabilização [min]	396	429	759	374	343	546	438	471	493

Tabela E.7: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 15 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,041	0,046	0,049	0,035	0,039	0,042	0,031	0,034	0,037
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,09	0,009	0,009
Consumo Mé- dio/equip [Wh]	414,802	452,185	479,227	368,627	402,415	427,148	330,852	361,999	384,463
Desvio Padrão	0,601	0,535	0,791	0,489	0,635	0,661	0,427	0,580	0,470
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Pico após corte [FC]	0,679	0,749	0,798	0,582	0,645	0,692	0,504	0,561	0,604
Tempo até atingir o pico [min]	4	4	4	4	4	4	4	4	5
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapas- sou -17,8°C [min]	0	1,129	1,439	0	0	0,379	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	-17,832	-17,623	-17,496	-17,975	-17,854	-17,813	-18,117	-18,013	-17,919
Número de cargas	0	8,483	25,655	0	0	0,379	0	0	0
Tempo de estabiliza- ção [min]	226	192	244	291	266	209	226	280	292

Tabela E.8: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 30 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,071	0,074	0,075	0,066	0,069	0,072	0,059	0,064	0,067
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,09	0,009	0,009
Consumo Mé- dio/equip [Wh]	414,654	451,934	479,099	368,229	402,353	426,892	330,560	361,668	384,196
Desvio Padrão	0,601	0,535	0,791	0,489	0,635	0,661	0,427	0,580	0,470
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Pico após corte [FC]	0,989	0,998	0,999	0,939	0,978	0,991	0,858	0,920	0,953
Tempo até atingir o pico [min]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapas- sou -17,8°C [min]	0	1,129	1,439	0	0	0,379	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	-16,668	-16,384	-16,184	-17,009	-16,758	-16,588	-17,294	-17,075	-16,895
Número de cargas	903,552	1332,931	1657,586	405,931	705,897	979,345	150,241	311,172	482,310
Tempo de estabiliza- ção [min]	256	262	281	266	272	295	276	280	291

Tabela E.9: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,182	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,093	0,096	0,098	0,089	0,092	0,094	0,086	0,089	0,091
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,09	0,009	0,009
Consumo Mé- dio/equip [Wh]	413,861	450,965	478,141	367,782	401,615	426,331	330,443	361,134	383,813
Desvio Padrão	0,712	0,654	0,552	0,577	0,733	0,535	0,524	0,498	0,590
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Pico após corte [FC]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Duração do pico [min]	9	10	11	7	8	9	7	7	8
Tempo que ultrapas- sou -17,8°C [min]	27,977	33,105	36,404	21,039	25,351	28,852	17,267	19,918	22,219
Temperatura Máxima [°C]	-14,479	-13,929	-13,569	-15,124	-14,664	-14,329	-15,678	-15,243	-14,939
Número de cargas	3498,138	3500	3500	3276,517	3476,103	3499	2636,414	3134	3356,034
Tempo de estabiliza- ção [min]	285	269	283	296	298	263	306	308	290

Tabela E.10: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 15 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,116	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,021	0,025	0,027	0,018	0,021	0,023	0,016	0,017	0,019
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	542,803	647,275	722,014	459,753	550,788	616,327	356,528	433,445	488,954
Desvio Padrão	0,354	0,396	0,588	0,392	0,372	0,387	0,222	0,311	0,468
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,463	0,255	0,272	0,365
Pico após corte [FC]	0,368	0,429	0,479	0,294	0,352	0,384	0,207	0,237	0,269
Tempo até atingir o pico [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	0	0	0,621	0	0	0	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	-17,940	-17,834	-17,729	-18,175	-18,089	-18,002	-18,510	-18,444	-18,397
Número de cargas	0	0	0,862	0	0	0	0	0	0
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	7,062	7,246	7,366	6,991	7,126	7,219	6,918	7,047	7,132
Número de cargas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de estabilização [min]	502	488	480	729	765	499	770	854	474

