



João Ricardo Rodrigues Carocha

Gestão de consumos de energia elétrica segundo a perspetiva de um comercializador de energia

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores, na área de especialização de Energia

Setembro de 2016





FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Gestão de consumos de energia elétrica segundo a perspetiva de um comercializador de energia

João Ricardo Rodrigues Carocha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes

Júri

Presidente: Doutora Lúcia Maria dos Reis Albuquerque Martins
Orientador: Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes
Vogal: Doutor Pedro Manuel Soares Moura

Setembro de 2016

“As ilhas são lugares de solidão e nunca isso é tão nítido como quando partem os que apenas vieram de passagem e ficam no cais, a despedir-se, os que vão permanecer. Na hora da despedida, é quase sempre mais triste ficar do que partir e, numa ilha, isso marca uma diferença fundamental, como se houvesse duas espécies de seres humanos: os que vivem na ilha e os que chegam e partem.”

- Miguel Sousa Tavares in *Equador*

Agradecimentos

A realização da presente Dissertação contou com o apoio e colaboração do Professor, e meu orientador, Doutor Álvaro Filipe Peixoto Cardoso de Oliveira Gomes. A ele um agradecimento pela orientação ao longo do trabalho.

Agradecer, de uma forma geral, a toda a comunidade do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores que tão bem me soube acolher, ao longo do meu percurso académico.

À velhinha Associação Académica de Coimbra e a todos os que por lá conheci, agradeço por me ter mostrado aquilo que Coimbra tem de mais único e especial - a sua Academia.

Aos meus colegas e amigos de curso, que no decorrer dos últimos anos partilharam comigo momentos inesquecíveis. Aos verdadeiros Ohms de Negro.

Por ser namorada, companheira e amiga, à Ângela agradeço a felicidade com que me contagia em todos os momentos. A motivação e apoio que me encorajam em todos os desafios são fundamentais.

À minha família, Pai, Mãe e Irmã cujo apoio foi incondicional em todos os momentos. A eles lhes devo a educação e os valores pelos quais me guio. A eles lhes devo tudo, o Mundo.

A todos,

Um eterno Obrigado.

Abstract

Traditionally Power Systems SEE operated in a load following perspective, which meant that the generation was constantly adapted to demand with the purpose of maintaining a balance essential to operability and reliability of the system. However, in the recent decades, there has been the development of methodologies towards deepen the level of load participation in activities of energy efficiency, emergency and / or participation in Ancillary Services (SS). The development of these methods makes various market players, from producers to final consumers - especially retailers - interested in the demand management activities.

Thus, in this dissertation demand-side management actions will be implemented through a tool based on physically-based models. The aim is to identify, according to the retailer's perspective, market opportunities that, throughout loads participation, may enhance the ability to provide SS, thus improving its profits.

In addition to identification of the resources generated from the retailer's standpoint, this study also evaluates the impact of demand-side management actions in a level of service quality and changes in the load diagram.

Keywords

Demand Response, Demand-Side Management, Energy Management, Energy Retailers

Resumo

Tradicionalmente os Sistemas de Energia Elétrica (SEE) operavam numa de perspectiva de *load following*, o que significava que a geração era constantemente adaptada à procura, com o finalidade de manter um equilíbrio essencial para a operacionalidade e fiabilidade do Sistema. No entanto, nas últimas décadas, verificou-se o desenvolvimento de metodologias no sentido de aprofundar o nível de participação das cargas em medidas de eficiência energética, situações de emergência e/ou na participação em Serviços de Sistema SS. O desenvolvimento dessas metodologias faz com que vários agentes do setor elétrico, desde os produtores aos consumidores finais - sobretudo os comercializadores - estejam interessados nas atividades de gestão da procura.

Assim, nesta dissertação serão implementadas ações de gestão da procura através de uma ferramenta baseada em modelos fisicamente baseados. O objetivo é identificar, segundo a perspectiva do comercializador, oportunidades de mercado que, através da participação das cargas, permitam intensificar a capacidade de fornecer SS, potencializando assim os seus lucros.

Para além da identificação dos recursos gerados do ponto de vista do comercializado, neste estudo são também avaliados os impactos das ações de gestão da procura ao nível da qualidade de serviço e das alterações no diagrama de carga.

Palavras-Chave

Demand Response, Gestão de Recursos do lado da procura, Gestão de Energia, Comercializadores de Energia

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Estrutura da dissertação	3
2	Mercados e Serviços de Sistema	5
2.1	Evolução dos mercados energéticos	6
2.2	Mercado Ibérico de Eletricidade, MIBEL	6
2.3	Serviços de Sistemas	7
3	<i>Demand Response</i>	9
3.1	Conceito	10
3.2	Tipos de programas de <i>Demand Response</i>	12
3.2.1	Programas baseados em incentivos monetários (<i>Incentive-Based programs</i>)	12
3.2.2	Programas baseados na dinâmica dos preços de energia (<i>Time-based programs</i>)	13
3.3	Proposta de Esquema de <i>Demand Response</i> para os comercializadores	14
3.4	Participação das cargas em Serviços de Sistema	16
3.5	Impactos da integração de programas de <i>Demand Response</i>	18

3.6	Categorização das cargas controláveis no setor residencial	20
4	Modelos de representação da procura	25
4.1	Modelos fisicamente baseados	26
4.2	Comparação entre modelos - análise de resultados	31
5	Ações de Gestão da procura	39
5.1	Custos no processo de comercialização da energia elétrica no setor residencial	41
5.2	Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos	43
5.2.1	Controlo Direto - Interrupções no fornecimento de energia	46
5.2.2	Reparametrização do limite superior da banda de temperaturas no interior das cargas	49
5.3	Impactos das ações de gestão da procura	51
6	Conclusão	59
Anexo A	Caracterização dos grupos de cargas	1
Anexo B	Diagramas de carga com controlo direto de carga	3
Anexo C	Diagramas de carga com reparametrização do termostato	11
Anexo D	Qualidade de Serviço na Refrigeração	19
Anexo E	Fator de Coincidência na reparametrização do termostato	23

Lista de Figuras

3.1	Esquema de DR para um comercializador	14
3.2	Exemplos de possibilidades de programas de DR	18
3.3	Efeito simplificado da DR no preço da eletricidade	19
3.4	Perfil de carga do setor residencial	21
3.5	Distribuição das cargas de acordo com o nível de controlo e consumo médio anual, em Portugal	23
4.1	Representação do comportamento da temperatura e potência com a modelação linear	29
4.2	Representação do comportamento da temperatura e potência numa simulação real com o modelo 1.	30
4.3	Representação do comportamento da temperatura e potência numa simulação real com o modelo 3.	30
4.4	Diagrama de carga e temperatura de um grupo do cenário A, com modelo 1.	36
4.5	Diagrama de carga e temperatura de um grupo do cenário A, com modelo 3.	36
5.1	Esquema de distribuição dos custos da energia elétrica	41
5.2	Gráfico dos preços médios do mercado de energia calculados, ao longo do dia.	43
5.3	Lucro do comercializador para as tarifas simples, bi-horária e tri-horária.	44

Lista de Figuras

5.4	Fluxograma na simulação de ações de gestão da procura.	45
5.5	Temperatura média e diagrama de carga de um grupo de cargas afetado pelo controlo direto, durante 30 minutos, nos períodos da tarifa simples.	47
5.6	Redução da potência pedida entre as 13:30 e as 14:00, com controlo direto de carga em 3 grupos.	48
5.7	Redução da potência pedida entre as 13:30 e as 14:00, com reparametrização do termostato em 3 grupos.	50
5.8	FC para o controlo direto de carga na tarifa simples com cortes de 15 minutos.	54
5.9	FC para o controlo direto de carga na tarifa simples com cortes de 30 minutos.	54
5.10	FC para as diferentes configurações do controlo direto de carga, em 10 grupo com durações de 30 minutos.	56
5.11	FC para as diferentes configurações da reparametrização do termostato, em 10 grupo com durações de 30 minutos.	56
B.1	Diagrama de carga total, sem qualquer corte aplicado.	4
B.2	Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 3 grupos, na tarifa simples.	4
B.3	Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 3 grupos, na tarifa simples.	5
B.4	Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 5 grupos, na tarifa simples.	6
B.5	Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 5 grupos, na tarifa simples.	7
B.6	Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 10 grupos, na tarifa simples.	8

B.7	Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 10 grupos, na tarifa simples.	9
B.8	Diagrama de conjunto de cargas do cenário E, com controlo direto de carga.	9
C.1	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 3 grupos, na tarifa simples	12
C.2	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 3 grupos, na tarifa simples	13
C.3	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 5 grupos, na tarifa simples	14
C.4	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 5 grupos, na tarifa simples	15
C.5	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 10 grupos, na tarifa simples	16
C.6	Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 10 grupos, na tarifa simples	17
C.7	Diagrama de conjunto de cargas do cenário E, com a reparametrização do termostato.	17
E.1	FC para a reparametrização do limite superior do termostato com duração de 15 minutos.	24
E.2	FC para a reparametrização do limite superior do termostato com duração de 30 minutos.	24

Lista de Tabelas

3.1	Categorização do tipo de cargas no setor residencial	22
4.1	Variabilidade nos parâmetros entre cargas do mesmo grupo.	32
4.2	Informação dos valores das temperaturas, em cada grupo.	32
4.3	Resultados obtidos nos grupos 1, 2, 3, 4 e 5 nas situações A, B e C.	33
4.4	Resultados obtidos nos grupos 1, 2, 3, 4 e 5 nas situações D, E e F.	34
4.5	Diferença em % dos resultados no consumo total e tempo de simulação do modelo 3 em relação ao modelo 1.	35
4.6	Resultados do número de ciclos em que o equipamento está ligado.	37
5.1	Ciclo diário para BTN	42
5.2	Taxas de acesso às redes em instalações com potência inferior a 20,7 kVA	42
5.3	Preços de referência para potência instalada de 6.9 kVA, EDP Casa (com DD e FE)	43
5.4	Identificação dos períodos cujo lucro por €/kWh é máximo e mínimo. . .	46
5.5	Informação relativa aos períodos de implementação das ações de gestão da procura, para cada tipo de tarifa.	46
5.6	Lucro máximo obtido após implementação das ações de gestão da procura nos períodos de todo o tipo de tarifas.	47
5.7	Resultados da potência com e sem a simulação ação de corte.	48

Lista de Tabelas

5.8	Energia não fornecida pelo comercializador resultante da aplicação do controlo direto de carga, para os vários tarifários.	49
5.9	Lucro máximo obtido após reparametrização do termostato nos períodos de todo o tipo de tarifas.	49
5.10	Resultados da potência com e sem a simulação da ação de reparametrização das cargas.	50
5.11	Energia não fornecida pelo comercializador resultante da reparametrização do termostato dos frigoríficos, para os vários tipos de tarifas	51
5.12	Indicadores da qualidade de serviço no controlo direto de carga em 10 grupos com durações de 30 minutos.	52
5.13	Indicadores da qualidade de serviço com o aumento de 1°C no limite máximo do termostato dos frigoríficos, em 10 grupos com durações de 30 minutos.	53
5.14	Caracterização dos períodos de aplicação das ações de gestão da procura.	55
A.1	Caracterização das cargas utilizadas na implementação das ações de gestão da procura (cenário A).	2
D.1	Tempos máximos acumulados de exposição de alimentos, tendo em consideração a temperatura do produto e as condições potenciais de risco	20

Lista de Acrónimos

SEE	Sistema de Energia Elétrica
SS	Serviços de Sistema
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ISO	<i>Independent System Operators</i>
RTO	<i>Regional Transmission Operators</i>
REN	Rede Elétrica Nacional
REE	<i>Red Eléctrica de España</i>
DR	<i>Demand Response</i>
FERC	<i>Federal Energy Regulatory Commission</i>
TSO	<i>Transmission System Operator</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MFB	Modelos fisicamente baseados
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
EER	<i>Energy Efficient Ratio</i>
FAD	Frio Alimentar Doméstico
LC	Lucros de comercialização
TAR	Taxa de acesso às redes
PE	Preço da energia no mercado energia elétrica

P	Preço de referência praticados pelo comercializador de energia
BTN	Baixa tensão normal
EDP	Energias de Portugal
FC	Fator de Coincidência

1

Introdução

1.1 Motivação

Os Sistemas de Energia Elétrica (SEE) têm com principal permissa o fornecimento de energia a todos os consumidores com qualidade e a preços adequados. Para tal, a manutenção de um equilíbrio contínuo entre a geração e a procura é um requisito ao seu normal funcionamento. Tradicionalmente, esse equilíbrio era assegurado por ações do lado da geração enquanto que a procura se considerava estática. No entanto, com a introdução de flutuações dos geradores e uma ampla aposta em energias renováveis, manter um equilíbrio entre a oferta e a procura torna-se uma tarefa cada vez mais complexa.

Porém, nas últimas décadas o desenvolvimento dos sistemas de monitorização, controlo e comunicação, aliado à crescente aposta em tecnologias de informação permite aos agentes do setor elétrico a implementação de métodos cujo objetivo é alterar a forma e amplitude da procura. A gestão da procura torna-se assim numa atividade de interesse para todos os intervenientes no setor, nomeadamente para os os comercializadores de energia elétrica uma vez que estes vêem os preços de compra (aos produtores de energia) de energia eléctrica apresentarem variações muito superiores à variação dos preços de venda aos consumidores (seus clientes).

Do ponto de vista do comercializador, torna-se assim possível a introdução de tarifários que tenham em conta ações de gestão da procura permitindo a rentabilização de recursos durante períodos cujo lucro obtido na compra e venda de energia não seja interessante. A gestão da procura contribui portanto para o aumento dos seus lucros e/ou carteira de clientes; e para uma redução da fatura dos consumidores

Assim, o principal objetivo desta dissertação foi conceber uma ferramenta de geração de ações de gestão da procura em cargas termostáticas que, de acordo com o comportamento do lucro de comercialização de energia, permite criar a oportunidade das cargas participarem em serviços adicionais de mercado, como por exemplo no fornecimento de Serviços de Sistema (SS). Neste contexto, são identificados os recursos que o comercializador detém para colmatar valores menos interessantes do lucro, nalguns momentos do dia. São também caracterizados os impactos das ações quer ao nível da qualidade de serviço prestado ao consumidor de uso final; quer nas alterações que provocam no diagrama de carga.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. Após a introdução, no capítulo 2 é abordada a evolução dos mercados de energia elétrica, que nos últimos anos tendem a modificar a sua estratégia organizacional e operacional. São ainda expostos os fundamentos do mercado de SS. No capítulo 3 é introduzido o conceito de *Demand Response*, assim como as suas diversas potencialidades, nomeadamente na participação dos diversos agentes do setor elétrico. São também analisados os impactos de implementação dos mesmos.

No capítulo 4 são apresentados modelos de representação da procura, onde é avaliada a sua implementação perante diversos cenários que retratam uma possível carteira de clientes de um comercializador de energia elétrica. Neste capítulo o objetivo é identificar comparações entre dois modelos baseados no mesmo fundamento físico, mas que dispõem de diferentes elementos para o cálculo da temperatura no interior de cargas termostáticas.

De seguida, é no capítulo 5 que são identificadas e implementadas ações de gestão da procura que, baseadas nos modelos do capítulo anterior, permitem ao comercializador ter a capacidade de gerar recursos, em períodos cujo lucro na transação comercial não seja vantajoso. Assim, será avaliada a oportunidade do comercializador participar em mercados alternativos, através da disponibilização de potência noutros serviços. Neste capítulo são também analisados os impactos da implementação dessas ações do ponto de vista da qualidade de serviço disponibilizado ao utilizador de uso final e do ponto de vista da alteração do diagrama de um conjunto vasto de cargas.

Por último, no capítulo 6, constam as principais conclusões decorrentes da elaboração desta dissertação onde é, ainda, sugerido algum trabalho futuro relacionado com a temática.

1. Introdução

2

Mercados e Serviços de Sistema

2.1 Evolução dos mercados energéticos

Nas últimas décadas, o paradigma do mercado energético monopolizado tem sido progressivamente substituído por uma separação de funções nas várias etapas do sistema energético. Esta estratégia leva a que cada agente desenvolva o seu papel no sistema, focando-se na atividade em que se encontra. Dá-se então uma transformação na estrutura institucional, onde a figura do proprietário público ou privado regulado vai sendo desmantelada por políticas de mercado que enfatizam uma maior descentralização e competição [1].

A mudança institucional no mercado de energia elétrica, envolve interações económicas e tecnológicas complexas que, de grosso modo, definem atualmente os pilares do mercado da energia elétrica. Devido à concorrência na produção e na comercialização, os comercializadores vêem os preços de aquisição da eletricidade a variar mais, quer em amplitude quer em frequência, do que os preços de venda. Isto significa que podem eventualmente - haver situações interessantes a explorar na diferença entre os preços de compra e de venda.

2.2 Mercado Ibérico de Eletricidade, MIBEL

O Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) foi constituído em 2001, constituindo um contributo significativo para a concretização do mercado de energia elétrica a nível ibérico e também à escala europeia. Mais tarde, em 2007, o MIBEL arranca em toda a sua dimensão, coroando o trabalho de harmonização de condições entre os dois sistemas eléctricos ibéricos, na perspectiva de que do seu funcionamento adviriam benefícios para os consumidores de ambos os países, num quadro de garantia do acesso a todos os interessados em condições de igualdade, transparência e objetividade [2].

Até ao ano de 2012, a comercialização de energia elétrica em Portugal era uma atividade atribuída aos distribuidores, existindo, como referido anteriormente, o paradigma de monopólio no mercado. Ao invés, com a liberalização do setor, procede-se à separação entre as atividades, permitindo assim uma atividade baseada na concorrência nas funções de produção e fornecimento, suscetível de gerar mais benefícios aos consumidores e aumentar a eficiência das empresas.

No que toca à relação comercializador-cliente, o mercado liberalizado oferece um maior esclarecimento relativamente aos diferentes regimes e tarifários de fornecimento de energia elétrica disponibilizada aos utentes. Pelo facto de vários operadores concorrerem livremente em preços e condições comerciais, segundo as regras aplicadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), surgem novos desafios que, através da lei concorrencial, poderão criar oportunidades vantajosas para o consumidor final.

O próximo passo no sentido de aprofundar a relação comercializador-cliente passará por uma monitorização constante e automática dos consumos dos clientes que permitirá ao comercializador, por um lado, ajustar os níveis de fornecimento de energia às necessidades específicas do consumidor; e por outro, fazer uma correspondência fidedigna com as oportunidades comerciais disponíveis. Do ponto de vista de mercado de energia elétrica, este tipo de estratégia constitui um dos desafios do séc. XXI.

2.3 Serviços de Sistemas

Designa-se por mercado de serviços de sistema (SS) a contratação dos produtos separados da atividade de produção de energia elétrica que se relacionam com a segurança e fiabilidade da operação do sistema elétrico [3]. Este mercado é operado pelos *Independent System Operators* e *Regional Transmission Operators* (ISO/RTO) [4]. No que respeita aos SS em Portugal, a entidade responsável é a Rede Elétrica Nacional (REN), enquanto que em Espanha é a *Red Eléctrica de España (REE)* [2].

O mercado de SS pode ser visto como uma outra forma de o comercializador/fornecedor de energia elétrica tirar partido da diferença de preços entre a compra e a venda da eletricidade. Os SS podem ser desempenhados por equipamentos ou pessoal com funções na geração e transmissão de energia, controlo do sistema e sistema de distribuição apoiando os serviços básicos da capacidade de geração, fornecimento e distribuição de energia [5].

Até às alterações na estruturação do modelo do setor elétrico, onde todo o tipo de ações eram verticalmente integradas, os SS eram solicitados e fornecidos dentro da mesma empresa, o que facilitava a sua operacionalidade. Atualmente, parte desses serviços são obrigatoriamente fornecidos pelos geradores porém alguns podem ser prestados com recurso à gestão da procura.

2. Mercados e Serviços de Sistema

Embora não exista uma uniformização nos diversos mercados, ao nível europeu, os SS podem ser classificados em [6]:

- Controlo de frequência - Consiste em manter a frequência dentro dos limites requeridos enquanto se modela, continuamente, a potência ativa:
 - Resposta Primária (*Primary Response*): Resposta automática de frequência a grandes distúrbios, atuando em segundos [7]. Tem carácter obrigatório e não remunerado fornecido pelos geradores em serviço;
 - Resposta Secundária (*Secondary Response*): Resposta automática a alterações de frequência que parte da resposta primária e recupera parcialmente a frequência do sistema;
 - Resposta 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* [8].
- Controlo da tensão –Tem como objetivo manter o nível de tensão quando é injetado ou absorvida potência reativa, com a finalidade de compensação síncrona ou estática;
- Capacidade de reposição de serviço (*Black Start*) – Capacidade de uma unidade de geração repor o serviço sem uma fonte de energia externa, na presença de uma interrupção geral ou parcial do sistema;

3

Demand Response

3.1 Conceito

Uma consequência da evolução dos mercados de energia elétrica, foram as mudanças que levaram os agentes do setor elétrico a reestruturar as suas operações e mecanismos verticalmente integrados, caminhando na direção de uma aborgadem de mercado aberto [9].

O modo de operação tradicional previa fornecer toda a energia que fosse requerida, sempre que necessária. Ora, em termos de operação, os sistemas elétricos necessitam de um equilíbrio perfeito, em tempo real, do nível de geração e procura de energia [9].