Tabela E.11: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 30 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,116	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,039	0,046	0,051	0,032	0,038	0,043	0,024	0,029	0,034
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	542,622	647,102	721,730	459,631	550,693	616,269	356,479	433,461	488,784
Desvio Padrão	0,329	0,491	0,516	0,391	0,336	0,350	0,255	0,399	0,344
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,463	0,255	0,272	0,365
Pico após corte [FC]	0,667	0,761	0,822	0,547	0,641	0,711	0,386	0,449	0,508
Tempo até atingir o pico [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	4,486	5,065	5,675	2,925	3,677	4,155	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	-16,965	-16,743	-16,537	-17,384	-17,215	-17,078	-18,045	-17,935	-17,851
Número de cargas	438,069	732,897	972,069	88,241	201,966	314,689	0	0	0
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	0	0	0,241	0	0	0	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	7,501	7,789	8,036	7,359	7,624	7,804	7,243	7,487	7,620
Número de cargas	0	0	0,276	0	0	0	0	0	0
Tempo de estabilização [min]	491	463	402	320	513	473	847	720	516

Tabela E.12: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação de um corte de 60 minutos

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,116	0,129	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Consumo Médio/equip [Wh]	541,887	645,941	720,551	458,985	549,896	615,471	356,298	432,884	488,202
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Pico após corte [FC]	0,941	0,998	0,999	0,867	0,964	0,997	0,721	0,849	0,925
Tempo até atingir o pico [min]	5	5	2	4	5	5	3	3	3
Duração do pico [min]	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Tempo que ultrapassou -17,8°C [min]	19,761	23,099	25,988	15,058	16,985	18,333	7,488	8,702	9,461
Temperatura Máxima [°C]	-15,071	-14,675	-14,275	-15,869	-15,500	-15,243	-17,107	-16,908	-16,719
Número de cargas	3159,689	3378,138	3418,931	2101,207	2621	2924,103	324,897	524,207	781,276
Tempo que ultrapassou 8°C [min]	3,591	8,556	12,595	0,724	5,206	8,556	0	3,036	5,593
Temperatura Máxima [°C]	8,371	8,919	9,348	8,077	8,587	8,966	7,842	8,277	8,611
Número de cargas	61,034	786	1494,931	0,448	221,310	756,655	0	29,345	243,862
Tempo de estabilização [min]	396	374	438	429	343	471	459	546	493

Tabela E.13: Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,183	0,183	0,182	0,163	0,162	0,162	0,146	0,146	0,146
Referência [FC]		0,183			0,162			0,146	
Consumo Médio/equip [Wh]	414,802	414,654	413,861	368,627	368,229	367,782	330,852	330,560	330,443
Referência [Wh]		414,901			368,536			330,707	
Pico após corte [FC]	0,679	0,989	1	0,582	0,939	1	0,504	0,858	1
Duração do pico [min]	1	1	9	1	1	7	1	1	7
Número de cargas	0	903,552	3498,138	0	405,931	3276,517	0	150,241	2636,414
Temperatura Máxima [°C]	-17,628	-16,384	-13,929	-17,854	-16,758	-17,075	-18,013	-17,075	-15,243

Tabela E.14: Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,199	0,199	0,199	0,177	0,177	0,177	0,159	0,159	0,159
Referência [FC]		0,199			0,177			0,159	
Consumo Médio/equip [Wh]	452,185	451,934	450,965	402,415	402,353	401,615	361,999	361,668	361,134
Referência [Wh]		452,219			402,350			361,714	
Pico após corte [FC]	0,749	0,998	1	0,645	0,978	1	0,561	0,920	1
Duração do pico [min]	1	1	10	1	1	8	1	1	7
Número de cargas	8,483	1332,931	3500	0	705,897	3476,103	0	311,172	3134
Temperatura Máxima [°C]	-17,832	-16,728	-14,584	-17,975	-17,073	-15,219	-18,117	-17,352	-15,749

Tabela E.15: Dados para análise dos diferentes cortes numa Arca Frigorífica a 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,211	0,2111	0,211	0,188	0,188	0,188	0,169	0,169	0,169
Referência [FC]		0,211			0,188			0,169	
Consumo Médio/equip [Wh]	479,227	479,099	478,141	427,148	426,892	426,331	384,463	384,196	383,813
Referência [Wh]		479,319			427,108			384,303	
Pico após corte [FC]	0,798	0,999	1	0,692	0,991	1	0,604	0,954	1
Duração do pico [min]	1	1	11	1	1	9	1	1	8
Número de cargas	25,655	1657,586	3500	0,379	979,345	3498,966	0	482,310	3356
Temperatura Máxima [°C]	-17,496	-16,184	-13,569	-17,813	-16,588	-14,329	-17,919	-16,895	-14,939

Tabela E.16: Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 18°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,098	0,098	0,098	0,083	0,083	0,083	0,064	0,064	0,064
Referência [FC]		0,098			0,083			0,064	
Consumo Médio/equip [Wh]	542,803	542,622	542,803	459,753	459,631	459,753	356,528	356,474	356,528
Referência [Wh]		542,906			459,739			356,649	
Pico após corte [FC]	0,368	0,667	0,941	0,294	0,547	0,867	0,207	0,386	0,721
Número de cargas que ultrapassou limite - 17,8°C	0	438,069	3159,689	0	88,241	2101,207	0	0	324,897
Temperatura Máxima [°C]	-17,940	-16,965	-15,071	-18,175	-17,384	-15,869	-18,510	-18,045	-17,107
Número de cargas que ultrapassou limite 8°C	0	0	61,034	0	0	0,448	0	0	0
Temperatura Máxima [°C]	7,062	7,501	8,371	6,991	7,359	8,077	6,918	7,242	7,842

Tabela E.17: Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 22°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,117	0,117	0,117	0,099	0,099	0,099	0,078	0,078	0,078
Referência [FC]	0,117			0,099			0,078		
Consumo Médio/equip [Wh]	647,275	647,102	645,941	550,788	550,93	549,896	433,445	433,461	432,884
Referência [Wh]	647,280			550,861			433,372		
Pico após corte [FC]	0,429	0,761	0,998	0,352	0,641	0,964	0,237	0,449	0,849
Número de cargas que ultrapassou limite - 17,8°C	0	732,897	3378,138	0	201,966	2621,035	0	0	524,207
Temperatura Máxima [°C]	-17,834	-16,743	-14,675	-18,089	-17,215	-15,500	-18,444	-17,935	-16,908
Número de cargas que ultrapassou limite 8°C	0	0	786	0	0	221,310	0	0	29,345
Temperatura Máxima [°C]	7,246	7,789	8,919	7,126	7,624	8,587	7,047	7,487	8,277

Tabela E.18: Dados para análise dos diferentes cortes num Combinado a 25°C

Grupo	0,04			0,05			0,06		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
FC	0,130	0,130	0,130	0,111	0,111	0,111	0,088	0,088	0,088
Referência [FC]	0,130			0,111			0,088		
Consumo Médio/equip [Wh]	722,014	722,730	722,014	616,327	616,269	616,327	488,954	488,784	488,954
Referência [Wh]	722,091			616,559			488,817		
Pico após corte [FC]	0,479	0,822	0,999	0,384	0,711	0,997	0,269	0,508	0,925
Número de cargas que ultrapassou limite - 17,8°C	0,862	972,069	3418,931	0	341,690	2924,103	0	0	781,276
Temperatura Máxima [°C]	-17,729	-16,537	-14,275	-18,002	-17,078	-15,243	-18,397	-17,851	-16,719
Número de cargas que ultrapassou limite 8°C	0	0,276	1494,931	0	0	756,655	0	0	243,862
Temperatura Máxima [°C]	7,366	8,036	9,348	7,219	7,804	8,966	7,132	7,620	8,611

Anexo F

Tabelas resultantes da
manipulação do limite superior e
inferior de temperatura do
termóstato

Tabela F.1: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,066	0,054	0,044	0,067	0,063	0,050	0,064	0,067	0,057
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,899	368,645	330,816	452,117	402,535	361,824	479,472	427,398	384,594
Desvio Padrão	0,686	0,536	0,459	0,658	0,670	0,632	0,715	0,522	0,632
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Pico após primeira ação [FC]	0,657	0,643	0,624	0,671	0,653	0,635	0,682	0,663	0,647
Tempo até atingir o pico [min]	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	3	4	4	2	4	4	2	3	4
Tempo de consumo nulo [min]	22	26	26	20	23	26	19	21	25
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	0	0	8	3	0	9	6	1
Pico após consumo nulo [FC]	0,864	0,678	0,393	0,910	0,809	0,593	0,897	0,868	0,715
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	6	5	11	8	6	12	11	7
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	6	5	3	5	6	3	5	6
Tempo de estabilização [min]	296	333	228	252	272	276	222	238	199