Porém, devido a diversas contingências - como linhas de distribuição e transporte ou unidades de geração fora de serviço; ou variações abruptas de carga - o estado de equilíbrio entre geração e procura é bastante difícil de ser alcançado. A integração de fontes de geração intermitentes, como fontes de energia solar e eólica, trazem consigo uma nova realidade relativa ao aparecimento de flutuações na disponibilização de energia elétrica. Embora este tipo de fontes coloque um desafio acrescido do ponto de vista da gestão da rede, tem existido, de uma forma generalizada, o objetivo de fazer crescer a percentagem de energia fornecida por este tipo de fontes. Inclusive na União Europeia existe um esforço institucional de que até 2020, 20% da energia consumida seja produzida por via de uma fonte renovável de energia [10].

Alguns dos estados-membros, como a Alemanha, já ultrapassou essa meta, registando-se no ano de 2011 que 35% da energia consumida provinha de fontes de energia renováveis. Em Portugal, esse valor atingiu uns impressionantes 63% no ano de 2014 [11]. A aposta neste tipo de fontes de geração de energia leva a consideráveis desafios na tentativa de estabelecer um equilíbrio entre a geração e a procura.

Uma vez que o sistema de infraestruturas requer um elevado investimento, as alterações de consumo pelo utilizador prevêem-se ser um contributo para a gestão e operação do sistema. Deste modo, será aprofundada uma nova abordagem aos mercados de energia elétrica, a introdução do conceito de *demand response* (DR).

O conceito de DR pode ser definido como um conjunto de alterações aos padrões convencionais de consumo de energia elétrica, por parte do seu utilizador final, em resposta às mudanças dos preços da eletricidade junto dos comercializadores de energia. Logo, os programas de DR prevêem compensações financeiras que incentivem o baixo

consumo de energia em períodos cujos preços da eletricidade junto dos mercados não sejam competitivos ou mesmo quando a fiabilidade do sistema possa estar comprometida [12].

Em traços gerais, a introdução desta prática pode ter um papel vital em ultrapassar problemas da rede e do mercado. De certo modo, os operadores de sistema podem, através de DR, manter a segurança e fiabilidade dos sistemas e redes de energia elétrica; e, por outro lado, mitigar as volatilidades dos preços disponibilizados pelos produtores, junto do mercado de energia elétrica.

Na base de qualquer programa de DR está a interação entre o comercializador de energia e os seus clientes de uso final. Existem portanto um leque de ações passíveis de serem realizadas pelos consumidores finais no âmbito dos diversos programas de DR, tais como:

- Redução do consumo de recursos energéticos - Esta óbvia e simples opção pode trazer inúmeras vantagens à relação comercializador-consumidor. Desde logo, é significativo o impacto em termos económicos quando se associa a redução do consumo em períodos de tempo onde se registem picos críticos nos preços de energia. Não obstante, esta medida prevê uma perda de conforto temporária para o consumidor. Desta forma, terá de haver um acordo na escolha de compromissos a satisfazer. Esta opção é aplicável, tipicamente, em cargas termoestáticas, como frigoríficos e ar-condicionados [13];
- Mudança dos períodos de consumo - Esta medida trata-se de passar algumas das operações com elevadas necessidades energéticas para períodos onde a obtenção de energia seja financeiramente mais vantajosa. Pode ser aplicada sobretudo no setor residencial em cargas como máquinas de lavar a roupa, bombas de piscina, etc. Por outro lado, no setor industrial, esta vantagem pode não se verificar tão acentuadamente, uma vez que o reescalonamento de atividades pode incorrer em custos de perdas de serviços e atividades de produção [14, 15];
- Utilização de geração distribuída no local de consumo - Os utilizadores que têm a capacidade de gerar energia localmente, têm um padrão energético com mudanças pouco significativas, do ponto de vista do recurso à energia elétrica disponível na rede, ou seja, aquela que é comercializável. Isso cria uma curva de procura, do ponto de vista da rede, manifestamente constante. Assim, uma geração distribuída localmente fornece um comportamento expectável, do ponto de vista do comercializador, tornando a gestão energética da instalação mais facilmente controlável.

3.2 Tipos de programas de *Demand Response*

Através do estudo dos impactos da introdução de DR e de algumas abordagens que permitiram implementar o conceito nalguns mercados energéticos, consideram-se vários tipos de programas que podem ser apresentados aos consumidores. Cada um dos programas seguintes tem um conjunto de pressupostos que tem em conta as diferentes características dos destinatários.

3.2.1 Programas baseados em incentivos monetários (*Incentive-Based programs*)

Este programa tem como conceito-base a remuneração aos consumidores participantes em forma de incentivos monetários. Assim, os mesmos podem ser compensados de acordo com as reduções de carga efetuadas durante períodos críticos. Dentro deste programa são considerados dois sub-tipos, o tipo clássico e o tipo baseado no mercado. Relativamente ao primeiro podemos considerar o seguinte [16]:

- Tipo clássico:
 1. Controlo direto de cargas: Nesta opção o comercializador tem capacidade de controlar as cargas dos consumidores, tipicamente em equipamentos como ar-condicionados e termoacumuladores. Segundo estas características este programa é mais indicado no setor residencial;
 2. Programas de interrupção de cargas: Tal como referido anteriormente, no programa de interrupção de cargas os participantes recebem incentivos *upfront* ou taxas de descontos. Existe um acordo previamente estabelecido relativamente ao valor da redução de carga, que em caso de incumprimento o utilizador pode enfrentar penalizações.

- Tipo baseado no mercado (*Market based*):
 1. *Demand Response* de emergência: Prevê incentivos aos participantes que obtiverem reduções de carga, em situações específicas de emergência para o comercializador;
 2. Capacidade de Mercado: Assenta numa oferta dirigida aos consumidores que tenham capacidade de se comprometerem a cumprir metas previamente acordadas de redução de carga, perante situações de contingências. Nesta opção é comum que o cliente receba uma notificação com um dia de antecedência;
 3. Serviços auxiliares do mercado: Tratam-se de programas de SS que permitem aos consumidores a oferta de execução de cortes de carga para reversa na operação. Se a oferta do consumidor for aceite, estes são pagos com um valor associado ao preço da energia no mercado, mesmo que a energia das suas cargas não seja utilizada. Existe compensação só pelo comprometimento de estar em *standby*, disponível para fornecer.

3.2.2 Programas baseados na dinâmica dos preços de energia (*Time-based programs*)

Este tipo de programas baseia-se numa estratégia onde o comercializador pode variar a tarifa da energia elétrica dependendo da altura do dia em que o serviço é prestado. Baseia-se assim em taxas dinâmicas de preços em que as tarifas elétricas não são constantes ao longo do tempo. Acresce ao exposto que a flutuação das taxas aplicadas segue, em tempo real, os custos da energia elétrica. O objetivo final será procurar manter a curva da procura energética constante, oferecendo preços mais elevados em períodos de pico energético, e preços mais razoáveis fora desses períodos.

Os serviços *time-based* incluem as seguintes tarifas [17]:

1. *Time-of-use pricing*: Quando o preço da eletricidade é fixado por um período específico de tempo. As tarifas aplicadas são pré-estabelecidas entre as partes envolvidas, permitindo aos consumidores responder às diferentes tarifas ao longo do dia e fazer uma gestão dos custos reescalando o consumo para períodos nos quais a energia é mais barata;
2. *Critical peak pricing*: Quando os preços de *time-of-use* são aplicados excetuando ocasiões onde é atingido um pico de consumo. Nesse caso os preços refletem os custos da interação comercial ao nível do mercado grossista;

3. Tarifa em tempo real: Os preços da eletricidade têm um comportamento dinâmico podendo variar numa base horária. A informação é transmitida ao cliente com um dia de antecedência [9];

3.3 Proposta de Esquema de *Demand Response* para os comercializadores

A proposta de um esquema de implementação de DR do ponto de vista dos comercializadores é apresentado na figura 3.1. Prevê-se que o comercializador estabeleça um conjunto de contratos com agregadores, ou mesmo com consumidores, que estabeleçam o volume de energia por DR, os seus preços e o período durante os quais os mesmos são válidos [18].

Esta abordagem tem por base o facto de os comercializadores não estarem envolvidos nos aspetos técnicos dos programas de DR, sendo os fornecedores dos mesmos os responsáveis pela sua implementação. Tal verifica-se, por exemplo, na Austrália onde a TransGrid compra serviços de DR à EnerNOC, sem se preocupar com os detalhes técnicos desses programas [18].

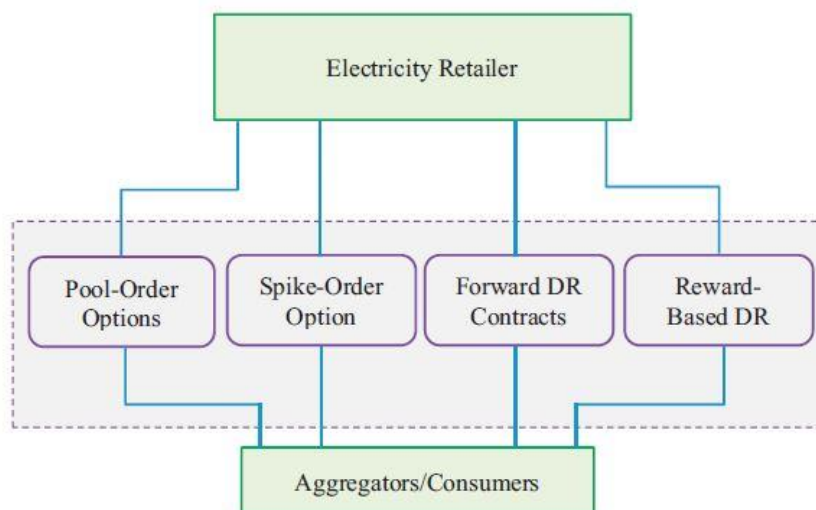


Figura 3.1: Esquema de DR para um comercializador [18].

3.3 Proposta de Esquema de *Demand Response* para os comercializadores

Uma *pool-order option* é um acordo estabelecido para um dado volume de energia a um dado preço. Segundo esta opção o comercializador tem o direito, mas não a obrigação, de adquirir DR. Isto significa que o comercializador assina o contrato para uma ação futura. Por outras palavras, a troca comercial é realizada somente se os custos da DR forem inferiores ao preço da energia no mercado. Dito de outra forma, o comercializador terá de compensar financeiramente o fornecedor do programa de DR com uma *penalty fee* [18]. Esta opção poderá trazer vantagens ao comercializador nos momentos em que este sabe que a energia no mercado vai atingir valores elevados, como acontece nas horas de ponta.

Com um conceito não muito distinto, a *spike-order option* é uma forma de os comercializadores limitarem os custos avultados durante os períodos de preços elevados. Assim como na opção anterior, o comercializador tem o direito de adquirir programas de DR porém não é obrigado a tal. Na elaboração do contrato, o comercializador e o vendedor dos programas negociam com base num preço desejado, denominado por *strike price*, sob o qual o comercializador pode decidir exercer, ou não, a *spike-order option*.

Um contrato *Forward DR* não é mais do que um contrato a termo onde as partes envolvidas acordam comprar ou vender um ativo numa data futura, a um preço acordado 'hoje' [19]. Este contrato é adaptado à DR, onde o comercializador compra energia aos agregadores e consumidores a um preço determinado das seguintes formas [20]:

- *Over-the-counter market*: Os preços são diretamente negociados entre o comprador e o vendedor em contratos a termo;
- *Exchange-Trade market*: É um mercado onde os contratos são estandardizados com um determinado volume e valor. A vantagem desta opção reside no facto de este processo ser mediado por um agente intermediário, onde os contratos são elaborados e fechados de uma forma centralizada.

Na última opção do esquema está a *Reward-based Demand Response* que pressupõe recompensas dos comercializadores segundo metas na redução da procura por parte dos consumidores.

3.4 Participação das cargas em Serviços de Sistema

São inúmeros os benefícios oferecidos pela participação das cargas em programas de *Demand Response*, contudo não é menos relevante perceber quais os desafios encontrados na participação das cargas em SS.

A *Federal Energy Regulatory Commission (FERC)*, nos Estados Unidos da América, tem encorajado a abertura do mercado de SS, ordenando a desagregação dos serviços promovendo assim uma maior competitividade. Estes mercados devem estar abertos a qualquer tecnologia capaz de fornecer os serviços, não se restringindo somente aos geradores, permitindo uma expansão de fontes geradoras e uma redução nos problemas dos sistemas de energia [21].

Para além do argumento da equidade, ter cargas – assim como consumidores - a participar como fornecedores em serviços de energia, melhora a utilização dos recursos. Assim, com essa participação, a capacidade de geração é impulsionada para aquilo que foi concebida, ou seja, gerar energia elétrica. Para além de que as cargas irão, provavelmente, responder de uma forma mais rápida aos pedidos dos centros de controlo do que grandes geradores. Pelo facto de as cargas estarem a fornecer uma pequena fração do total requerido pelo sistema para um serviço, estas consideram-se mais fiáveis no fornecimento de SS do que os geradores convencionais, sendo que a falha isolada num recurso não se torna tão importante [21].

Tomando como exemplo um sistema com dez centrais elétricas de 100MW e outro com uma central de 1000MW, sabe-se que o primeiro requer menos reservas de contingência. Da mesma forma que um sistema que utilize uma grande agregação de cargas para fornecer reservas irá necessitar de menos redundância do que um que contenha toda a reserva em poucos geradores.

Dos SS especificados no capítulo 2.3, nem todos são adequados para participação das cargas. O serviço de reservas de contingência são especialmente passíveis de serem fornecidas por cargas, tendo de estar o consumidor que vende habilitado a desligar a carga quando o evento ocorre. Serviços como *Black Start* e controlo da tensão, são os mais improváveis de serem fornecidos por cargas [21]. Na vanguarda da participação de cargas nos SS estão operadores de mercado como os *Nordic Transmission System Operator (TSO)*, *ERCOT* e a *NGC (National Grid)* no Reino Unido. Nestes três mercados, a participação das cargas é semelhante à dos geradores como fornecedores de SS, representando a partilha de carga uma fatia significativa nas receitas totais dos SS [22].

3.4 Participação das cargas em Serviços de Sistema

Apesar das vantagens que advêm da participação das cargas nos SS, e do encorajamento da mesma por parte das entidades reguladoras, existem ainda alguns constrangimentos à sua total implementação. Fatores como a exigência de disponibilidade e rigor técnico imposto pelo ISO em termos de monitorização, regras e protocolos são barreiras a uma maior participação das cargas em SS.

Convém ainda considerar o desinteresse do consumidor em participar no fornecimento de SS, incentivado pelo receio de perder qualidade de serviço e pelo investimento em tecnologia para controlo de cargas e equipamentos de comunicação [22]. Esta decisão em participar terá de ser baseada na flexibilidade em modificar os padrões da utilização energética, os preços da energia, os serviços de reserva e a frequência com que as interrupções ocorrem [21]. Podem-se portanto categorizar ainda as seguintes barreiras ao uso da carga nos SS:

- Barreiras Regulatórias/Legislativas - Muita da legislação existente ainda refere os geradores como a principal fonte para o fornecimento destes serviços, havendo mesmo alguma resistência por parte de algumas entidades responsáveis no uso de cargas. 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 [23];
- Barreiras de agregação – 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. 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 [23];
- 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 monetário direto 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 [23].

3.5 Impactos da integração de programas de *Demand Response*

Um estudo do *World Bank* mostra em termos genéricos os impactos possíveis de serem identificados no que respeita à integração de programas de DR, representados na figura 3.2. A figura mostra seis curvas de carga que representam as possibilidades deste tipo de programas. Impactos como a redução do pico máximo de consumo, o preenchimento de vales e o reescalonamento do consumo são exemplos dos objetivos a serem alcançados pela introdução das ações de gestão da procura [24].

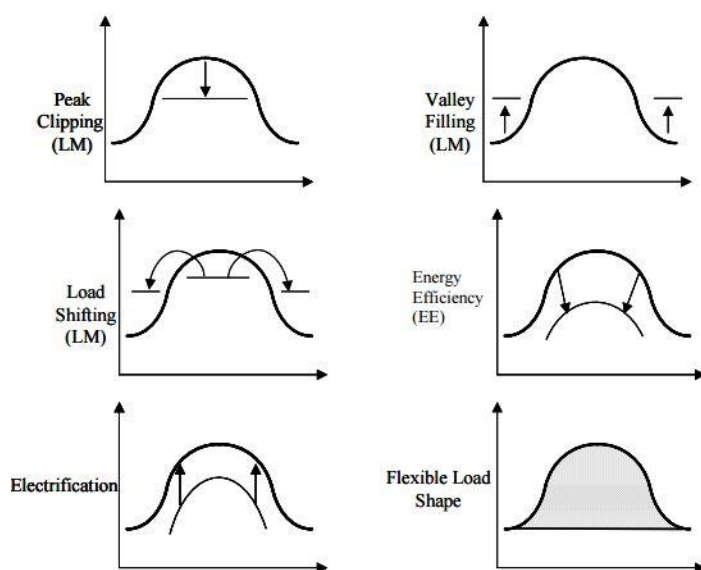


Figura 3.2: Exemplos de possibilidades de programas de DR [24].

Alguns dos impactos financeiros dos programas de DR relacionam-se com a *performance* do mercado, onde podem criar vantagens na redução da volatilidade dos preços da energia elétrica. Para além disso, os grandes consumidores, como fábricas e pólos industriais, têm mais opções de mercado, mesmo quando não existe competição no setor comercial [25]. Na figura 3.3. podemos ver um exemplo ilustrativo dos impactos da DR, através da redução de carga, no preço de energia elétrica.

3.5 Impactos da integração de programas de *Demand Response*

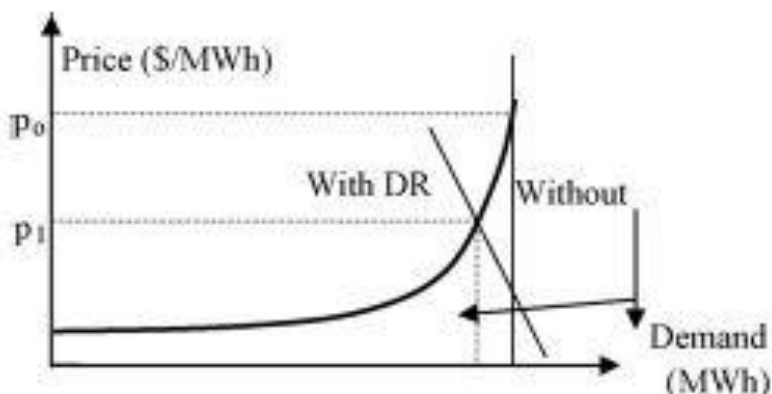


Figura 3.3: Efeito simplificado da DR no preço da eletricidade [9].

Este exemplo retrata o comportamento dos preços da energia elétrica em função da procura, na região da Califórnia, durante a crise energética entre 2000 e 2001. Podemos afirmar que uma pequena redução na procura, de cerca de 5%, pode resultar em avolumadas reduções do preço da eletricidade, em cerca de 50%. Estes dados poder-se-ão dever ao facto de os custos de geração crescerem exponencialmente com o aproximar do pico máximo de capacidade de geração [9].

Qualquer tipo de programas relacionados com a integração de DR tem associado custos de implementação e de continuidade do programa. Estes custos são partilhados entre consumidores e comercializadores. Os custos iniciais imputados aos participantes dos programas de DR estão associados à instalação de alguns equipamentos, como termostátos, controladores de carga, sistemas de gestão energética, e até unidades de geração de energia. Apesar destes custos de implementação serem suportados pelos utilizadores, tipicamente os custos de manutenção e assistência técnica são suportados pelo prestador de serviço, ou seja, o comercializador [10].

Para além dos custos iniciais de implementação do programa, o utilizador vai também ser responsabilizado por custos de continuidade do programa cujo valor irá depender do plano de DR atribuído e/ou escolhido pelo cliente. Alguns destes custos são relativos a perdas de produção industrial ou reescalonamento da mesma, assim como a necessidade de ativar uma unidade de geração local, para responder às obrigações do pro-

grama. Adicionalmente, existem os custos não quantificáveis relativos à perda de conforto quando se altera a temperatura de uma dada área residencial ou comercial [10].

De forma análoga, o comercializador – respetivo detentor da oferta deste tipo de programas – tem de assumir custos respeitantes à inicialização e continuidade do programa. Assim, os programas de DR envolvem custos iniciais de medição e comunicação necessários na medição, armazenamento e transmissão dos dados de consumos energéticos em intervalos temporais. Os custos associados à continuidade dos programas são, usualmente, custos de administração e de gestão. Para além disso, o comercializador tem que suportar os devidos incentivos financeiros acordados com os participantes dos programas de DR.

Outro tipo de custo não menos importante, relaciona-se com a informação que o comercializador tem de apresentar aos participantes para formação e educação sobre os potenciais benefícios e opções que os diferentes programas de DR proporcionam. Por último, o comercializador terá custos de *marketing* na divulgação dos seus produtos, assim como custos associados a uma fidedigna e constante avaliação dos seus programas [10].

Antes de terminar a abordagem relativa aos benefícios dos programas de DR, uma última nota, para os impactos ambientais positivos que este tipo de programas proporcionam. Tornam-se evidentes as poupanças de recursos naturais, como a utilização de terrenos para a implementação de infraestruturas de produção, transporte e distribuição de energia, ou o aumento na qualidade do ar e da água disponibilizadas às populações. A longo prazo e fazendo uso intensivo dos programas de DR, podemos contar com uma redução do esgotamento de recursos naturais.