Tabela F.2: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,065	0,117	0,099	0,079	0,131	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,055	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,056	0,055	0,055
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,009	0,010	0,011	0,008	0,009	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	545,311	462,007	359,016	649,219	552,729	435,319	723,537	617,974	490,619
Desvio Padrão	0,525	0,299	0,273	0,332	0,422	0,295	0,505	0,407	0,355
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,463	0,463	0,463
Pico após primeira ação [FC]	0,765	0,757	0,747	0,768	0,761	0,749	0,771	0,762	0,750
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de consumo nulo [min]	27	28	28	24	28	28	22	28	28
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	0	0	4	0	0	6	0	0
Pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,115	0,033	0,359	0,188	0,037	0,366	0,251	0,039
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	3	62	6	3	44	8	3	37
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	3	62	2	3	44	2	3	37
Maior pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,163	0,145	0,359	0,239	0,189	0,366	0,251	0,215
Tempo até atingir o maior pico após o consumo nulo [min]	4	118	145	6	82	104	8	3	84
Tempo até atingir o maior pico após fim da segunda ação [min]	3	118	145	2	82	104	2	3	84
Tempo de estabilização [min]	428	407	485	396	435	416	383	399	416

Tabela F.3: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,066	0,067	0,064	0,054	0,063	0,067	0,044	0,050	0,057
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,899	452,117	479,472	368,645	402,535	427,398	330,816	361,824	384,594
Desvio Padrão	0,688	0,656	0,715	0,536	0,670	0,522	0,459	0,632	0,632
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Pico após primeira ação [FC]	0,657	0,671	0,682	0,643	0,653	0,663	0,624	0,635	0,647
Tempo até atingir o pico [min]	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	3	2	2	4	4	3	4	4	4
Tempo de consumo nulo [min]	22	20	19	26	23	21	26	26	25
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	8	9	0	3	6	0	0	1
Pico após consumo nulo [FC]	0,864	0,910	0,897	0,678	0,809	0,868	0,393	0,593	0,715
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	11	12	6	8	11	5	6	7
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	3	3	6	5	5	5	6	6
Tempo de estabilização [min]	296	252	222	333	272	238	228	276	199

Tabela F.4: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,117	0,131	0,083	0,099	0,111	0,065	0,079	0,088
Desvio Padrão	0,055	0,055	0,056	0,054	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
Referência [FC]	0,098	0,117	0,131	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,423	0,255	0,272	0,365
Consumo Médio/equip [Wh]	545,311	649,219	723,537	462,007	552,729	617,974	359,016	435,319	490,619
Desvio Padrão	0,525	0,332	0,505	0,299	0,422	0,407	0,273	0,295	0,355
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,423	0,255	0,272	0,365
Pico após primeira ação [FC]	0,765	0,768	0,771	0,757	0,761	0,762	0,747	0,749	0,750
Tempo até atingir o pico [min]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de consumo nulo [min]	27	24	22	28	28	28	28	28	28
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	4	6	0	0	0	0	0	0
Pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,359	0,366	0,115	0,188	0,251	0,033	0,037	0,039
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	6	8	3	3	3	62	44	37
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	2	2	3	3	3	62	44	37
Maior pico após consumo nulo [FC]	0,306	0,359	0,366	0,163	0,239	0,251	0,145	0,189	0,215
Tempo até atingir o maior pico após o consumo nulo [min]	4	6	8	118	82	3	145	104	84
Tempo até atingir o maior pico após fim da segunda ação [min]	3	2	2	118	82	3	145	104	84
Tempo de estabilização [min]	428	396	383	407	435	399	485	416	416

Anexo G

Tabelas resultantes da
manipulação do limite superior
de temperatura do termóstato

Tabela G.1: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,063	0,057	0,050	0,061	0,062	0,055	0,058	0,064	0,059
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,706	479,260	427,130	384,244
Desvio Padrão	0,662	0,564	0,530	0,677	0,547	0,598	0,763	0,593	0,563
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Pico após primeira ação [FC]	0,574	0,565	0,555	0,579	0,571	0,563	0,585	0,576	0,569
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	8	8	7	7	8	7	8	8
Tempo de consumo nulo [min]	18	21	22	15	19	22	14	16	20
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	1	0	8	4	0	9	6	2
Pico após consumo nulo [FC]	0,908	0,820	0,707	0,909	0,892	0,785	0,91	0,909	0,842
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	6	5	10	10	5	10	11	8
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	5	5	2	6	5	5	5	6
Tempo de estabilização [min]	212	218	192	201	232	302	265	194	230

Tabela G.2: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Variável	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,032	0,030	0,028	0,037	0,031	0,029	0,042	0,035	0,031
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,079	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,011	0,009	0,010	0,011	0,009	0,009	0,011
Consumo médio/equip [Wh]	542,966	459,946	356,699	647,392	550,925	433,537	722,187	616,737	489,058
Desvio Padrão	0,316	0,420	0,227	0,391	0,369	0,325	0,576	0,409	0,488
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	489,817
Desvio Padrão	0,364	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,475	0,463	0,365
Pico após primeira ação [FC]	0,519	0,515	0,504	0,527	0,519	0,509	0,529	0,523	0,515
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tempo de consumo nulo [min]	22	23	23	19	23	23	17	23	23
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	0	0	4	0	0	6	0	0
Pico após consumo nulo	0,375	0,281	0,119	0,549	0,330	0,166	0,623	0,454	0,203
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	3	50	7	3	30	9	3	16
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	3	50	3	3	30	3	3	16
Tempo de estabilização [min]	356	397	369	341	366	493	333	355	344

Tabela G.3: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,063	0,061	0,058	0,057	0,062	0,064	0,050	0,055	0,059
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,989	452,169	479,260	368,538	402,403	427,130	330,721	361,706	384,244
Desvio Padrão	0,662	0,677	0,763	0,564	0,547	0,593	0,530	0,598	0,563
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Pico após primeira ação [FC]	0,574	0,579	0,585	0,565	0,571	0,576	0,555	0,563	0,569
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	7	7	8	7	8	8	8	8
Tempo de consumo nulo [min]	18	15	14	21	19	16	22	22	20
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	5	8	9	1	4	6	0	0	2
Pico após consumo nulo [FC]	0,908	0,909	0,91	0,820	0,892	0,909	0,707	0,785	0,842
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	10	10	10	6	10	11	5	5	8
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	5	2	5	5	6	5	5	5	6
Tempo de estabilização [min]	212	201	265	218	232	194	192	302	230

Tabela G.4: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,032	0,037	0,042	0,030	0,031	0,035	0,028	0,029	0,031
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011
Consumo Médio/equip [Wh]	542,966	647,392	722,187	459,946	550,925	616,737	356,699	433,537	489,058
Desvio Padrão	0,316	0,391	0,576	0,420	0,369	0,409	0,227	0,325	0,488
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,463	0,255	0,272	0,365
Pico após primeira ação [FC]	0,519	0,527	0,529	0,515	0,519	0,523	0,504	0,509	0,515
Tempo até atingir o pico [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo desde segunda ação a consumo nulo [min]	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tempo de consumo nulo [min]	22	19	17	23	23	23	23	23	23
Tempo desde o fim de consumo nulo ao fim da segunda ação [min]	1	4	6	0	0	0	0	0	0
Pico após consumo nulo [FC]	0,375	0,549	0,623	0,281	0,330	0,454	0,120	0,166	0,203
Tempo desde consumo nulo ao pico [min]	4	7	9	3	3	3	50	30	16
Tempo desde fim da segunda ação ao pico [min]	3	3	3	3	3	3	50	30	16
Tempo de estabilização [min]	356	341	333	397	366	355	369	493	344

Anexo H

Tabelas resultantes da
manipulação do limite inferior de
temperatura do termóstato

Tabela H.1: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,183	0,163	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,028	0,026	0,023	0,029	0,028	0,026	0,029	0,029	0,027
Referência [FC]	0,183	0,162	0,146	0,199	0,177	0,159	0,211	0,188	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
Consumo Médio/equip [Wh]	414,837	368,580	330,687	452,301	402,503	361,751	479,669	427,159	384,434
Desvio Padrão	0,626	0,702	0,606	0,543	0,665	0,588	0,736	0,645	0,709
Referência [Wh]	414,901	368,536	330,707	452,219	402,350	361,714	479,319	427,108	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,483	0,612	0,537	0,581	0,634	0,533	0,712	0,613
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,268	0,238	0,215	0,292	0,259	0,235	0,311	0,277	0,249
Desvio Padrão	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
Tempo até atingir a média de pico [min]	6	3	3	4	3	3	6	3	3
Tempo de média de pico [min]	12	16	20	12	14	16	9	16	17
Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,021	0,020	0,030	0,023	0,020	0,024	0,024	0,021	0,019
Tempo até atingir o pico desde aplicação da segunda ação [min]	8	14	16	4	11	14	2	8	13
Pico após término da segunda ação [FC]	0,355	0,277	0,248	0,391	0,333	0,285	0,425	0,365	0,298
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	5	5	14	4	7	11	4	6	9
Tempo de estabilização [min]	443	351	476	340	204	221	240	204	217