3.6 Categorização das cargas controláveis no setor residencial

Antes da introdução aos modelos que proporcionam a análise dos impactos das ações de gestão da procura e a sua simulação, é necessária uma categorização da procura de acordo com a disponibilidade, padrões de utilização e constrangimentos técnicos. Após uma análise e categorização segundo as características das cargas, poder-se-á aplicar ações automáticas de DR.

3.6 Categorização das cargas controláveis no setor residencial

De forma a que as ações de DR seja adequadas, terá de existir um conhecimento do consumo desagregado no setor residencial, assim como dos padrões típicos de utilização das aplicações a controlar. A figura 3.4 mostra precisamente o diagrama de carga residencial de forma desagregada de acordo com [26].

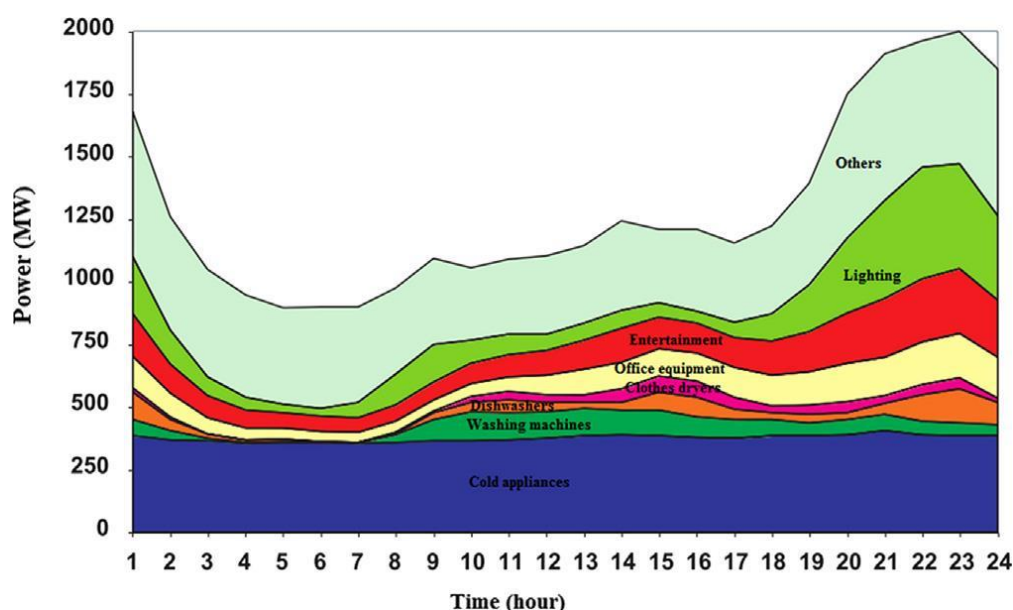


Figura 3.4: Perfil de carga do setor residencial [26].

De modo a que o conforto do utilizador final não seja posto em causa, esta gestão deverá tirar partido da flexibilidade de utilização de algumas cargas, flexibilidade que depende da vontade do utilizador em deixar que um sistema automatizado controle o seu consumo energético.

Existem vantagens associadas à gestão dos recursos energéticos residenciais, isto é, se a procura for vista como um recurso controlável prevêem-se os seguintes contributos [26]:

- Evitar investimento em aumentar a capacidade do sistema;
- Forte potencial para integração de renovável;
- Redução da *peak demand*;
- Minimizar a operação de *peaking plants*, menos eficientes.

3. Demand Response

A categorização, segundo os grupos apresentados na tabela 3.1, permite ao comercializador perceber para que tipos de cargas pode efetuar as ação de gestão da procura. Existe assim uma maior celeridade na adaptação de programas de DR ao tipo de cargas, e em último caso ao tipo de utilizador.

Tabela 3.1: Categorização do tipo de cargas no setor residencial [26].

Tipo de Controlo	Descrição	Aplicações
Cargas não controláveis	Quando controláveis provocam desconforto no utilizador de uso final, perturbando o normal funcionamento das atividades	Iluminação, equipamentos de escritório e entretenimento, equipamentos de cozinha
Cargas parametrizáveis	Cargas que são termostaticamente controláveis e permitem a parametrização das definições sem causar desconforto ao utilizador de uso final	Refrigeração, sistema de ar-condicionado e bombas de calor
Cargas interrompíveis	Cargas que podem ser interrompidas durante um curto período de tempo sem que a qualidade de serviço de energia diminua	Refrigeração, sistema de ar-condicionado e bombas de calor
Cargas desviáveis	Cargas cujo funcionamento pode ser adiado ou antecipado de acordo com as preferências do utilizador sem trazer desconforto	Máquina de lavar e secar a roupa, máquina de lavar a loiça e bombas de calor

De acordo com os parâmetros definidos pela tabela 3.1 é possível fazer uma seleção do tipo de carga, com o tipo de ação de gestão da procura a que essa carga melhor se adapta. No seguimento da tabela 3.1 a figura 3.5 traduz de uma forma gráfica a informação da tabela anterior.

3.6 Categorização das cargas controláveis no setor residencial

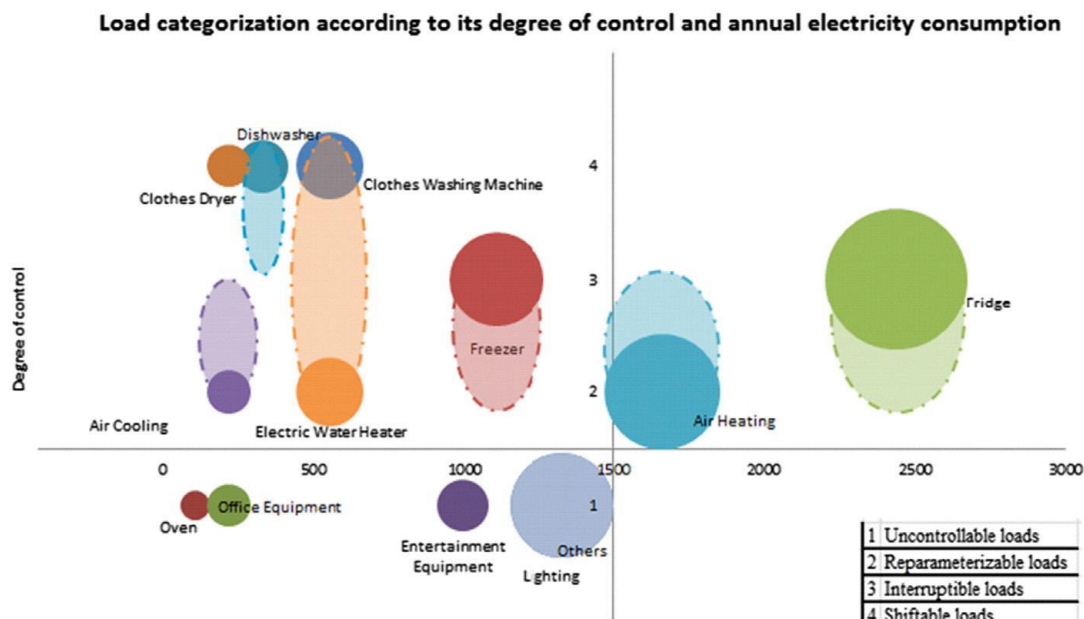


Figura 3.5: Distribuição das cargas de acordo com o nível de controlo e consumo médio anual, em Portugal [26].

Como é perceptível pela representação em elipse, há certos tipo de cargas que têm várias possibilidades de controlo. Assim, cada estratégia de controlo deve ser desenvolvida para um determinado uso final, tendo de ser tido em conta o serviço de energia fornecido.

Como mencionado anteriormente, as atividades de DR estão a tornar-se cada vez mais interessantes para os operadores de rede mas sobretudo para os comercializadores, pela oportunidade que têm em potencializar as suas receitas e simultaneamente diminuir os custos para os consumidores. A evolução dos SEE para um conceito de *Smart Grid*, prevê o desenvolvimento de tecnologias tanto ao nível da gestão de rede como ao nível do utilizador final, tornando possível a comunicação bi-direcional entre os agentes de procura e de oferta de energia elétrica [27].

O comercializador está assim interessado em avaliar os efeitos locais das ações de controlo implementadas num conjunto o mais alargado possível de cargas e, ao mesmo tempo, avaliar o impacto na receita total ou na procura global das mesmas. Do seu ponto de vista, os programas de gestão de procura são também interessantes por permitirem lidar com a volatilidade de preços da energia do mercado grossista [28].

3. Demand Response

4

Modelos de representação da procura

4. Modelos de representação da procura

Neste capítulo serão apresentados três modelos de representação da procura, com implementação de ações piloto, que reproduzem o comportamento energético de cargas termostáticas. Nesta dissertação irão ser usados modelos adaptados que representam o comportamento de frigoríficos.

Usando uma ferramenta de cálculo e simulação desenvolvida em ambiente MATLAB©, dois modelos serão sujeitos a simulações no sentido de estabelecer comparações em termos de tempo de processamento/simulação e na construção dos diagramas de carga.

Este estudo revela-se ser pertinente do ponto de vista do comercializador uma vez que, perante um elevado número de cargas, tanto o tempo dispendido na simulação destes modelos, como a qualidade dos resultados para construção dos diagramas de carga, são fatores cruciais na caracterização e implementação de ações de gestão da procura.

4.1 Modelos fisicamente baseados

Os modelos em questão denominam-se por modelos fisicamente baseados (MFB) cuja capacidade é a de reproduzir os fenómenos físicos associados às cargas de armazenamento – nomeadamente cargas controladas por termostatos - que tipicamente são as mais apropriadas para implementação de ações de gestão da procura. A utilização de cargas termostáticas nos programas de DR deve-se essencialmente ao facto do consumo deste tipo de cargas representar uma parte significativa da procura.

O primeiro MFB (modelo 1) a considerar tem a validação experimental em [26], [28] e [27] em cargas como ar-condicionados, bombas de calor, frigoríficos e arcaas frigoríficas. Quando o ciclo de trabalho da carga é alterado por força de uma ação externa, o padrão de consumo reflete essas mudanças.

Assim, nas equações 4.1 e 4.2 é expressa a temperatura no interior da carga a ser aquecido/arrefecido cuja evolução está diretamente relacionada com o consumo da carga, ou seja:

1. Quando o equipamento está ligado (ON):

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{[-P_T(t) + Q_T(T)]\Delta t}{mc_p} \quad (4.1)$$

2. Quando o equipamento está desligado (OFF):

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{[Q_T(T)]\Delta t}{mc_p} \quad (4.2)$$

O valor de $P_T(t)$ corresponde à potência pedida pelo equipamento no instante t , multiplicado pelo valor do *Coefficient of Performance* (COP) ou *Energy Efficiency Ratio* (EER), no caso de aquecimento ou arrefecimento, respetivamente. O COP e o EER podem ser vistos como a relação entre a energia térmica gerada, no aquecimento ou no arrefecimento, e a quantidade de energia elétrica absorvida ou consumida para a produzir.

Relativamente às restantes variáveis:

- $T(t + \Delta t)$ - temperatura no interior do frigorífico no instante seguinte a t [°C];
- $T(t)$ - temperatura no interior do frigorífico no instante t [°C];
- m - massa do ar [kg];
- c_p - capacidade térmica do ar [J/kg°C];
- Δt - intervalo de tempo [s];
- $Q(t)$ - valor da potência de perdas [W].

Relativamente ao valor de $Q_T(t)$, em [26] quando as cargas são de Frio Alimentar Doméstico (FAD), este valor representa o valor da potência de perdas e pode ser representado da seguinte forma:

$$Q_T = \frac{\Delta T'}{R} \quad (4.3)$$

- $\Delta T'$ - Diferença de temperatura interior e a temperatura ambiente [°C];
- R - Resistência térmica total [°C/W].

A resistência térmica total tem em conta os diferentes tipos de fenómenos envolvidos na transferência de calor com a envolvente. O valor de Q_T é apresentado como a carga térmica com contribuições de calor transmitido através das paredes do invólucro e fontes de calor internas.

4. Modelos de representação da procura

Numa abordagem alternativa ao modelo 1, em [29] e [30] são também introduzidos MFB, para simulação do comportamento energético de congeladores e refrigeradores.

O modelo 2 rege-se pela equação que caracteriza a temperatura T , no interior da carga:

$$T_{t+\Delta t} = \varepsilon T_t + (1 - \varepsilon) \left(T^0 \mp \eta \frac{P_t}{A} \right) \quad (4.4)$$

com,

$$\varepsilon = e^{-\frac{\Delta t \cdot A}{m_c}} \quad (4.5)$$

- ε - Inércia do sistema;
- m_c - massa térmica [Wh/°C];
- A - condutividade térmica [W/°C];
- η - COP;
- T^0 - temperatura ambiente [°C];
- P_t - potência do pedida pelo equipamento no instante t [W].

De forma alternativa ao modelo 2, os autores em [29] apresentam uma aproximação linear descrita pelo modelo 3. Segundo os autores, este terceiro modelo introduz uma maior rapidez de processamento nas simulações, sendo por isso mais adequado em situações cujo número de cargas é muito elevado.

Essa aproximação linear é dada pela equação 4.6:

$$T(t) = T_i + a \cdot t \quad (4.6)$$

- Quando o equipamento está ligado (ON):

$$a = \frac{(T_{min} - T_{max})}{\tau_{cooling}} \quad (4.7)$$

- Quando o equipamento está desligado (OFF):

$$a = \frac{(T_{max} - T_{min})}{\tau_{warming}} \quad (4.8)$$

Os valores de $\tau_{cooling}$ e de $\tau_{warming}$ são calculados segundo a equação 4.9. Por sua vez os valores de T_{max} e T_{min} são as temperaturas máximas e mínimas admissíveis no interior do refrigerador.

$$\tau(T_a, T_b) = -\ln \left(\frac{T_b - T^0 + \eta \frac{P}{A}}{T_a - T^0 + \eta \frac{P}{A}} \right) \frac{m_c}{A}, \quad T_a \geq T_b \quad (4.9)$$

No seguimento da equação 4.9, podemos concluir o seguinte:

$$\tau_{cooling} = \tau(T_{max}, T_{min}); \tau_{warming} = \tau(T_{min}, T_{max})$$

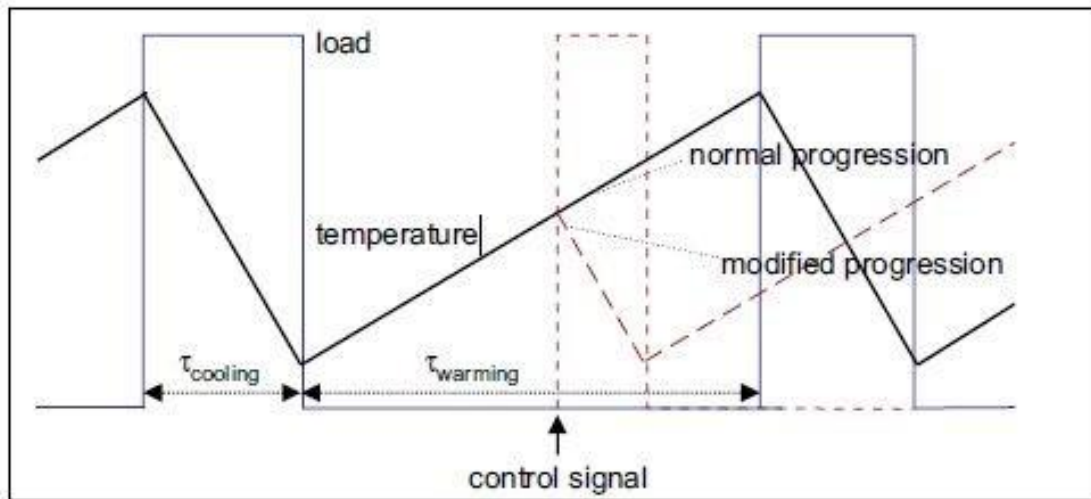


Figura 4.1: Representação do comportamento da temperatura e potência com a modelação linear [29].

Na figura 4.1 está representado um esboço da progressão linear da temperatura no interior do refrigerador, onde no controlo representado por *normal progression* a temperatura aumenta até atingir um valor máximo pré-definido. Nesse ponto o equipamento de refrigeração é ativado até que a temperatura interior do compartimento atinja o seu valor mínimo. O equipamento é desligado até que a temperatura volte a atingir o seu valor máximo. Na figura 4.2 é possível observar um diagrama de carga individual obtido com a simulação do modelo 1. De uma forma semelhante a figura 4.3 mostra a mesma representação através da simulação do modelo 3.

4. Modelos de representação da procura

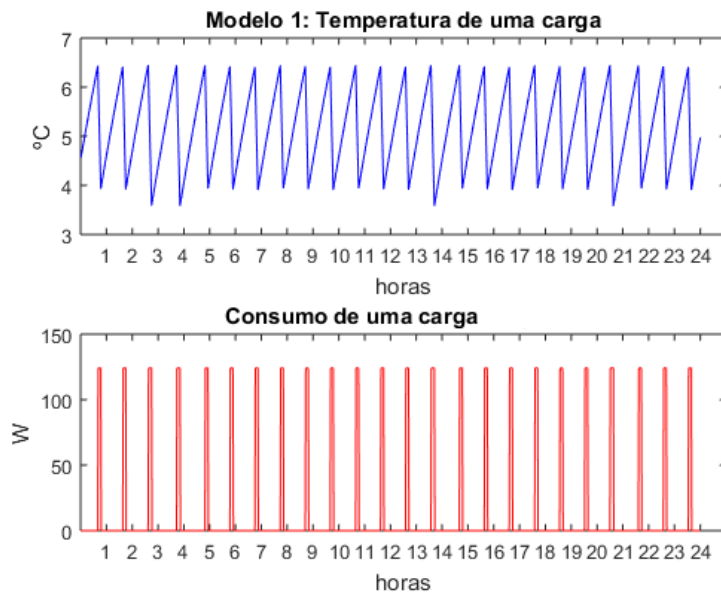


Figura 4.2: Representação do comportamento da temperatura e potência numa simulação real com o modelo 1.

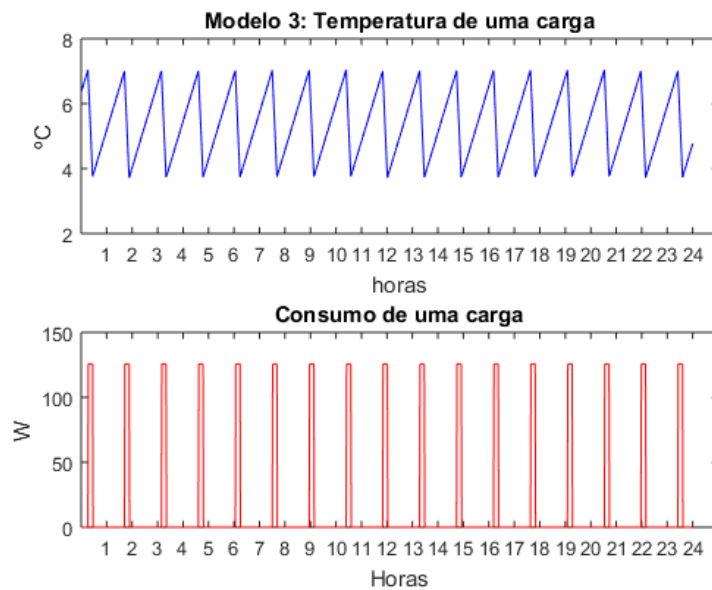


Figura 4.3: Representação do comportamento da temperatura e potência numa simulação real com o modelo 3.

Sobre os modelos apresentados sabe-se que o modelo 3 é uma simplificação linear do modelo 2, e como tal, segundo [29], é mais adequado para um elevado número de cargas, uma vez que introduz melhorias no tempo de processamento. No entanto, existe o interesse em perceber quais são os impactos que advêm da utilização do modelo 3 e avaliar quais são efetivamente as respostas deste modelo.

4.2 Comparação entre modelos - análise de resultados

Por outro lado, através da validação de resultados em vários estudos, o modelo 1 não apresenta a competitividade desejada em termos de tempo de simulação quando está perante um elevado número de cargas. Assim, interessa saber quais as melhorias em vários aspetos que o modelo 3 pode trazer em relação ao modelo 1.

Relativamente à modelação fisicamente baseada, esta apresenta vantagens sobre outros métodos alternativos uma vez que permite simular a procura de pequenos grupos de cargas, entre os quais poderão estar algumas cargas identificadas como potenciais alvos de programas de gestão da procura [28].

4.2 Comparação entre modelos - análise de resultados

Com base em frigoríficos com as mesmas características físicas, foi simulado o comportamento das cargas nos dois modelos. Para cada modelo, a pré-parametrização das cargas é efetuada em folhas Excel©, lidas por uma ferramenta em MATLAB© que efetua os respetivos cálculos associados a cada um dos modelos. Nas diversas simulações foram tidos em conta os seguintes casos:

- A-7500 cargas divididas em 20 grupos de 375 cargas;
- B-7500 cargas divididas em 25 grupos, 5 grupos de 100, de 200, de 300, de 400 e de 500 cargas;
- C-1500 cargas divididas em 20 grupos de 75 cargas;
- D-1500 cargas divididas em 5 grupos, 1 grupo de 100, de 200, de 300, de 400 e de 500 cargas;
- E- 60,000 cargas divididas em 20 grupos de 3000 cargas;
- F- 60,000 cargas divididas em 200 grupos, 40 grupos de 100, 200, 300, 400, 500 cargas.