Tabela H.2: Dados para análise do Combinado em função da Espessura de Isolamento com a aplicação das ações descritas

Grupo	18°C			22°C			25°C		
	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
FC	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,015	0,015	0,014	0,017	0,015	0,014	0,018	0,016	0,014
Referência [FC]	0,098	0,083	0,064	0,117	0,099	0,078	0,130	0,111	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,011	0,012	0,001	0,010	0,010	0,009	0,009	0,011
Consumo Médio [Wh]	543,383	459,994	356,703	647,656	551,362	443,801	722,284	616,07	489,371
Desvio Padrão	0,365	0,269	0,255	0,396	0,331	0,272	0,475	0,463	0,365
Referência [Wh]	542,906	459,739	356,649	647,280	550,861	433,372	722,091	616,559	489,817
Desvio Padrão	0,344	0,319	0,239	0,397	0,344	0,331	0,415	0,403	0,317
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,143	0,122	0,094	0,170	0,145	0,114	0,188	0,163	0,129
Desvio Padrão	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Tempo até atingir a média de pico [min]	4	5	5	3	4	4	4	5	6
Tempo de consumo máximo [min]	17	22	24	17	18	25	19	14	20
Média de Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,040	0,038	0,035	0,047	0,045	0,042	0,050	0,049	0,046
Desvio Padrão	0,005	0,004	0,001	0,002	0,005	0,001	0,003	0,005	0,001
Tempo até atingir a média de pico após aplicação da segunda ação [min]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pico após término da segunda ação [FC]	0,133	0,112	0,086	0,149	0,129	0,099	0,184	0,133	0,100
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	10	13	38	10	10	17	9	10	15
Tempo de estabilização [min]	282	243	349	258	317	265	320	378	313

Tabela H.3: Dados para análise da Arca Frigorífica em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,183	0,199	0,211	0,163	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,028	0,029	0,029	0,026	0,028	0,029	0,023	0,026	0,027
Referência [FC]	0,183	0,199	0,211	0,162	0,177	0,188	0,146	0,159	0,169
Desvio Padrão	0,009	0,008	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Consumo Médio [Wh]	414,837	452,301	479,668	368,580	402,503	427,159	330,687	361,751	384,434
Desvio Padrão	0,626	0,542	0,736	0,702	0,665	0,645	0,606	0,588	0,709
Referência [Wh]	414,901	452,219	479,319	368,536	402,350	427,108	330,707	361,714	384,303
Desvio Padrão	0,508	0,537	0,533	0,483	0,581	0,712	0,612	0,634	0,613
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,268	0,292	0,311	0,238	0,259	0,277	0,215	0,235	0,249
Desvio Padrão	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,0,001	0,0,001	0,0,002
Tempo até atingir a média de pico [min]	6	4	6	14	3	14	3	9	6
Tempo de média de pico [min]	12	16	20	12	14	16	9	16	13
Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,021	0,023	0,024	0,021	0,020	0,021	0,030	0,024	0,019
Tempo até atingir o pico desde aplicação da segunda ação [min]	8	4	2	14	11	8	16	14	13
Pico após término da segunda ação [FC]	0,355	0,391	0,425	0,277	0,333	0,365	0,248	0,285	0,298
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	5	4	4	5	7	6	14	11	9
Tempo de estabilização [min]	443	340	240	351	204	204	476	221	217

Tabela H.4: Dados para análise do Combinado em função da Temperatura com a aplicação das ações descritas

Variável	0,04			0,05			0,06		
	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C	18°C	22°C	25°C
FC	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,015	0,017	0,130	0,018	0,015	0,016	0,014	0,014	0,014
Referência [FC]	0,098	0,117	0,130	0,083	0,099	0,111	0,064	0,078	0,088
Desvio Padrão	0,010	0,009	0,009	0,011	0,010	0,009	0,012	0,011	0,011
Consumo Médio [Wh]	543,383	647,656	722,284	459,994	551,362	616,807	356,703	433,801	489,371
Desvio Padrão	0,344	0,397	0,415	0,319	0,344	0,403	0,238	0,331	0,317
Referência [Wh]	542,906	647,280	722,091	459,739	550,861	616,559	356,649	433,372	488,817
Desvio Padrão	0,364	0,396	0,475	0,269	0,331	0,463	0,255	0,272	0,365
Média de Pico após primeira ação [FC]	0,143	0,170	0,188	0,122	0,145	0,163	0,094	0,114	0,129
Desvio Padrão	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Tempo até atingir a média de pico [min]	4	3	4	5	4	5	5	4	6
Tempo de consumo máximo [min]	17	17	19	22	18	14	24	25	20
Média de Pico atingido com a segunda ação [FC]	0,040	0,047	0,050	0,038	0,045	0,049	0,035	0,042	0,046
Desvio Padrão	0,005	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,001	0,001	0,001
Tempo até atingir o pico desde aplicação da segunda ação [min]	14	14	14	25	21	9	20	29	29
Pico após término da segunda ação [FC]	0,133	0,149	0,184	0,112	0,129	0,133	0,086	0,099	0,100
Tempo até atingir o pico depois de terminar a segunda ação [min]	10	10	9	13	10	10	38	17	15
Tempo de estabilização [min]	282	258	320	243	317	378	349	265	313

Anexo I

Caracterização dos Grupos para o Caso de Estudo

Tabela I.1: Características Gerais dos diversos grupos de Combinados

Dados	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Altura do Equipamento	1,85	1,85	1,85	1,9	1,9	1,9	2	2	2	2
Espessura do Isolamento	0,06	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,03
Altura do Evaporador do Congelador	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Área do Evaporador do Congelador	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,6
Área do Evaporador do Refrigerador	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,8	0,6
Número de Cargas	3424	3445	3495	3597	3780	3890	3880	3999	4090	4100

Tabela I.2: Características do Refrigerador dos diversos grupos de Combinados

Dados	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Potência do Compressor	$110 \pm (1+0,01)$	$110 \pm (1+0,01)$	$110 \pm (1+0,01)$	$100 \pm (1+0,01)$	$100 \pm (1+0,1)$	$110 \pm (1+0,1)$	$110 \pm (1+0,1)$	$90 \pm (1+0,1)$	$100 \pm (1+0,1)$	$100 \pm (1+0,1)$
- Desvio-padrão	3,139	3,173	3,187	2,849	2,879	3,126	3,195	2,584	2,911	2,899
- Média	115,509	115,557	115,468	105,053	104,989	115,494	115,530	94,562	105,030	105,971
COP do Compressor	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,3 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,3 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$					
- Desvio-padrão	0,043	0,038	0,043	0,044	0,043	0,044	0,044	0,044	0,038	0,044
- Média	1,576	1,365	1,574	1,574	1,575	1,576	1,576	1,575	1,365	1,575
Temperatura Mínima	$4 \pm (1+0,01)$	$4,1 \pm (1+0,01)$	$4,5 \pm (1+0,01)$	$4,5 \pm (1+0,01)$	$4,5 \pm (1+0,01)$	$4,5 \pm (1+0,01)$	$4 \pm (1+0,01)$	$4 \pm (1+0,01)$	$4 \pm (1+0,01)$	$4 \pm (1+0,01)$
- Desvio-padrão	0,131	0,130	0,139	0,142	0,142	0,143	0,130	0,125	0,126	0,131
- Média	4,055	4,163	4,261	4,592	4,574	4,567	4,046	4,081	4,082	4,258
Temperatura Máxima	$6 \pm (1+0,01)$	$6,1 \pm (1+0,01)$	$6,5 \pm (1+0,01)$	$6,5 \pm (1+0,01)$	$6,2 \pm (1+0,01)$	$7 \pm (1+0,01)$	$6,5 \pm (1+0,01)$	$6,8 \pm (1+0,01)$	$6,7 \pm (1+0,01)$	$6,5 \pm (1+0,01)$
- Desvio-padrão	0,169	0,174	0,180	0,180	0,178	0,183	0,191	0,178	0,181	0,175
- Média	6,329	6,434	6,636	6,635	6,542	6,639	6,854	6,532	6,638	6,441
Área do Evaporador	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	0,8	0,6