De maneira a que as simulações representem de uma forma mais realista os diferentes casos, foi imposta variabilidade entre cargas do mesmo grupo de acordo com a tabela 4.1. A variável x representa o valor de referência.

4. Modelos de representação da procura

Tabela 4.1: Variabilidade nos parâmetros entre cargas do mesmo grupo.

Parâmetros	Variação
Temperatura mínima	$x \pm 10\%$
Temperatura máxima	$x \pm 10\%$
Temperatura ambiente	$x \pm 10\%$
Potência	$x \pm 10\%$
COP	$x \pm 10\%$
Resistência Térmica	$x \pm 8\%$
m_c	$x \pm 0,15\%$
$m.c_p$	$x \pm 0,15\%$
A	$x \pm 0,15\%$

O modelo de frigorífico utilizado em todos os grupos assume valores de referência da potência do compressor de 120 W e do COP de 2. A variabilidade decorrente da tabela 4.1 é comum aos modelos em avaliação (1 e 3) aquando da simulação.

Os grupos cujos resultados serão apresentados e analisados dizem respeito aos cinco primeiros grupos de cada cenário. As características de cada um deles estão reportadas na tabela 4.2. Os valores da temperatura máxima T_{max} , da temperatura mínima T_{min} e da temperatura ambiente T^0 são decisivos no comportamento das cargas, de um dado grupo. Vejamos, por exemplo, que quanto maior for a diferença entre temperaturas máximas e mínimas (ΔT), maior será o tempo em que a carga ficará ligada.

Os resultados das simulações dos dois modelos para os cinco grupos considerados são apresentados nas tabelas 4.3 e 4.4. Os grupos foram selecionados de modo a representar a diversidade das situações consideradas nos resultados.

Tabela 4.2: Informação dos valores das temperaturas, em cada grupo.

Grupos	T_{min}	T_{max}	ΔT	T^0
1	4	7	3	20
2	5	8	3	21
3	4,5	7,5	3	20
4	5,5	7,5	3	20
5	5	7,5	2,5	20

4.2 Comparação entre modelos - análise de resultados

Tabela 4.3: Resultados obtidos nos grupos 1, 2, 3, 4 e 5 nas situações A, B e C.

	A		B		C	
	Modelo 1	Modelo 3	Modelo 1	Modelo 3	Modelo 1	Modelo 3
Grupo 1	375 cargas		100 cargas		75 cargas	
Consumo (kWh)	128,062	133,135	34,265	36,237	25,229	27,284
Ciclos_ON	18,3	17,9	18,6	16,7	18,7	16,5
Ciclos_OFF	19,0	18,6	19,4	17,4	19,4	17,2
Tempo_ON (min)	9,4	10,0	9,2	11,0	9,1	11,0
Tempo_OFF (min)	69,7	71,2	68,5	75,8	68,3	77,1
Grupo 2	375 cargas		200 cargas		75 cargas	
Consumo (kWh)	127,337	138,986	67,930	74,313	25,559	27,029
Ciclos_ON	18,3	17,9	18,6	16,7	18,7	16,5
Ciclos_OFF	19,0	17,7	18,8	17,7	19,4	17,2
Tempo_ON (min)	9,3	11,0	9,4	11,0	9,3	11,0
Tempo_OFF (min)	69,8	75,0	70,9	74,4	68,4	76,4
Grupo 3	375 cargas		300 cargas		75 cargas	
Consumo (kWh)	123,233	119,759	97,704	103,005	24,524	24,765
Ciclos_ON	17,8	16,2	17,5	17,3	17,6	16,8
Ciclos_OFF	18,6	16,9	18,2	18,0	18,4	17,5
Tempo_ON (min)	9,3	10,0	9,4	10,0	9,3	10,0
Tempo_OFF (min)	72,1	79,7	73,3	74,1	73,1	76,5
Grupo 4	375 cargas		400 cargas		75 cargas	
Consumo (kWh)	127,194	140,850	135,187	147,080	25,547	26,905
Ciclos_ON	27,3	24,5	27,8	26,3	26,3	25,9
Ciclos_OFF	28,0	25,2	28,6	27,0	27,0	26,6
Tempo_ON (min)	6,2	7,7	6,1	7,0	6,6	7,0
Tempo_OFF (min)	46,7	51,4	45,9	48,0	48,4	48,9
Grupo 5	375 cargas		500 cargas		75 cargas	
Consumo (kWh)	120,924	120,082	160,985	164,433	24,496	24,101
Ciclos_ON	21,3	20,0	20,8	20,6	20,2	20,0
Ciclos_OFF	22,1	20,7	21,6	21,4	20,8	20,8
Tempo_ON (min)	7,6	8,0	7,8	8,0	8,1	8,0
Tempo_OFF (min)	60,2	64,5	61,7	62,3	63,8	64,5
Consumo Total (MWh)	2,464	2,570	2,466	2,590	0,492	0,511
Tempo de simulação (s)	60,216	58,989	63,616	61,003	23,754	22,659

Relativamente às variáveis analisadas - consumo do grupo (kWh), números médio de ciclos que os equipamentos estão ligados (Ciclos_ON), número médio de ciclos em que os equipamentos estão desligados (Ciclos_OFF), tempo médio dos Ciclos_ON em minutos (Tempo_ON) e tempo médio dos Ciclos_OFF em minutos (Tempo_OFF) - os dois modelos apresentam algumas diferenças. Estas diferenças devem-se em parte à variabilidade imposta nas simulações de acordo com a tabela 4.1, mas sobretudo às características de cálculo distintas dos dois modelos. Veja-se que no modelo 3 existe uma maior variabilidade dos resultados entre grupos, ao contrário do que acontece no modelo 1, devendo-se ao facto de se calcular os valores de $\tau_{cooling}$ e de $\tau_{warming}$ para cada grupo, em cada simulação.

4. Modelos de representação da procura

Tabela 4.4: Resultados obtidos nos grupos 1, 2, 3, 4 e 5 nas situações D, E e F.

	D		E		F	
	Modelo 1	Modelo 3	Modelo 1	Modelo 3	Modelo 1	Modelo 3
Grupo 1	100 cargas		3000 cargas		100 cargas	
Consumo (kWh)	34,130	36,653	1011,281	1058,494	33,643	36,531
Ciclos_ON	17,9	16,7	18,1	16,1	17,9	16,7
Ciclos_OFF	18,6	17,4	18,8	16,9	18,7	17,5
Tempo_ON (min)	9,7	11,0	9,4	11,0	9,5	11,0
Tempo_OFF (min)	71,4	75,8	70,5	79,0	71,4	75,8
Grupo 2	200 cargas		3000 cargas		200 cargas	
Consumo (kWh)	67,430	74,794	1009,825	1097,409	66,376	72,911
Ciclos_ON	18,2	17,0	18,1	16,7	17,9	16,6
Ciclos_OFF	18,9	17,7	18,9	17,4	18,7	17,4
Tempo_ON (min)	9,3	11,0	9,3	11,0	9,4	11,0
Tempo_OFF (min)	70,1	74,6	70,5	75,8	71,3	76,2
Grupo 3	300 cargas		3000 cargas		300 cargas	
Consumo (kWh)	98,371	100,335	977,604	1000,798	97,929	100,946
Ciclos_ON	17,7	16,8	17,6	16,8	17,7	16,9
Ciclos_OFF	18,5	17,5	18,4	17,5	18,4	17,7
Tempo_ON (min)	9,3	10,0	9,3	10,0	9,3	10,0
Tempo_OFF (min)	72,4	76,5	72,7	76,5	72,3	76,5
Grupo 4	400 cargas		3000 cargas		400 cargas	
Consumo (kWh)	134,306	144,860	1012,299	1089,281	135,261	148,353
Ciclos_ON	27,4	26,0	27,2	26,0	27,5	26,6
Ciclos_OFF	28,2	26,8	28,0	26,8	28,2	27,4
Tempo_ON (min)	6,2	7,0	6,2	7,0	6,2	7,0
Tempo_OFF (min)	46,4	48,6	46,8	48,6	46,4	47,3
Grupo 5	500 cargas		3000 cargas		500 cargas	
Consumo (kWh)	160,673	158,995	965,067	937,065	161,537	159,561
Ciclos_ON	20,8	20,0	20,8	19,6	20,7	20,0
Ciclos_OFF	21,5	20,7	21,5	20,4	21,5	20,7
Tempo_ON (min)	7,8	8,0	7,8	8,0	7,8	8,0
Tempo_OFF (min)	61,9	64,5	61,7	65,8	62,0	64,5
Consumo Total (MWh)	0,495	0,516	19,673	20,527	19,681	20,500
Tempo de simulação (s)	13,661	13,091	405,138	380,445	986,734	973,857

O principal objetivo da apresentação destes resultados é perceber quais as diferenças de simulação entre os modelos considerados em termos de tempo de simulação e nos diagramas de carga obtidos. Primeiramente, conclui-se que, mesmo com diferenças mínimas, o modelo 3 é para todas as situações mais rápido do que o modelo 1. Nas situações E e F, nas quais o número de cargas simuladas é manifestamente maior, as diferenças no tempo de simulação, relativamente aos restantes cenários, são as mais acentuadas (24.693 s e 12.877 s, respetivamente). Contudo, em valor percentual, nem sempre assim acontece como retrata a tabela 4.5.

4.2 Comparação entre modelos - análise de resultados

Veamos que na situação E existe uma melhoria de 24.69 segundos (6.1%) no tempo de simulação para um erro no consumo total de 60,000 cargas de 4,34%. Sendo esta a situação em que o modelo 3 apresenta melhor *performance* relativamente ao modelo 1. Se analisarmos as situações em que as cargas estão divididas pelo mesmo número de grupos, isto é, as situações A, C e E, o modelo 3 não é tanto mais eficaz, em relação ao modelo 1, quanto maior for o número de cargas. As diferenças destas situações entre modelos são de 2.04%, 4.61% e 6.10%, como mostra a tabela 4.5. No que ao tempo de simulação diz respeito, é um facto que o modelo 3 tem a capacidade de introduzir algumas melhorias em comparação ao modelo 1, no entanto essa diferença não é - para alguns casos - suficientemente significativa.

Tabela 4.5: Diferença em % dos resultados no consumo total e tempo de simulação do modelo 3 em relação ao modelo 1.

Diferença (%)	A	B	C	D	E	F
Consumo total	+4,30	+5,03	+3,86	+4,24	+4,34	+4,16
Tempo de simulação	-2,04	-4,11	-4,61	-4,17	-6,10	-1,31

Em termos da construção dos diagramas de carga, de acordo com as figuras 4.4 e 4.5, verificam-se diferenças evidentes entre os modelos 1 e 3, respetivamente. No modelo 3, tanto a temperatura como a potência do grupo seguem um padrão que não se verifica no modelo 1. O padrão verificado nas figuras deve-se à linearidade introduzida pela equação 4.6.

4. Modelos de representação da procura

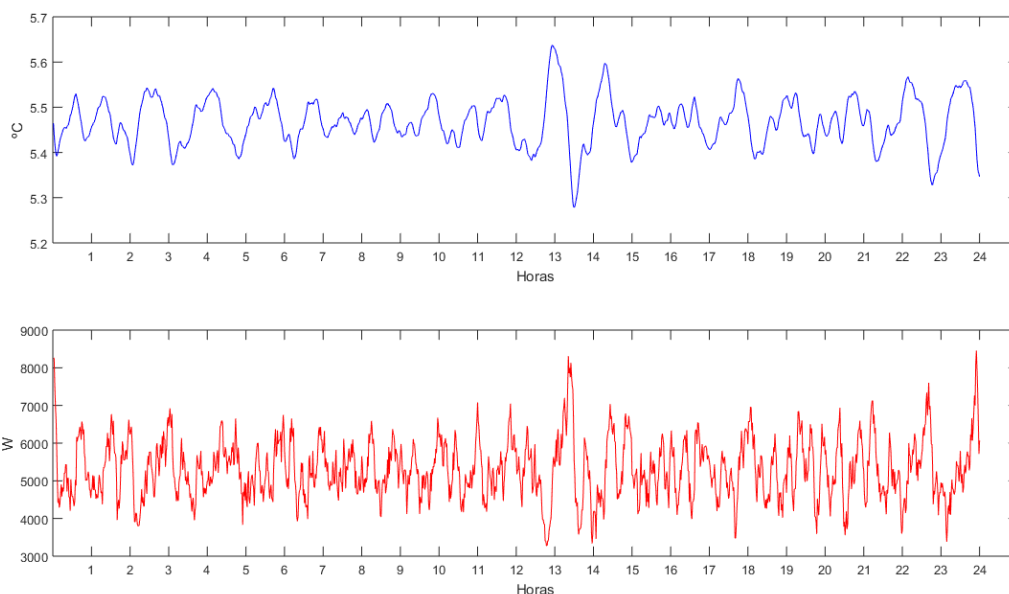


Figura 4.4: Diagrama de carga e temperatura de um grupo do cenário A, com modelo 1.

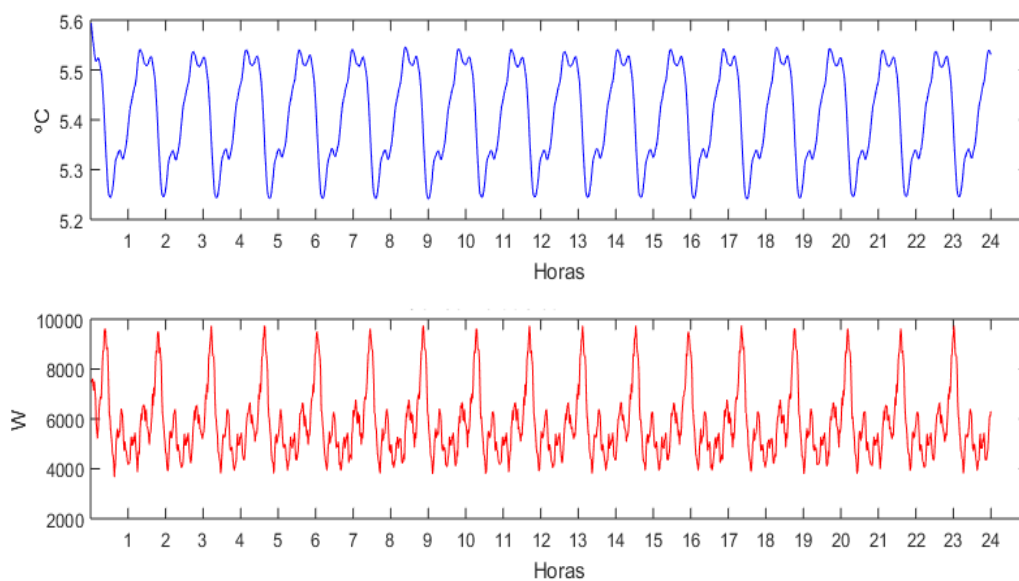


Figura 4.5: Diagrama de carga e temperatura de um grupo do cenário A, com modelo 3.

O aspeto das figuras 4.4 e 4.5 é corroborado pelos resultados da tabela 4.6, que mostra que no modelo 1 o número máximo de ciclos em que o equipamento está ligado (Max_Ciclos_ON) é manifestamente superior ao seu valor médio (Ciclos_ON). Este comportamento também se verifica no que respeita ao número mínimo de ciclos registado (Min_Ciclos_ON). Por outro lado, nos resultados do modelo 3 não existe esta discrepância de valores, justificando assim o padrão observado anteriormente.

4.2 Comparação entre modelos - análise de resultados

Tabela 4.6: Resultados do número de ciclos em que o equipamento está ligado.

	A		B	
	Modelo 1	Modelo 3	Modelo 1	Modelo 3
Grupo 1				
Max_Ciclos_ON	28	18	27	17
Min_Ciclos_ON	12	17	13	16
Ciclos_ON	18,3	17,9	18,6	16,7
Grupo 2				
Max_Ciclos_ON	30	17	27	18
Min_Ciclos_ON	12	16	12	17
Ciclos_ON	18,3	16,9	18	17
Grupo 3				
Max_Ciclos_ON	33	17	29	18
Min_Ciclos_ON	11	16	12	17
Ciclos_ON	17,8	16,2	17,5	17,3
Grupo 4				
Max_Ciclos_ON	65	25	63	27
Min_Ciclos_ON	15	24	15	26
Ciclos_ON	27,3	24,5	27,8	26,3
Grupo 5				
Max_Ciclos_ON	42	20	35	21
Min_Ciclos_ON	12	19	13	20
Ciclos_ON	21,3	20	20,8	20,6

Estes resultados resultam mais uma vez do comportamento padronizado verificado no modelo 3, observado na figura 4.5, contrastando com a variação, na temperatura e na potência, observada pelo modelo 1, na figura 4.4.

De um modo geral, o estudo da comparação do modelo 3 com o modelo 1, permite que concluir as diferenças mais significativas observadas entre os modelos têm de facto que ver com a construção dos diagramas de carga. Relativamente ao tempos de simulação não foram observadas resultados muito distintos, ainda que o modelo 3 tenha sido consistentemente mais rápido, conseguindo-se uma melhoria até 6,10%. Sobre os resultados do consumo total calculado o modelo 3 apresentou um aumento em média de 4,32% relativamente ao consumo total obtido com o modelo 1.

4. Modelos de representação da procura

5

Ações de Gestão da procura

5. Ações de Gestão da procura

Uma avaliação detalhada das ações de gestão da procura requer a quantificação das alterações na potência, assim como uma avaliação da qualidade do serviço de energia fornecido. Quando este tipo de ações são tomadas e fornecidas por um comercializador de energia, a avaliação dos programas de gestão de carga segundo a sua perspetiva, é indispensável [28].

Os objetivos da avaliação prévia dos impactos das ações de gestão da procura resumem-se em [28]:

- Redução dos riscos associados à implementação;
- Redução da necessidade da recolha intensiva de dados;
- Caracterização dos recursos do lado da procura;
- Redução do valor de compra da energia no mercado grossista;
- Avaliação dos impactos das ações de gestão da procura.

Este estudo recai essencialmente sobre as oportunidades da geração de recursos que o comercializador pode tirar partido aquando da implementação de ações de gestão da procura. Quer isto dizer que estas ações devem ser ajustadas de forma a que o comercializador consiga potencializar a utilização desses recursos em períodos cujo lucro da transação comercial da energia, entre o mercado grossista e o consumidor final, não seja segundo a sua perspetiva suficientemente vantajoso.

De acordo com a figura 5.1, as tarifas de venda de um comercializador agregam os custos de produção, transporte, distribuição e os custos de comercialização. Ora, para o cálculo dos lucros da comercialização da energia elétrica (LC) são consideradas as taxas de acesso às redes (TAR), os preços da energia no mercado de energia elétrica (PE) e os preços de referência praticados pelo comercializador de energia (P), resultando a equação 5.1.

$$LC = P - TAR - PE \quad (5.1)$$

No cálculo de P somente é considerada a parcela respeitante à receita proveniente do consumo energético dos consumidores, ou seja, aquilo que estes pagam pela potência instalada/contrada não entra neste cálculo.

5.1 Custos no processo de comercialização da energia eléctrica no setor residencial



Figura 5.1: Esquema de distribuição dos custos da energia eléctrica [31].

5.1 Custos no processo de comercialização da energia eléctrica no setor residencial

Nesta fase convém perceber quais os períodos do dia em que, do ponto de vista do comercializador, será mais vantajoso não comercializar a energia pelas vias tradicionais e optar por programas de DR. Assim, tendo em conta a informação recolhida, o objetivo passa por encontrar a variação do lucro de um comercializador ao longo do dia. Desta forma, após a sua análise poder-se-á implementar ações de gestão da procura em períodos cujo lucro de comercialização não seja tão competitivo quanto desejado.

Para o efeito foram considerados utilizadores (clientes de uso final) do setor residencial com ciclo diário de baixa tensão normal BTN, no período de verão, com potência instalada inferior a 20.7kVA.

5. Ações de Gestão da procura

As tabelas 5.1 e 5.2 descrevem os períodos dos tarifários e valores da TAR considerados [31].

Tabela 5.1: Ciclo diário para BTN [31].

Período de hora legal de Verão (BTN)	
Ponta	10:30/13:00h
	19:30/21:00h
Cheias	8:00/10:30h
	13:00/19:30h
	21:00/22:00h
Vazio	22:00/8:00h

Tabela 5.2: Taxas de acesso às redes em instalações com potência inferior a 20,7 kVA [31].

EUR/kWh		
Tarifa simples		0.0976
Tarifa bi-horária	Fora do vazio	0.1339
	Horas de vazio	0.0403
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0.2525
	Horas de cheia	0.09889
	Hora de vazio	0.0403

Os PE a considerar para efeitos de cálculo do lucro dizem respeito à média estabelecida entre 8 dias de entre os meses de Março e Abril, no ano de 2015 [32]. Todos os dias são dias úteis, sendo que do mês de Março foram considerados os dias 4,9,16 e 24; e do mês de Abril os dias 3,10,15 e 27.

Finalmente, para o cálculo do lucro LC do comercializador na transação comercial de energia elétrica resta saber quais os preços praticados ao cliente de uso final. O tarifário considerado teve por base a consulta do documento de preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica em Portugal Continental, elaborado pela ERSE [31].

Nesta dissertação, é utilizado o tarifário fornecido pelo comercializador Energias de Portugal (EDP), denominado de CASA com débito direto (DD) e fatura eletrónica (FE), para um potência instalada de 6.9kVA. Os preços praticados pelo comercializador estão expressos na tabela 5.3.

5.2 Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos

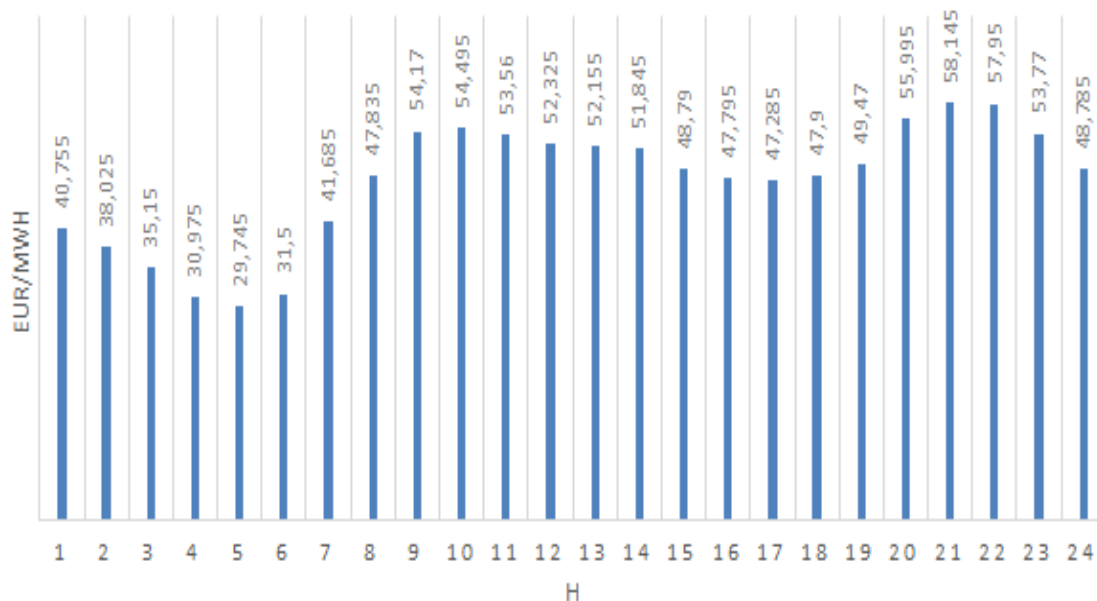


Figura 5.2: Gráfico dos preços médios do mercado de energia calculados, ao longo do dia.

Tabela 5.3: Preços de referência para potência instalada de 6.9 kVA, EDP Casa (com DD e FE) [31].

		EUR/kWh
Tarifa simples		0.1601
Tarifa bi-horária	Fora do vazio	0.1970
	Horas de vazio	0.0928
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0.3182
	Horas de cheia	0.1636
	Hora de vazio	0.0936

5.2 Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos

O lucro em €/kWh é apresentado em gráficos tendo em conta as tarifas simples, bi-horária, tri-horária, fornecidos por um *script* desenvolvido em ambiente MATLAB©. Desta forma torna-se possível identificar os períodos para aplicação das ações de gestão da procura. Na figura 5.3 é possível observar o comportamento do lucro do comercializador ao longo do dia para as várias tarifas, tendo por base os valores admitidos no capítulo 5.1.

Em todos as curvas se identificam vários períodos temporais nos quais o lucro é menos vantajoso para o comercializador de energia elétrica.

5. Ações de Gestão da procura

No que respeita ao lucro obtido com a tarifa simples, identifica-se o período das 8:00h às 14:00h e das 19:00h às 23:00h. Nesta tarifa é fácil prever o comportamento do gráfico do lucro dado que tanto a TAR como o P são constantes. Assim, os períodos identificados coincidem com os períodos em que o PE é mais elevado na figura 5.2.

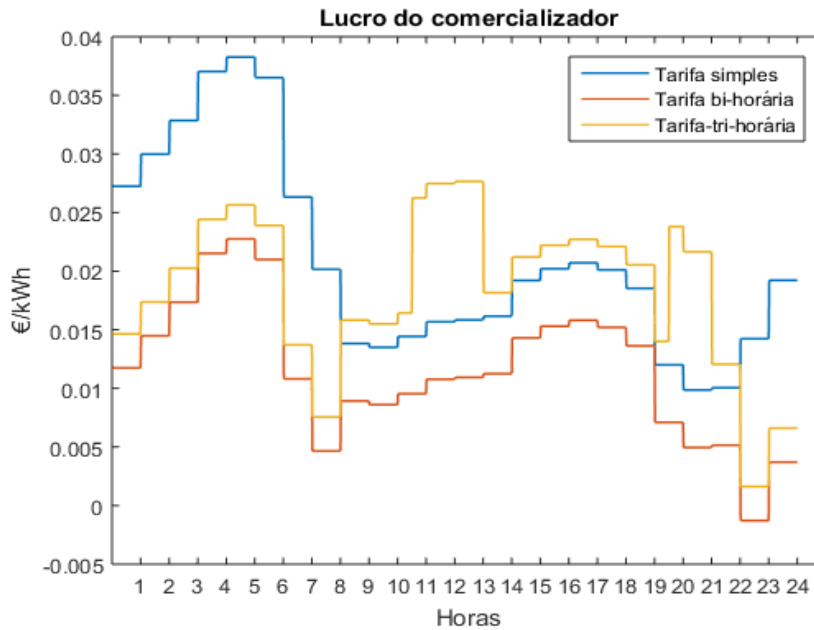


Figura 5.3: Lucro do comercializador para as tarifas simples, bi-horária e tri-horária.

No que respeita ao lucro obtido com a tarifa bi-horária e tri-horária, existem dois períodos onde este é drasticamente inferior às restantes horas do dia. Em ambas as situações esses períodos são das 7.00h às 8:00h e das 22:00h às 23:00h.

Para a implementação de ações de gestão da procura usar-se-á o modelo 1, sendo considerado o cenário A do capítulo 4.2. A caracterização dos grupos apresenta-se na tabela A.1 na qual consta informação adicional relativamente à previamente fornecida nas tabelas de resultados 4.3 e 4.4. Adicionalmente, para efeitos de comparação, todas as ações vão ser implementadas em 3, 5 e 10 grupos do total de 20 grupos, de acordo com o fluxograma da figura 5.4.

No sentido de identificar os períodos para aplicação das ações de gestão da procura, a tabela 5.4 mostra os períodos para os quais se encontra o lucro máximo e mínimo, em €/kWh para cada tipo de tarifa. Observe-se que existe um período para qual o comercializador obtém 'lucro negativo', ou seja, para além de não obter lucro, perde dinheiro por cada kWh comercializado.

5.2 Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos

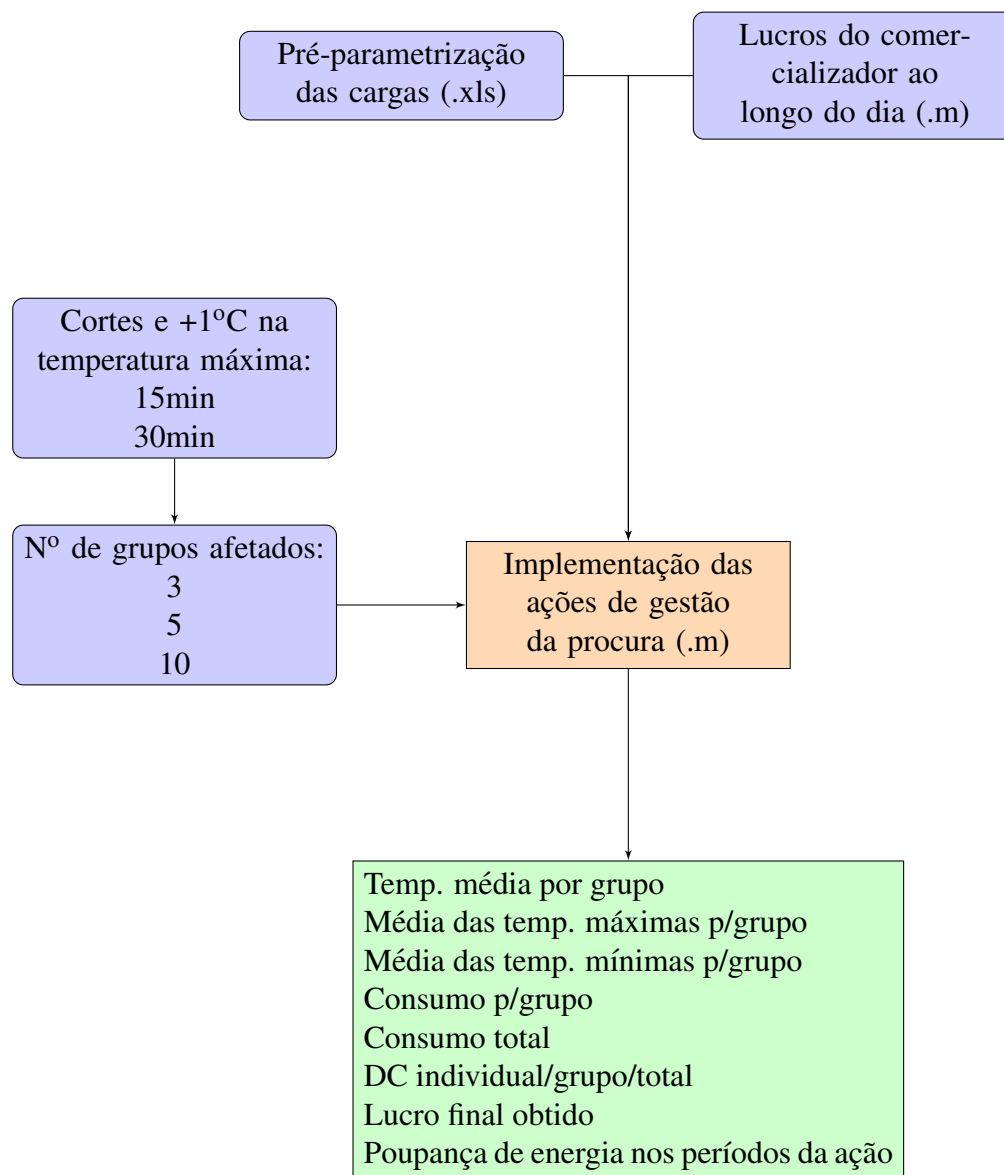


Figura 5.4: Fluxograma na simulação de ações de gestão da procura.

5. Ações de Gestão da procura

Isto significa que nos períodos identificados cujo lucro do comercializador não é economicamente competitivo, este poderá optar por disponibilizar potência, no âmbito de programas de DR, em serviços financeiramente mais vantajosos.

Tabela 5.4: Identificação dos períodos cujo lucro por €/kWh é máximo e mínimo.

		Tarifa Simples	Tarifa Bi-horária	Tarifa tri-horária
Lucro máximo	Hora	4:00-5:00	4:00-5:00	12:00-13:00
	€/kWh	0,0383	0,0228	0,0276
Lucro mínimo	Hora	20:00 - 21:00	22:00 - 23:00	22:00 - 23:00
	€/kWh	0,00986	-0,00127	0,0016

Quanto às características das ações a implementar, estas dividem-se em duas categorias; controlo direto de carga, ou seja, interrupções (cortes) de fornecimento durante um dado período; e mudança dos limites da banda de temperatura admissíveis no termostato dos frigoríficos, de acordo com os períodos identificados na tabela 5.5. A reparametrização do termostato contará com o aumento de 1°C na temperatura máxima admissível durante o período decorrente da ação.

Tabela 5.5: Informação relativa aos períodos de implementação das ações de gestão da procura, para cada tipo de tarifa.

Duração (min)	Simple	Bi-horária	Tri-horária
15	13:45-14:00		
	21:45-22:00	7:45-8:00	7:45-8:00
	22:45-23:00	22:45-23:00	22:45-23:00
30	13:30-14:00		
	21:30-22:00	7:30-8:00	7:30-8:00
	22:30-23:00	22:30-23:00	22:30-23:00

5.2.1 Controlo Direto - Interrupções no fornecimento de energia

De acordo com os períodos identificados na tabela 5.5, a figura 5.5 mostra a variação da temperatura média e o diagrama de carga de um grupo admitindo cortes nos períodos propostos para a tarifa simples. Aquando da aplicação dos cortes, a potência pedida pelo grupo fica imediatamente disponível, ou seja, o comercializador pode assim disponibilizar essa potência noutros serviços que possam ser economicamente mais vantajosos.

5.2 Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos

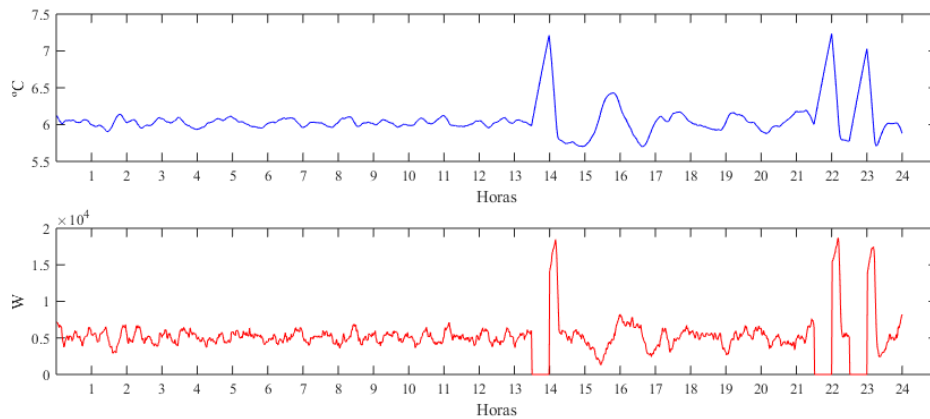


Figura 5.5: Temperatura média e diagrama de carga de um grupo de cargas afetado pelo controlo direto, durante 30 minutos, nos períodos da tarifa simples.

Quando o lucro é obtido com a implementação das ações, para além do seu valor variar com os períodos propostos para cada tarifa, este varia também de acordo com o número de grupos afetados e com a duração da ação. Assim, o lucro máximo que o comercializador obtém na 'venda' de energia ao consumidor para os diferentes tipos de tarifa apresenta-se na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Lucro máximo obtido após implementação das ações de gestão da procura nos períodos de todo o tipo de tarifas.

	Tarifa Simples	Tarifa Bi-horária	Tarifa tri-horária
Lucro diário (€)	51,844	28,797	46,735
Lucro mensal (€)	1555,32	863,91	1402,05

No que concerne à possibilidade da gestão da procura permitir ao comercializador a disponibilização de potência durante um determinado período de tempo, a figura 5.6 exemplifica, para o controlo direto de carga com incidência em 3 grupos com duração de 30 minutos, a capacidade do comercializador em reduzir a energia fornecida ao conjunto total de cargas.

5. Ações de Gestão da procura

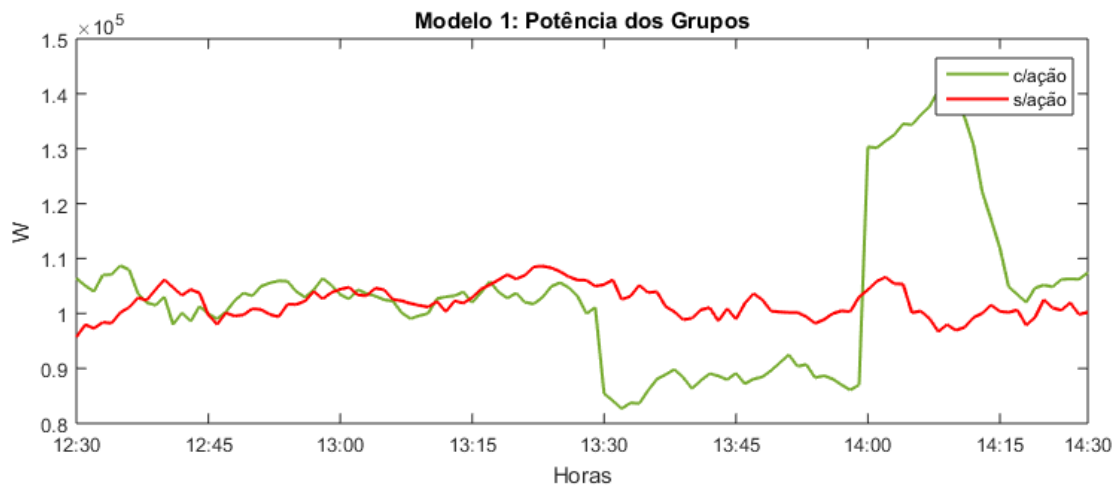


Figura 5.6: Redução da potência pedida entre as 13:30 e as 14:00, com controlo direto de carga em 3 grupos.

Para o exemplo das ações observadas na figura 5.6, os resultados da potência disponibilizada entre as 13:30 e as 14:00 estão descritos na tabela 5.7 e comparados com os resultados sem qualquer ação implementada. Durante este período o comercializador tem a capacidade de disponibilizar de forma contínua 9,450 kW.

Tabela 5.7: Resultados da potência com e sem a simulação ação de corte.

	Horas							
	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15
Potência s/ação (kW)	95,719	99,755	104,461	102,931	105,311	98,970	104,388	100,421
Controlo direto de carga (kW)	106,460	99,957	104,447	102,405	85,451	89,161	130,409	112,72
Variação (%)	+11,22	+0,202	-0,01	-0,51	-18,86	-9,91	+24,93	+12,25

Ainda relativamente à identificação dos recursos que o comercializador dispõe quando optam pela implementação de ações de gestão da procura, a tabela 5.8 mostra a quantidade total de energia que o comercializador não entrega ao consumidor devido aos cortes nos períodos identificados previamente na tabela 5.5.

No Anexo B estão todos os diagramas de carga do total das cargas, para todo o tipo de cortes relativos aos consumidores de tarifa simples.

5.2 Proposta de implementação de ações de gestão da procura de acordo com lucros obtidos

Tabela 5.8: Energia não fornecida pelo comercializador resultante da aplicação do controlo direto de carga, para os vários tarifários.

	Grupos	Cortes de 15 minutos (kWh)	Cortes de 30 minutos (kWh)
Tarifa Simples	3	15,055	25,059
	5	25,387	46,423
	10	52,457	96,649
Tarifa Bi-horária	3	7,066	11,735
	5	12,565	23,202
	10	25,761	49,479
Tarifa Tri-horária	3	14,478	26,138
	5	15,045	44,297
	10	32,975	91,074

5.2.2 Reparametrização do limite superior da banda de temperaturas no interior das cargas

A próxima ação de gestão da procura a implementar é a reparametrização da banda de temperaturas admissíveis no interior dos frigoríficos. Tecnicamente esta ação pode até ser implementada remotamente através da reparametrização do termostato dos frigoríficos, onde o objetivo passa por aumentar em 1°C o limite superior da banda de temperaturas nos períodos identificados na tabela 5.5. Desta forma, os frigoríficos demorarão mais tempo a atingir a condição de comutação de estado, ou seja, a atingir o limite máximo da temperatura no interior das cargas, previamente estabelecido.

De forma semelhante ao tipo de ação anterior, o lucro do comercializador é calculado para a implementação da reparametrização do termostato, sendo calculado nos períodos propostos para cada tipo de tarifa. Os valores do lucro máximo obtidos com a comercialização de energia da tabela 5.9 são ligeiramente inferiores aos homólogos obtidos com o controlo direto de carga.

Tabela 5.9: Lucro máximo obtido após reparametrização do termostato nos períodos de todo o tipo de tarifas.

	Tarifa Simples	Tarifa Bi-horária	Tarifa tri-horária
Lucro diário (€)	51,805	28,702	46,67
Lucro mensal (€)	1554,15	861,06	1400,1

5. Ações de Gestão da procura

Também para a reparametrização do termostato foi obtido o diagrama de carga no sentido de identificar os recursos do comercializador quando aplicada uma ação em 3 grupos, entre as 13:30h e as 14:00h. A figura 5.7 revela que para este tipo de ação, o comportamento da potência, no período identificado, é algo diferente relativamente ao controlo direto de carga (figura 5.6).

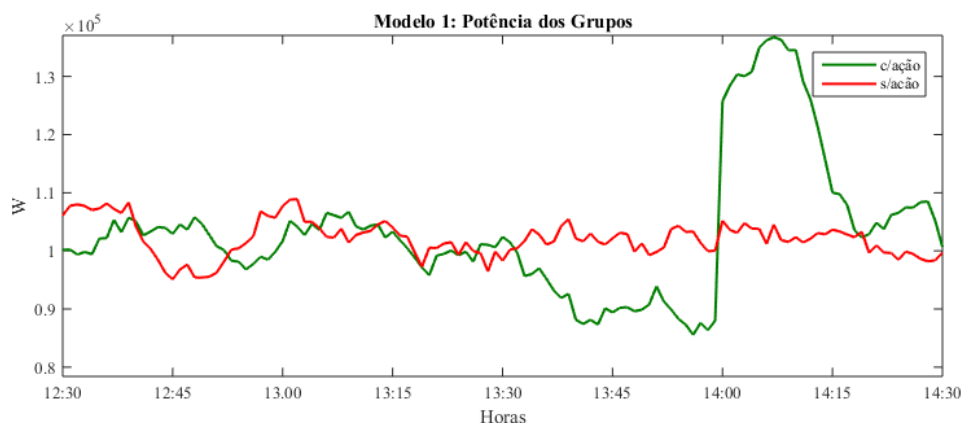


Figura 5.7: Redução da potência pedida entre as 13:30 e as 14:00, com reparametrização do termostato em 3 grupos.