Tabela I.3: Características do Congelador dos diversos grupos de Combinados

Dados	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Potência do Compressor	$110 \pm (1+0,01)$	$110 \pm (1+0,01)$	$110 \pm (1+0,01)$	$100 \pm (1+0,1)$	$100 \pm (1+0,1)$	$110 \pm (1+0,1)$	$110 \pm (1+0,1)$	$90 \pm (1+0,1)$	$100 \pm (1+0,1)$	$100 \pm (1+0,1)$
- Desvio-padrão	3,194	3,153	3,161	2,856	2,894	3,189	3,201	2,634	2,887	2,919
- Média	115,494	115,544	115,469	104,950	104,989	115,529	115,530	94,515	105,102	104,049
COP do Compressor	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,3 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$	$1,3 \pm (1+0,1)$	$1,5 \pm (1+0,1)$
- Desvio-padrão	0,044	0,038	0,043	0,045	0,043	0,044	0,044	0,044	0,037	0,044
- Média	1,575	1,365	1,576	1,574	1,575	1,575	1,574	1,575	1,365	1,575
Temperatura Mínima	$-21 \pm (1+0,01)$	-	-	-	-	$-21 \pm (1+0,01)$	$-21 \pm (1+0,01)$	-	-	-
- Desvio-padrão	0,369	0,341	0,372	0,358	0,357	0,357	0,355	0,343	0,339	0,348
- Média	-21,936	-22,127	-22,361	-22,331	-22,362	-21,955	-21,967	-22,477	-22,063	-22,226
Temperatura Máxima	$-19 \pm (1+0,01)$	-	-	-	-	$-19 \pm (1+0,01)$	$-19 \pm (1+0,01)$	-	$-19 \pm (1+0,01)$	-
- Desvio-padrão	0,271	0,274	0,285	0,280	0,277	0,270	0,275	0,276	0,275	0,279
- Média	19,255	19,255	19,555	19,555	19,455	19,455	19,455	19,255	19,255	19,255
Área do Evaporador	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,6
Altura do Evaporador	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

Tabela I.5: Características dos diversos grupos de Arcas Frigoríficas

Dados	G1	G2	G3	G4	G5
Potência do Compressor	70±(1+0,05)	90±(1+0,05)	80±(1+0,05)	100±(1+0,05)	110±(1+0,05)
- Desvio-padrão	2,026	2,559	2,926	2,348	2,622
- Média	73,468	94,542	105,025	84,001	94,485
COP do Compressor	1,3±(1+0,01)	1,3±(1+0,01)	1,3±(1+0,01)	1,5±(1+0,01)	1,5±(1+0,01)
- Desvio-padrão	0,037	0,037	0,037	0,043	0,043
- Média	1,366	1,365	1,366	1,574	1,575
Temperatura Mínima	-21±(1+0,05)	-	-	-	-
- Desvio-padrão	0,338	0,319	0,318	0,324	0,328
- Média	-21,933	-21,971	-22,178	-22,394	-21,852
Temperatura Máxima	-19±(1+0,05)	-	-	-19±(1+0,05)	-
- Desvio-padrão	0,273	0,277	0,281	0,275	0,279
- Média	-19,386	-19,618	-19,914	-19,411	-19,820
Altura do Equipamento	0,784	0,784	0,9	0,9	0,784
Largura do Equipamento	0,54	0,54	0,54	1,2	0,54
Espessura do Isolamento	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Área do Evaporador	0,81	0,81	0,81	1,3	0,81
Número de Cargas	3500	3700	3800	3500	3500

Tabela I.6: Análise dos diversos grupos de Arcas Frigoríficas

Dados	G1	G2	G3	G4	G5
Valores Médios					
- Ciclos ON	47,1	32,1	40,5	29,3	44,4
- Desvio-padrão	9,3	6,5	8,7	4,6	11,7
- Ciclos OFF	47,7	32,7	41,0	29,9	45,0
- Desvio-padrão	9,3	6,5	8,7	4,6	11,7
- Tempo ON	4,1	6,5	6,0	8,1	3,9
- Desvio-padrão	0,9	1,4	1,3	1,5	1,0
- Tempo OFF	26,5	38,4	29,7	41,2	28,7
- Desvio-padrão	5,5	8,1	6,6	7,1	7,5
Factor de Coincidência	0,135	0,145	0,168	0,165	0,119
Consumo Total [MWh]	0.831	1.221	1.604	1.161	0.942