Durante o período identificado, o comercializador tem a capacidade de disponibilizar 5,910 kW menos 37,46% relativamente ao controlo direto de carga.

Tabela 5.10: Resultados da potência com e sem a simulação da ação de reparametrização das cargas.

	Horas							
	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15
Potência s/ação (kW)	95,719	99,755	104,461	102,931	105,311	98,970	104,388	100,421
Reparametrização da temperatura (kW)	96,548	103,552	103,654	99,678	97,951	91,103	122,923	107,699
Varição (%)	+0,87	+3,81	-0,77	-3,16	-6,99	-7,95	+17,76	+7,25

Na tabela 5.10 é possível observar que os valores da potência pedida pelo conjunto de cargas, neste tipo de ação aplicada, é manifestamente inferior. Ora, às 13:30h, no controlo direto o comercializador consegue uma redução de 18,86% da potência debitada, enquanto que com a reparametrização da temperatura esse valor é de 6,99%. Por outro lado, no momento da desativação da ação (14:00h), enquanto que na tabela 5.7 a potência aumenta 24,93%, com reparametrização esse valor é de 17,76%.

Na tabela 5.11 está caracterizada a energia que o comercializador não entregou ao consumidor, por via do aumento de 1°C no limite superior do termostato dos frigoríficos.

5.3 Impactos das ações de gestão da procura

Tabela 5.11: Energia não fornecida pelo comercializador resultante da reparametrização do termostato dos frigoríficos, para os vários tipos de tarifas

	Grupos	15 minutos (kWh)	30 minutos (kWh)
Tarifa Simples	3	10,308	17,342
	5	16,213	36,122
	10	26,869	79,124
Tarifa Bi-horária	3	4,217	12,853
	5	8,372	19,469
	10	18,119	49,658
Tarifa Tri-horária	3	8,183	20,424
	5	14,852	36,754
	10	36,671	75,292

No Anexo C estão identificados os diagramas de carga obtidos para a tarifa simples, com a reparametrização do termostato.

5.3 Impactos das ações de gestão da procura

A análise dos impactos das ações de gestão da procura implementadas, cujos resultados foram apresentados nos capítulos 5.2.1 e 5.2.2, incide sobre o seguintes aspetos:

- Qualidade de serviço oferecida ao consumidor;
- Impacto das ações no diagrama de carga.

Após o exposto, urge questionar quais os impactos destas ações na qualidade do serviço fornecido ao cliente de uso final. Será que a qualidade de serviço diminuiu? E se sim, qual o seu impacto real?

No sentido de aferir a qualidade de serviço aquando da implementação das ações de gestão da procura, procurar-se-á avaliar o comportamento da temperatura no interior do frigorífico para os tipos de tarifa propostos previamente.

Os tempos máximos de exposição de alimentos perante o crescimento de algumas das bactérias e toxinas mais comuns, é reproduzido na tabela D.1. Em todos os tipo de bactérias e toxinas - excetuando as toxinas *Bacillus cereus*; *Clostridium botulinum* Tipo A, não-proteolítico B e F; e *Listeria monocytogenes* - o tempo máximo acumulado de

5. Ações de Gestão da procura

conservação é conseguido para uma temperatura máxima de 10°C. Nas exceções enunciadas, para uma temperatura de 10°C o tempo de conservação é de 17 horas no primeiro caso e de 2 dias nos restantes.

A qualidade de serviço é tanto mais afetada quanto maior for a duração das ações e o maior for o número de grupos afetados pelas mesmas. Como tal, nas tabelas 5.12 e 5.13 consta a informação passível de avaliar a qualidade de serviço de acordo com os indicadores apresentados por grupo, para os dois tipos de ações considerados. Os resultados foram obtidos com a simulação das ações em 10 grupos, com durações de 30 minutos.

De acordo com a tabela 5.12, somente no grupo 10 o valor de 10°C foi ultrapassado, tendo a temperatura estado acima desse limite, em média, durante 1.5 minutos. Quanto ao limite máximo pré-estabelecido, este foi ultrapassado em todos os grupos, atingindo um tempo médio máximo de 45.344 minutos, verificado no grupo 1.

Tabela 5.12: Indicadores da qualidade de serviço no controlo direto de carga em 10 grupos com durações de 30 minutos.

Grupo	Limite máximo do termostato (°C)	Valor médio das temp. mínimas (°C)	Valor médio das temp. máximas (°C)	Tempo médio acima do limite do termostato (minutos)	Tempo médio acima dos 10°C (minutos)
1	7	3,755	7,661	45,344	0
3	7,5	4,240	8,078	41,570	0
6	8	3,769	8,451	20,488	0
8	6,6	3,246	7,238	42,843	0
9	7,3	3,927	7,989	44,765	0
10	8,3	4,860	8,761	7,090	1,50
13	7,5	4,238	8,13	43,418	0
16	8	3,754	8,510	32,258	0
18	6,6	3,245	7,265	42,730	0
20	8,3	4,855	8,756	34,168	0

Quando o limite máximo permitido no interior das cargas é aumentado em 1°C a situação mantém-se estável ao nível da qualidade de serviço. Na tabela 5.13 pode-se verificar que a temperatura não chegou a atingir sequer o valor de 10°C, sendo que nesta situação o tempo médio acima do limite pré-estabelecido no termostato decresceu significativamente, quando comparado com os valores obtidos no controlo direto de carga.

Do ponto de vista da qualidade de serviço, é possível afirmar que as ações de gestão da procura implementadas comprometem-se com as metas na garantia de uma temperatura no interior dos frigoríficos estável para uma adequada conservação de alimentos.

5.3 Impactos das ações de gestão da procura

Tabela 5.13: Indicadores da qualidade de serviço com o aumento de 1°C no limite máximo do termostato dos frigoríficos, em 10 grupos com durações de 30 minutos.

Grupo	Limite máximo do termostato (°C)	Valor médio das temp. mínimas (°C)	Valor médio das temp. máximas (°C)	Tempo médio acima do limite do termostato (minutos)	Tempo médio acima dos 10°C (minutos)
1	7	3,749	7,599	18,021	0
3	7,5	4,259	8,060	17,488	0
6	8	3,750	8,467	13,029	0
8	6,6	3,259	7,234	17,845	0
9	7,3	3,941	7,929	18,272	0
10	8,3	4,875	8,769	14,810	0
13	7,5	3,786	7,048	17,786	0
16	8	3,770	8,514	13,170	0
18	6,6	3,268	7,196	18,077	0
20	8,3	4,850	8,784	14,400	0

No sentido de avaliar os impactos que as ações concebidas, até então ao longo desta dissertação, têm no diagrama de carga, convém proceder ao cálculo do fator de coincidência (FC). Este fator é o quociente entre a potência máxima do diagrama de carga soma e a soma das potências máximas, como esclarece a equação 5.2.

$$FC = \frac{P_{max}DC_{soma}}{\sum P_{max}DC} \quad (5.2)$$

As figuras 5.8 e 5.9 mostram a evolução do FC para a ação de controlo direto de carga aplicado nos períodos da tarifa simples, com cortes de 15 e 30 minutos, respetivamente. Como esperado, as figuras demonstram que o FC é tanto maior quanto maior for a duração da ação e o número de grupos afetados. O mesmo efeito sucede na reparametrização do limite superior do termostato, como comprovam as figuras E.1 e E.2, no Anexo E.

Ações com este tipo de características pressupõe a atuação simultânea nos grupos-alvo, cuja vantagem passa pelo facto de a potência ficar imediatamente disponível durante grande parte do período para o qual a ação foi concebida. No entanto quando os grupos voltam a ser reativados dá-se o efeito da restituição, ou seja, é verificado um pico de potência imediatamente a seguir à desativação da ação.

5. Ações de Gestão da procura

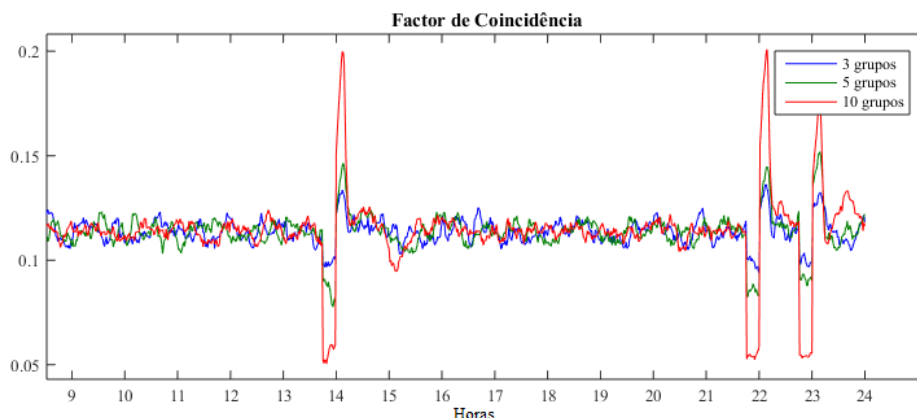


Figura 5.8: FC para o controlo direto de carga na tarifa simples com cortes de 15 minutos.

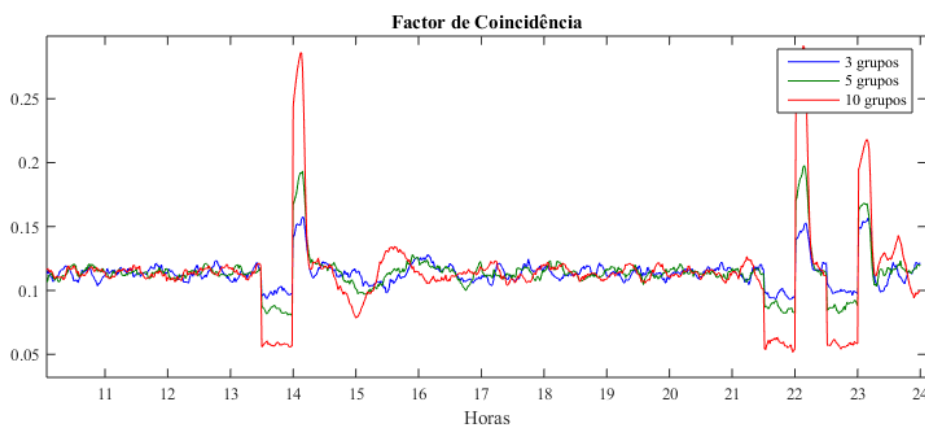


Figura 5.9: FC para o controlo direto de carga na tarifa simples com cortes de 30 minutos.

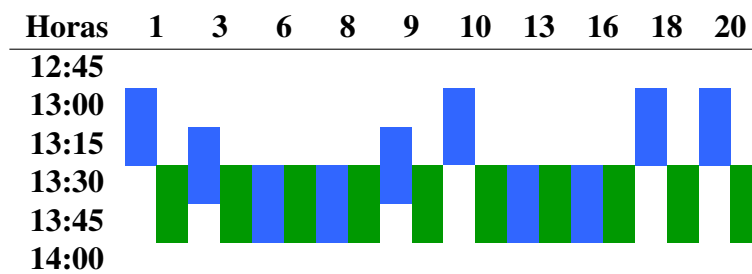
Este fenómeno verifica-se uma vez que durante o período da ação a temperatura aumenta ultrapassando o limite máximo pré-estabelecido, assim no momento que a ação é desativada as cargas estarão durante mais tempo ligadas para restabelecer a temperatura interior para valores dentro dos limites permitidos.

A forma de implementar ações de gestão da procura que tenham o mínimo impacto no diagrama de carga pode ser obtida com o controlo efetuado de uma forma alternada entre grupos, ou seja, o efeito da resposta da alimentação num grupo é contrariado pelo corte noutro e assim sucessivamente.

Assim, foram implementadas ações de controlo direto de carga e de reparametrização do termostato para o exemplo cujo FC verificado foi maior, ou seja, atuando em 10 grupos com intervenções de 30 minutos durante um período identificado da tarifa simples, com uma configuração representada na tabela 5.14.

5.3 Impactos das ações de gestão da procura

Tabela 5.14: Caracterização dos períodos de aplicação das ações de gestão da procura.



Os blocos azuis caracterizam os períodos de aplicação das novas ações, por outro lado os blocos verdes dizem respeito às ações desenvolvidas anteriormente. Cada bloco da tabela corresponde a um período de 30 minutos, que no caso do controlo direto representa desligar as cargas do grupo e para a reparametrização representa aumentar 1°C à temperatura máxima pré-estabelecida no interior dos frigoríficos.

Para um período compreendido entre as 13:00h e as 14:00h, serão implementadas as ações com a nova configuração que proporcionam um impacto menor no diagrama de carga. No entanto, o objetivo passa ainda por avaliar impacto que a redução do FC tem nos recursos que o comercializador poderá despende nesse período.

As figuras 5.10 e 5.11 evidenciam que de facto com a nova configuração do desenho das ações, o FC diminui substancialmente, para os dois tipos de ações considerados. No controlo direto o valor máximo do FC passa de 0,298 para 0,174; e na reparametrização do termostato esse valor desce 0,287 para 0,166.

Perante o exposto, urge perceber quanto 'custou' ao comercializador optar por ações que provocam um menor impacto no diagrama de carga, ou seja, perante a nova configuração das ações será avaliada a capacidade de o comercializador potencializar recursos, por exemplo, fornecendo SS.

5. Ações de Gestão da procura

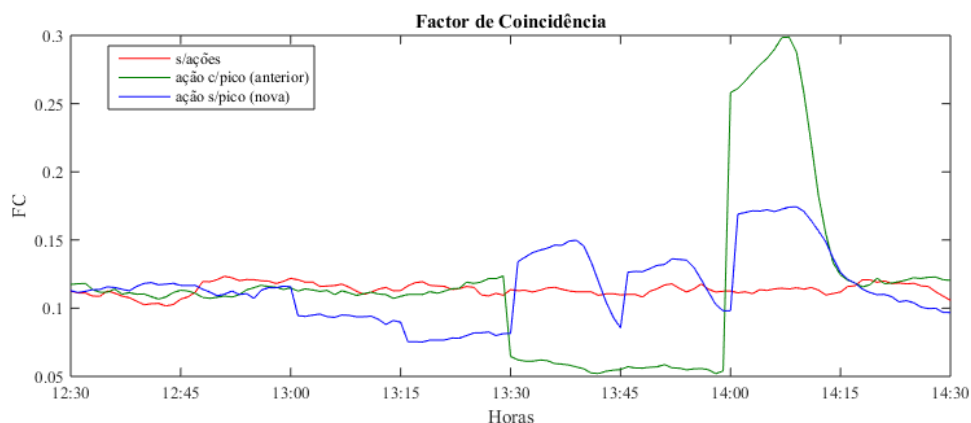


Figura 5.10: FC para as diferentes configurações do controlo direto de carga, em 10 grupo com durações de 30 minutos.

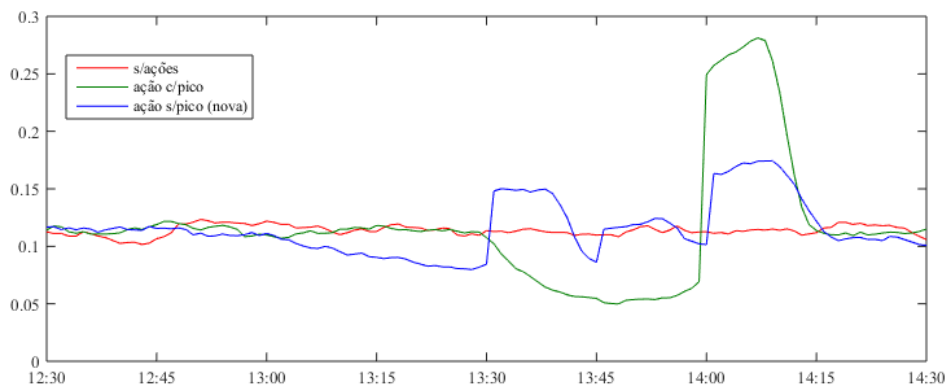


Figura 5.11: FC para as diferentes configurações da reparametrização do termostato, em 10 grupo com durações de 30 minutos.

Para a configuração das ações anteriormente assumida, entre as 13:00h e as 14:00h com impacto em 10 grupos, o comercializador teria a capacidade de disponibilizar 49,11 kW com o controlo direto de carga e 39,16 kW com a reparametrização do termostato, durante 30 minutos. Por outro lado, para as ações cujo impacto no diagrama de carga é menor, o comercializador poderia dispor de 11,69 kW durante 30 minutos com o controlo direto de carga e 12,88 durante 23 minutos com a reparametrização.

Os resultados comprovam que de maneira a ter um impacto no diagrama de carga diminuto, a capacidade que o comercializador tem em disponibilizar potência desce consideravelmente. No entanto convém não esquecer que o comercializador consegue entregar cerca de 3,5 vezes mais potência à custa de um aumento de 245,29% no FC imediatamente a seguir à desativação da ação. Apesar do aumento verificado, note-se que os valores do FC previamente calculados dizem respeito aos diagramas de carga do conjunto total dos frigoríficos. Ora, do ponto de vista de um comercializador no setor residen-

5.3 Impactos das ações de gestão da procura

cial é possível mitigar os efeitos nefastos da realimentação dado que cada frigorífico está inserido numa instalação própria, onde outras ações poderão ser tomadas localmente no sentido de contrariar esse efeito.

Enquadrando as ações consideradas nesta dissertação no contexto de um comercializador real, o número de cargas considerado no cenário A - 7500 frigoríficos - pode facilmente representar 1% do total de cargas deste tipo que o mesmo detém na sua carteira de clientes. Logo, o cenário E do capítulo 4.2 pode, por exemplo, representar um dos aglomerados de cargas de um comercializador real. Isto significa que considerando as ações tomadas anteriormente (10 grupos afetados, dentro de um período compreendido entre as 13:00h às 14:00h), com menor impacto no diagrama de carga, para o número de cargas do cenário E - 60.000 frigoríficos divididos em 20 grupos - a potência que o comercializador pode disponibilizar para o fornecimento de SS é de 130,9 kW durante 30 minutos com o controlo direto de carga; e 129,1 kW durante 22 minutos com a reparametrização do termostato. Nos anexos B e C estão representados os diagramas de carga admitidos para o cálculo dos valores anteriores, tendo em conta o cenário E, para o controlo direto de carga e para a reparametrização do termostato, respetivamente.

De uma forma resumida, é plausível afirmar que com um desenho adequado das ações de gestão da procura, é possível encontrar um equilíbrio entre a capacidade das cargas participarem em mercados alternativos - potencializando os lucros do comercializador através da disponibilização de energia - e um impacto no diagrama do conjunto total das cargas que não comprometa a instalação do ponto de vista operacional e de gestão.

5. Ações de Gestão da procura

6

Conclusão

6. Conclusão

O estudo levado a cabo ao longo nesta Dissertação comprova, numa primeira abordagem, que a gestão dos recursos do lado da procura é já uma realidade na operação e gestão dos SEE. Em vários mercados, assiste-se à intensificação das participação das cargas com atuação nas mais variadas atividades. Do ponto de vista de um comercializador de energia importa ter a capacidade de reproduzir o desempenho energético das cargas de forma a prever os impactos das ações de gestão da procura. Ora, neste trabalho procedeu-se à implementação de dois MFB cuja capacidade é - de facto - a de reproduzir o comportamento das cargas, baseando-se nos seus fenómenos físicos.

Após implementação dos dois MFB procurou-se comparar os resultados obtidos em termos de tempo de simulação e geração dos diagramas de carga, no sentido de averiguar o desempenho do modelo 3, em relação ao modelo 1, cuja validação teria sido previamente efetuada em vários estudos. Por outro lado, a implementação do modelo 3 surgiu a partir da pesquisa das referências [29] e [30], onde houve o interesse de testar a sua 'implementabilidade'. Ora, os resultados apresentados nesta Dissertação mostram que o modelo 3 foi, para todos os cenários considerados, mais rápido em termos de simulação do que o modelo 1. No entanto, convém lembrar que em determinados cenários, essa diferença não foi - de todo - substancial para cenários que admitiam um menor número de cargas. As maiores diferenças obtidas, nesse aspeto, deram-se nos cenários cujo número de cargas considerado era mais elevado.

No que respeita à construção dos diagramas de cargas, os dois modelos apresentaram diferenças substanciais na representação do desempenho energético de frigoríficos. Os resultados do modelo 3 demonstram que existe uma previsibilidade na representação da potência e da temperatura revelando um comportamento padronizado das cargas. Ora, este modelo mesmo que apresente melhor desempenho em termos de tempo de simulação para um elevado número de cargas, compromete na representação dos diagramas de carga, por ter associada uma linearidade não observada na realidade. No entanto, ao comercializador poderá convir ter um modelo mais rápido mesmo que introduzindo alguma margem de erro.

No capítulo 5, através da construção da curva do lucro que o comercializador obtém na transação comercial, foi possível identificar os potenciais períodos para a implementação das ações de gestão da procura. Nesses períodos, e partindo de MFB anteriormente descritos, foram simuladas ações no sentido de testar a capacidade de o comercializador disponibilizar potência em SS permitindo assim potencializar os seus lucros.

Os resultados obtidos possibilitam concluir que para as ações implementadas o comercializador detém recursos para participar no mercado de SS, sem que com isso os seus clientes percam qualidade no serviço prestado.

6. Conclusão

Bibliografia

- [1] H.-P. Chao and H. G. Hunting, “Designing competitive electricity markets,” *Springer Science + Business Media, LLC*, 1997.
- [2] <http://www.mibel.com>.
- [3] K. Bhattacharya, M. Bollen, and J. Daalder, “Operation of restructured power system,” *Kluwer Academic Publishers, London*, 2001.
- [4] J. McDonald, P. Cappers, D. Callaway, and S. Kilicote, “Demand response providing ancillary services a comparison of opportunities and challenges in the us wholesale market,” *Presented at Grid-Interop, Tx*, 2012.
- [5] E. Hirst and B. Kirby, “Electric-power ancillary services,” *Oak Ridge National Laboratory*, 1996.
- [6] *Ancillary Services, Unbundling Electricity Products – an Emerging Market*. Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, 2004.
- [7] D. Hurley, P. Peterson, and M. Whited, “Demand response as a power system resource. program designs, performance and lessons learned in the u.s.,” *Energy Economics, Inc.*, 2003.
- [8] R. Araújo and J. Saraiva, “Análise dos serviços de sistema em portugal e espanha,” *Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, 2009.
- [9] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, “A summary of demand response in electricity markets,” *Energy Economics, Inc.*, 2003.
- [10] S. Feuerriegel and D. Neumann, “Measuring the financial impact of demand response for electricity retailers,” *Energy Policy*, 2013.
- [11] www.en.wikipedia.org/wiki/Time-based_pricing.

Bibliografia

- [12] *Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving them.* US Department of Energy, Report to the United Congress, 2006.
- [13] K. Herter, P. McAuliffe, and A. Rosenfeld, “An exploratory analysis of california residential customer response to critical peak pricing of electricity,” *Energy*, vol. 32, 2007.
- [14] S. Valero, M. Ortiz, C. Senabre, C. Alvarez, F. Franco, and A. Gabaldon, “Methods for customer and demand response policies selection in new electricity markets,” *IET Gen. Transm. Distrib.*, vol. 1, pp. 104–110, 2007.
- [15] O. Sezgen, A. Goldman, and P. Krishnarao, “Option value of electricity demand response,” *Energy*, vol. 32, pp. 108–119, 2007.
- [16] M. Albadi and E. El-Saadany, “Demand response in electricity markets: an overview,” *IEEE PES GM, Montreal*, 2007.
- [17] http://www.apren.pt/fotos/editor2/2015_comunicado_quercus_e_apren.pdf.
- [18] N. Mahmoudi, T. Saha, and M. Eghdal, “A new demand response sheme for electricity retailers,” 2013.
- [19] http://pt.wikipedia.org/wiki/Contrato_a_termo.
- [20] J. C. Hull, “Options, futures and other derivative,” *Prentice Hall*, 2012.
- [21] B. Kirby and E. Hirst, “Load as a resource in provinding ancillary services,” 1999.
- [22] G. Heffner, C. Goldman, B. Kirby, and M. Kintner-Meyer, “Load providing ancillary services: Review of international experience,” *Lawrence Berkeley Laboratory*, 2007.
- [23] L. Ribeiro, “Identificação de recursos no lado da procura para fornecimento de serviços de sistema,” *Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra*, 2015.
- [24] *Primer on Demand-Side Management With an emphasis on price-responsive programs.* World Bank, 2005.
- [25] G. Barbose, C. Goldman, and C. Neenan, “A survey of utility experience with real time pricing,” *Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-54238*, 2004.
- [26] A. Soares, A. Gomes, and C. Henggeler Antunes, “Categorization of residential electricity consumption as a basis fot the assessment of the impacts of demand response actions,” *Universidade de Coimbra/INESC*, 2013.

- [27] A. Gomes, C. Henggeler Antunes, and J. Martinho, “A physically-based model for simulating inverter type air,” *Universidade de Coimbra*, 2013.
- [28] A. Soares, A. Gomes, and C. Antunes, “Integrated management of residential energy resources,” *EPJ web of conferences*, 2012.
- [29] M. Stadler, W. Krause, M. Sonnesnschein, and U. Vogel, “Modelling and evaluation of control schemes for enhancing load shift of electricity demand for cooling devices,” *Environmental Modelling & Software*, 2008.
- [30] S. Koch, J. L. Mathieu, and D. Callaway, “Modelling and control of aggregated heterogeneous thermostatically controlled loads for ancillary services,” *IEEE*, 2011.
- [31] <http://www.erse.pt>.
- [32] <http://www.omei.es>.
- [33] P. Batista, “Higiene e segurança alimentar no transporte de produtos alimentares,” *Forvisão - Consultoria em Formação Integrada, S.A.*



Caracterização dos grupos de cargas

Tabela A.1: Caracterização das cargas utilizadas na implementação das ações de gestão da procura (cenário A).

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potência (W)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
COP	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tmax (°C)	4	5	4,5	5,5	5	4	5,5	3,5	4,2	5,1
Tmin (°C)	7	8	7,5	7,5	7,5	8	8,5	6,6	7,3	8,3
T⁰ (°C)	20	21	20	21	20	20	20	20	21	19
Consumo (kWh)	128,064	127,337	123,233	127,194	120,924	121,645	114,144	130,631	132,838	109,096

Grupo	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Potência (W)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
COP	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tmax (°C)	4	5	4,5	5,5	5	4	5,5	3,5	4,2	5,1
Tmin (°C)	7	8	7,5	7,5	7,5	8	8,5	6,6	7,3	8,3
T⁰ (°C)	20	21	20	21	20	20	20	20	21	19
Consumo (kWh)	127,050	127,337	122,584	126,482	120,667	123,089	114,203	128,309	131,184	107,785

B

Diagramas de carga com controlo direto de carga

B. Diagramas de carga com controlo direto de carga

No Anexo A estão representados todos os diagramas de carga totais após aplicação dos diferentes cortes em consumidores com tarifa simples.

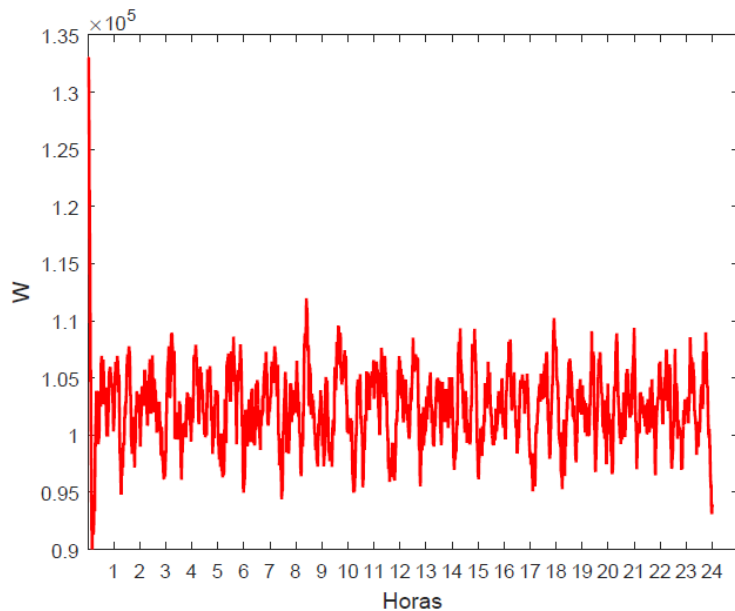


Figura B.1: Diagrama de carga total, sem qualquer corte aplicado.

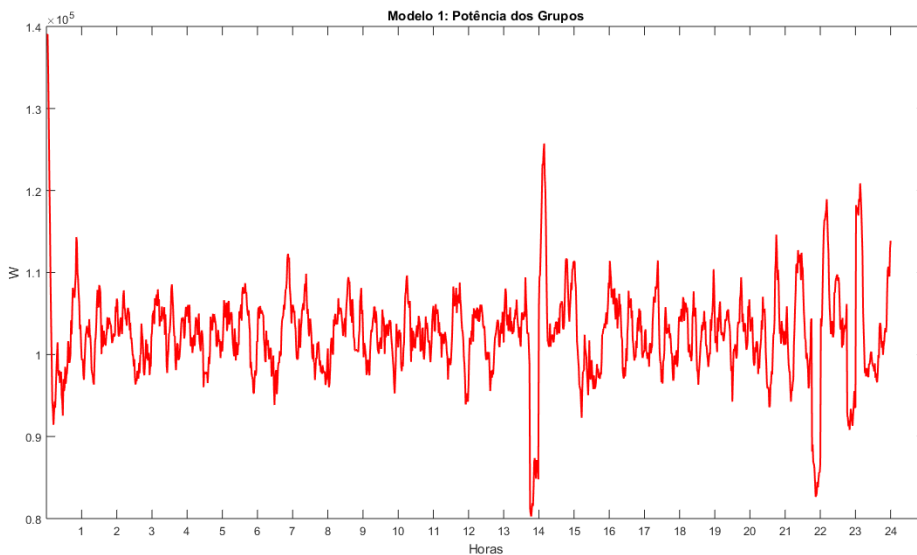


Figura B.2: Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 3 grupos, na tarifa simples.

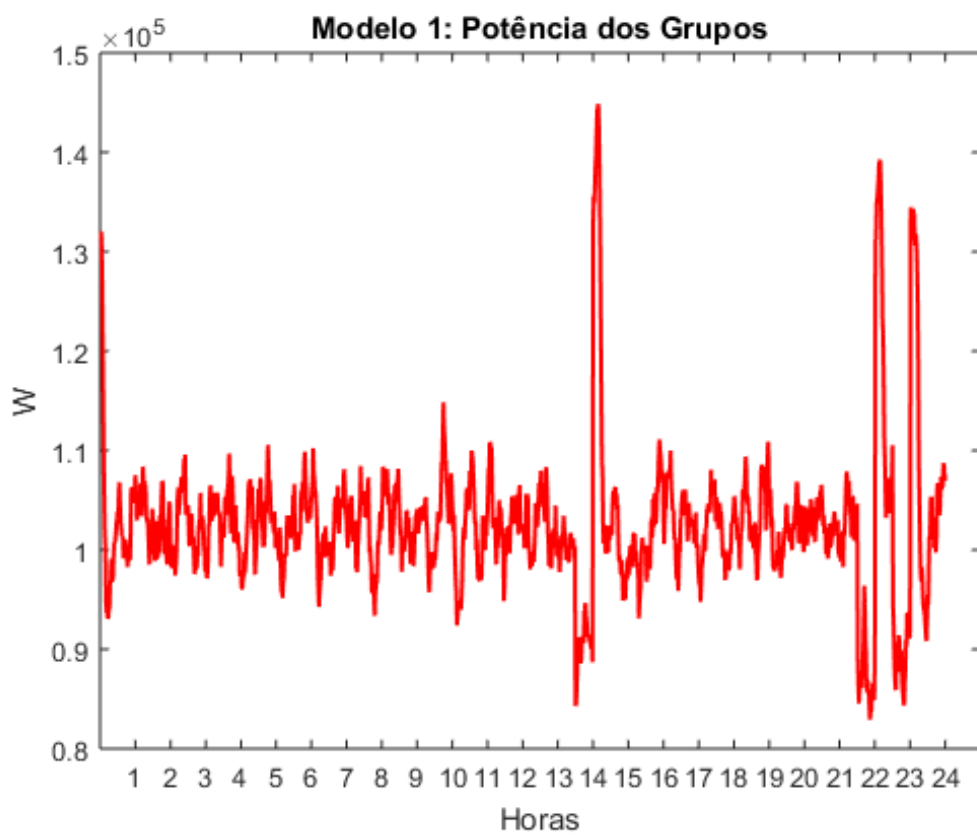


Figura B.3: Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 3 grupos, na tarifa simples.

B. Diagramas de carga com controlo direto de carga

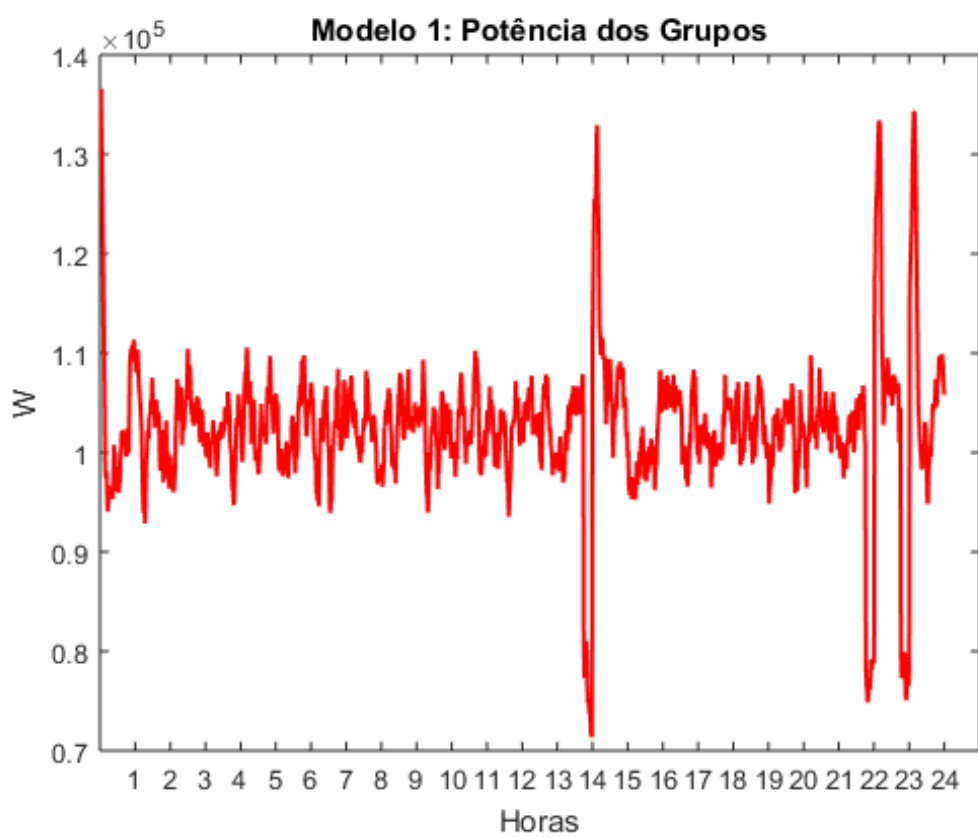


Figura B.4: Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 5 grupos, na tarifa simples.

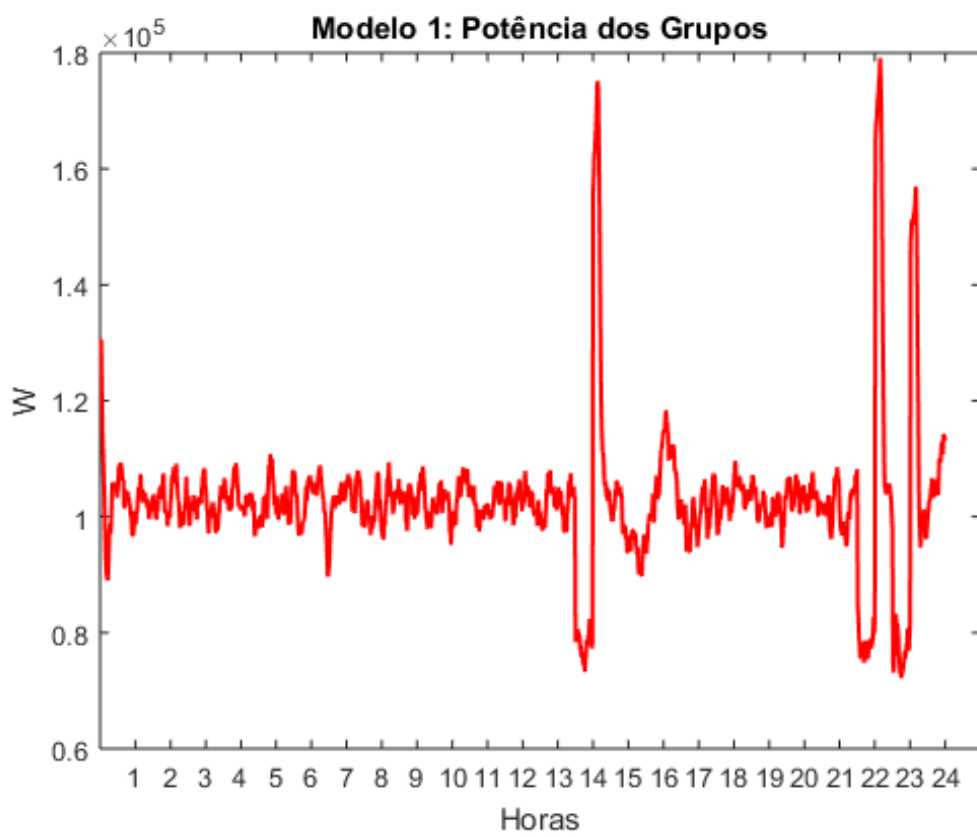


Figura B.5: Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 5 grupos, na tarifa simples.

B. Diagramas de carga com controlo direto de carga

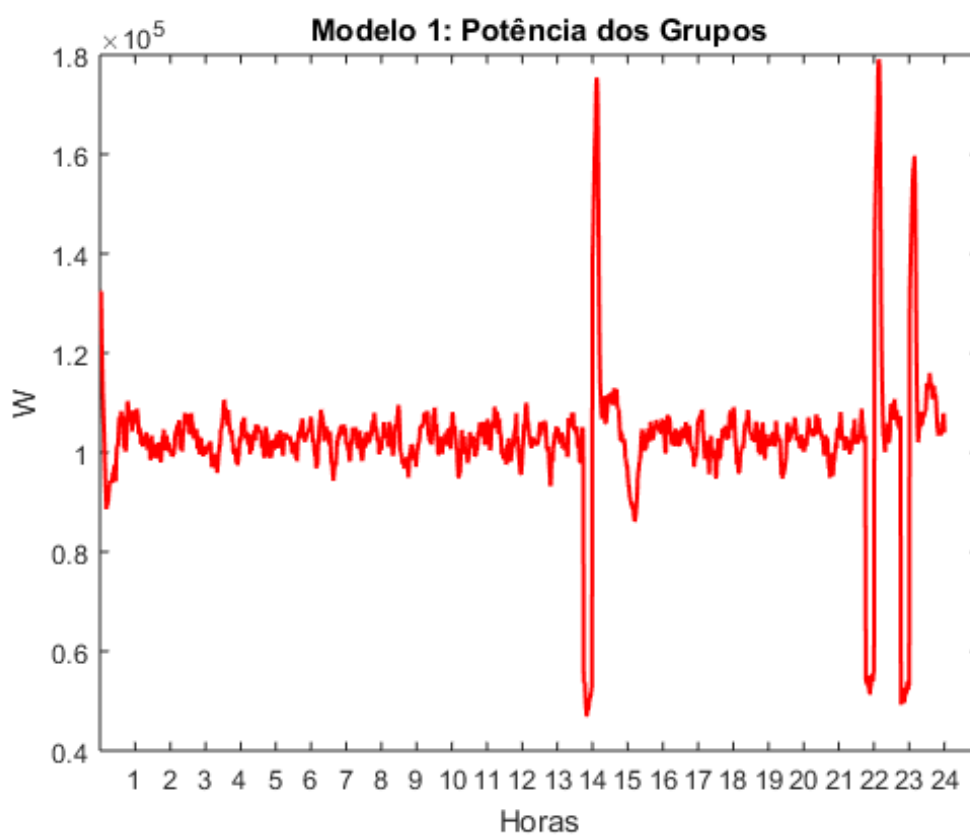


Figura B.6: Diagrama de carga total, com corte de 15 minutos em 10 grupos, na tarifa simples.

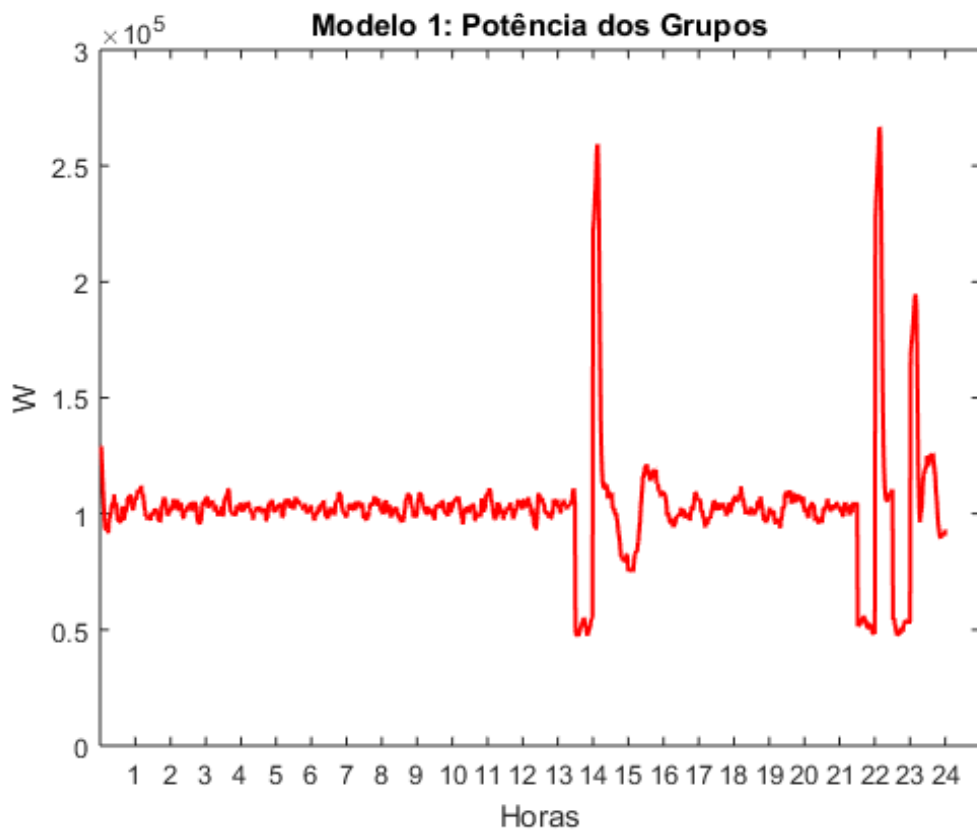


Figura B.7: Diagrama de carga total, com corte de 30 minutos em 10 grupos, na tarifa simples.

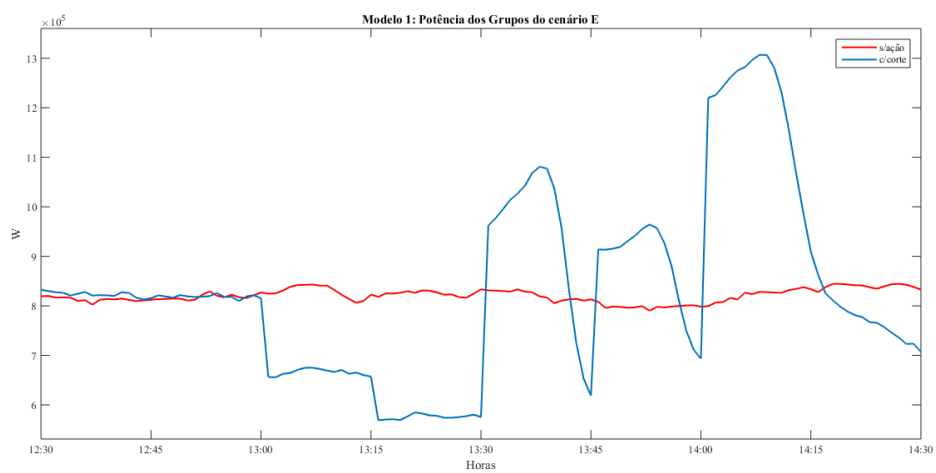
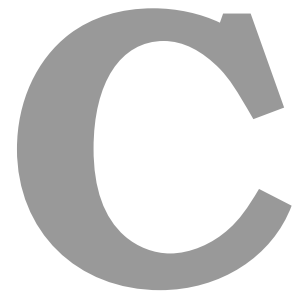


Figura B.8: Diagrama de conjunto de cargas do cenário E, com controlo direto de carga.

B. Diagramas de carga com controlo direto de carga



Diagramas de carga com reparametrização do termostato

C. Diagramas de carga com reparametrização do termostato

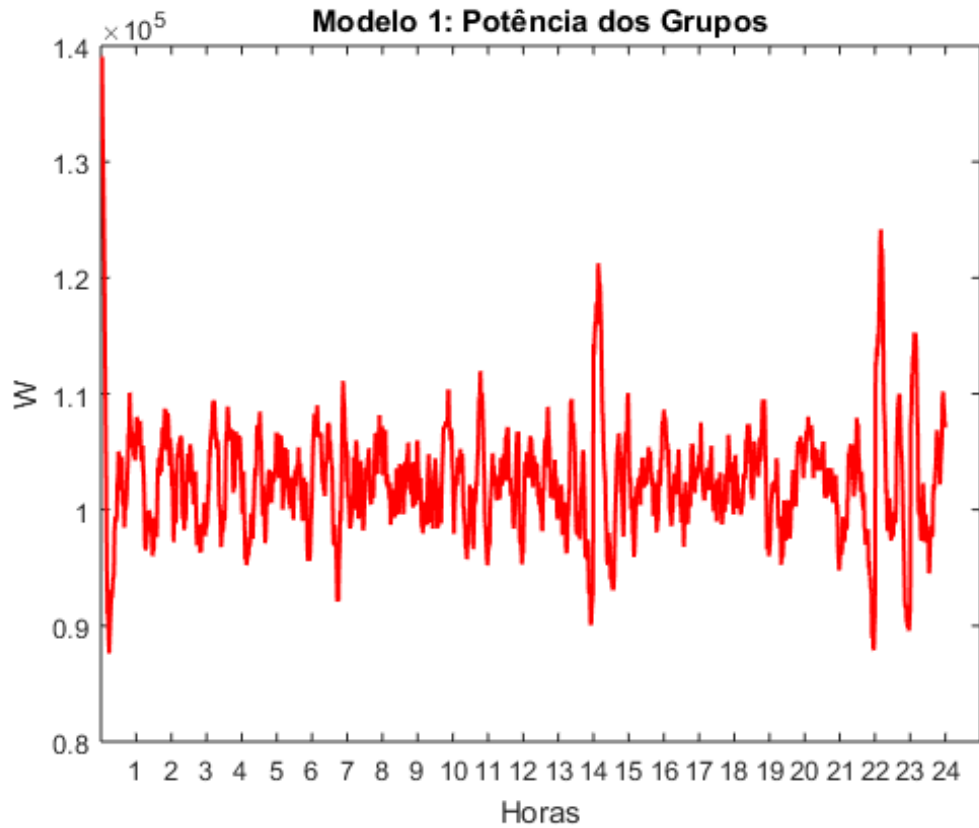


Figura C.1: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 3 grupos, na tarifa simples

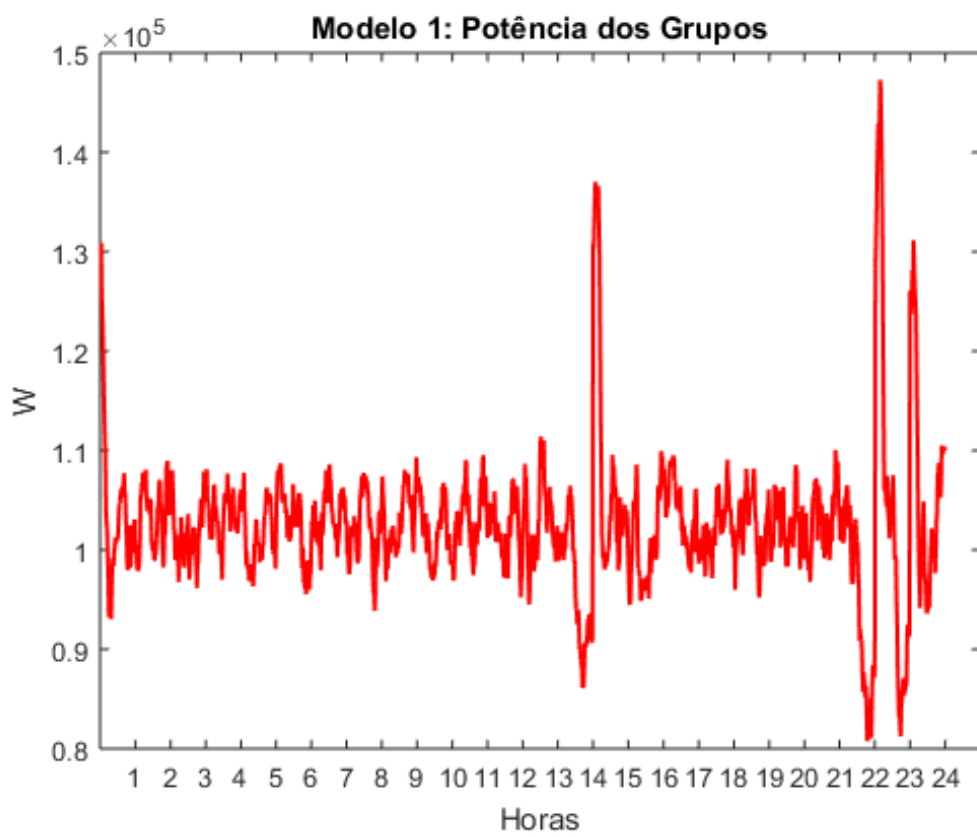


Figura C.2: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 3 grupos, na tarifa simples

C. Diagramas de carga com reparametrização do termostato

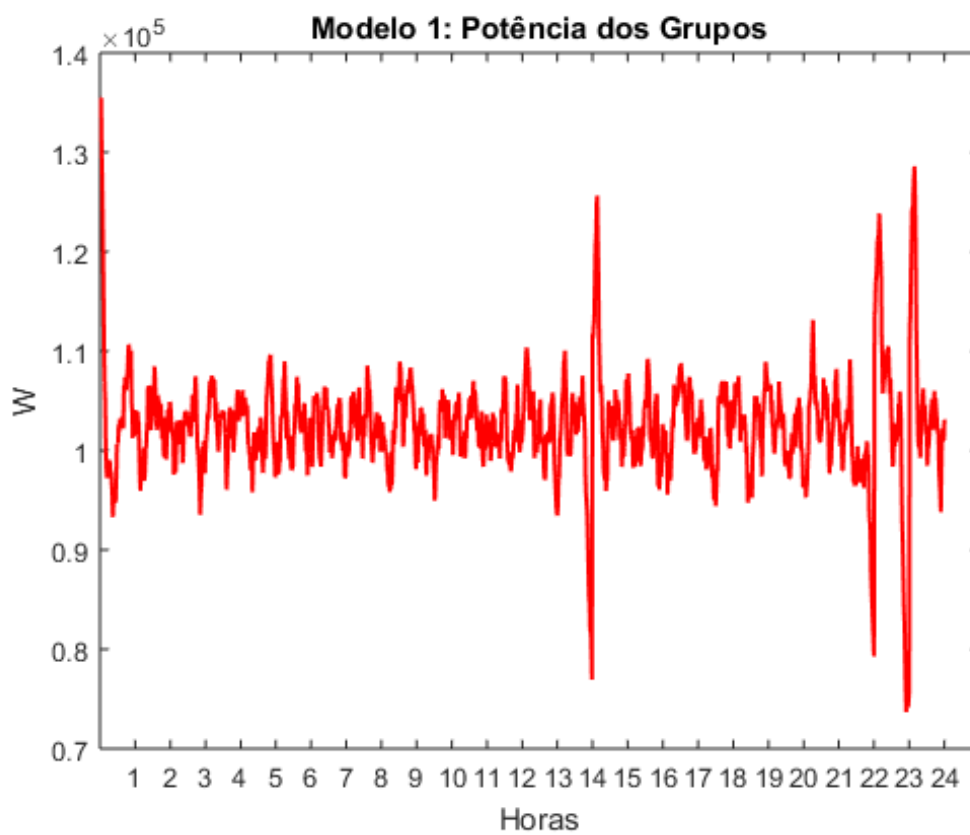


Figura C.3: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 5 grupos, na tarifa simples

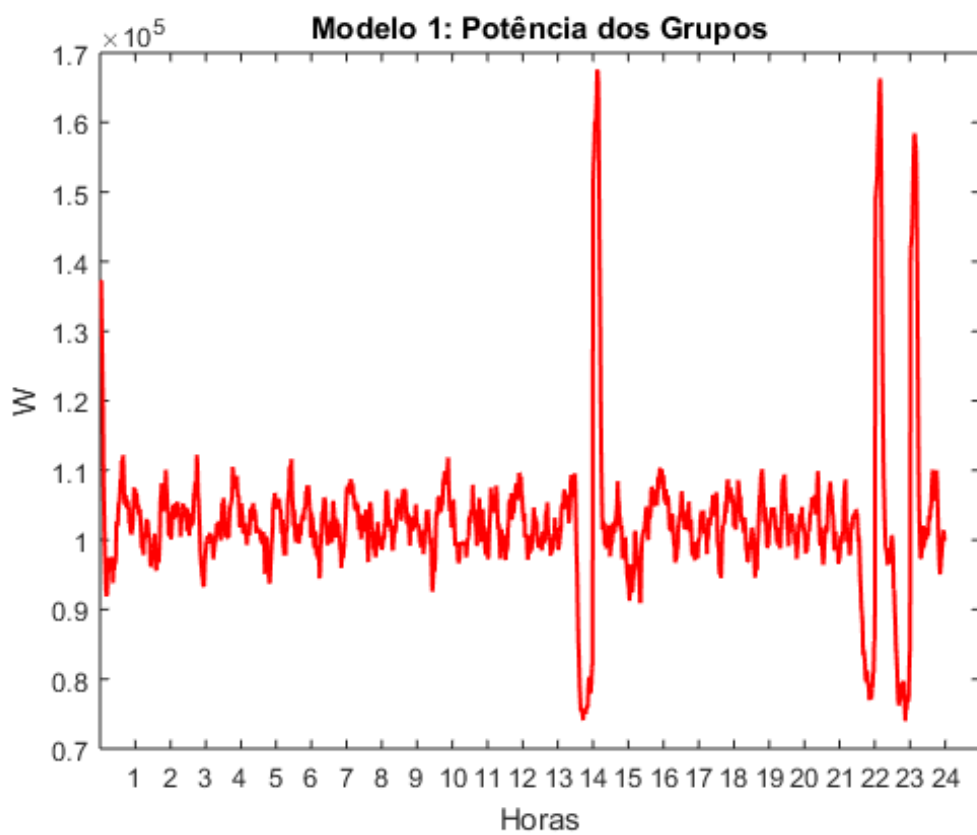


Figura C.4: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 5 grupos, na tarifa simples

C. Diagramas de carga com reparametrização do termostato

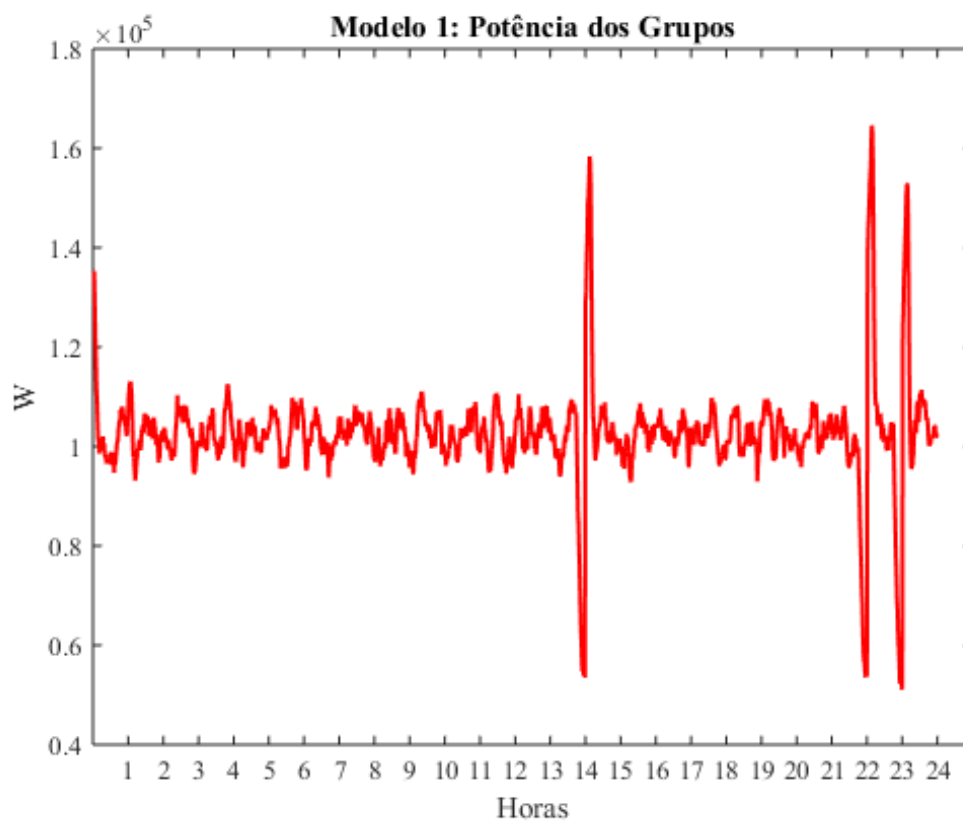


Figura C.5: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 15 minutos em 10 grupos, na tarifa simples

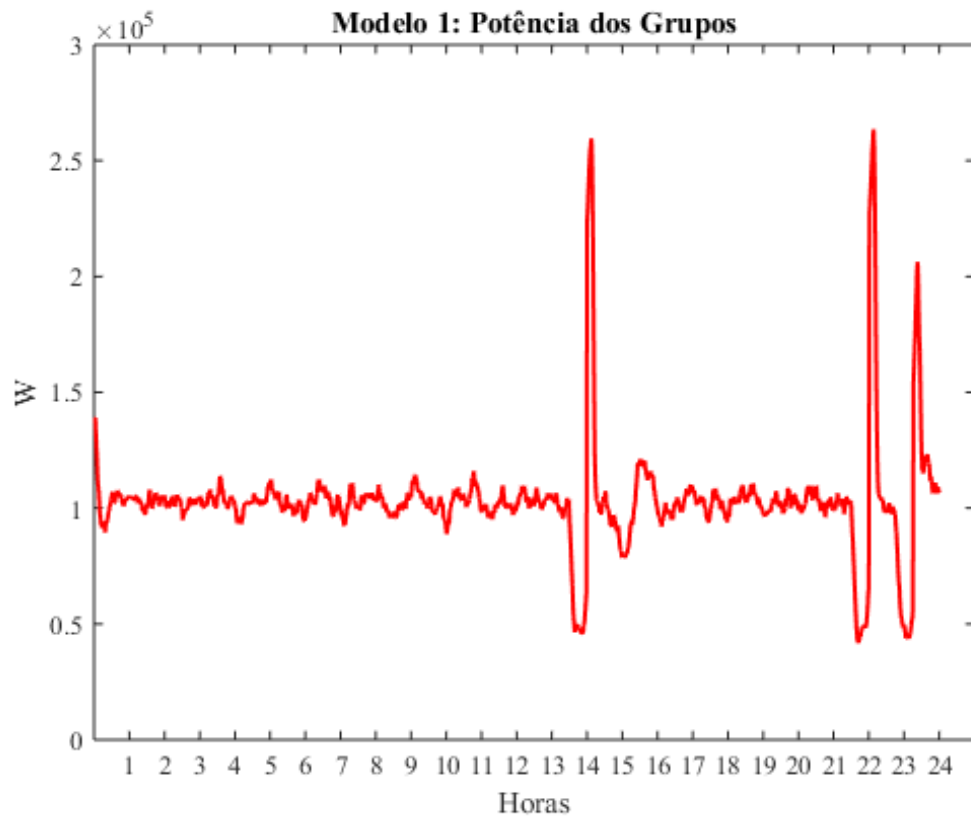


Figura C.6: Diagrama de carga do conjunto total de cargas, com aumentos de 1°C durante 30 minutos em 10 grupos, na tarifa simples

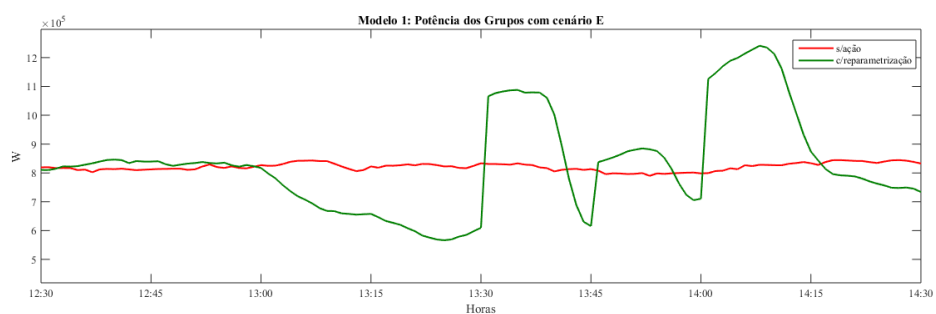


Figura C.7: Diagrama de conjunto de cargas do cenário E, com a reparametrização do termostato.

C. Diagramas de carga com reparametrização do termostato

D

Qualidade de Serviço na Refrigeração

D. Qualidade de Serviço na Refrigeração

Tabela D.1: Tempos máximos acumulados de exposição de alimentos, tendo em consideração a temperatura do produto e as condições potenciais de risco [33].

Condições potenciais de risco	Temperatura do produto (°C)	Tempo máximo acumulado
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
Crescimento de <i>Campylobacter jejuni</i>	30 – 34	48 horas
	Acima de 34	12 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 A, e não-proteolítico B e F	3.3 – 5	7 dias
	6 – 10	>2 dias
	11 – 21	11 horas
	Acima de 21	6 horas
Crescimento de <i>Clostridium perfringens</i>	10 – 12	21 dias
	13 – 14	1 dia
	15 – 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas
Crescimento de esporos patogénicos de <i>Escherichia coli</i>	7 – 10	14 dias
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de <i>Listeria monocytogenes</i>	-0.4 – 5	7 dias
	6 – 10	2 dias
	11 -21	12 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de espécies de <i>Salmonella</i>	5.2 – 10	14 dias
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de espécies de <i>Shigella</i>	6.1 – 10	14 dias
	11 – 21	12 horas
	Acima de 21	3 horas

Crescimento e formação de toxinas por <i>Staphylococcus aureus</i>	7 – 10	14 dias
	11 – 21	12 horas
	Acima de 21	3 horas
Crescimento de <i>Vibrio cholerae</i>	10	21 dias
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas
Crescimento de <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	5 – 10	21 dias
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas
Crescimento de <i>Vibrio vulnificus</i>	8 -10	21 dias
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	2 horas
Crescimento de <i>Yersenia enterocolitica</i>	-1.3 – 10	1 dia
	11 – 21	6 horas
	Acima de 21	2.5 horas

D. Qualidade de Serviço na Refrigeração



Fator de Coincidência na reparametrização do termostato

E. Fator de Coincidência na reparametrização do termostato

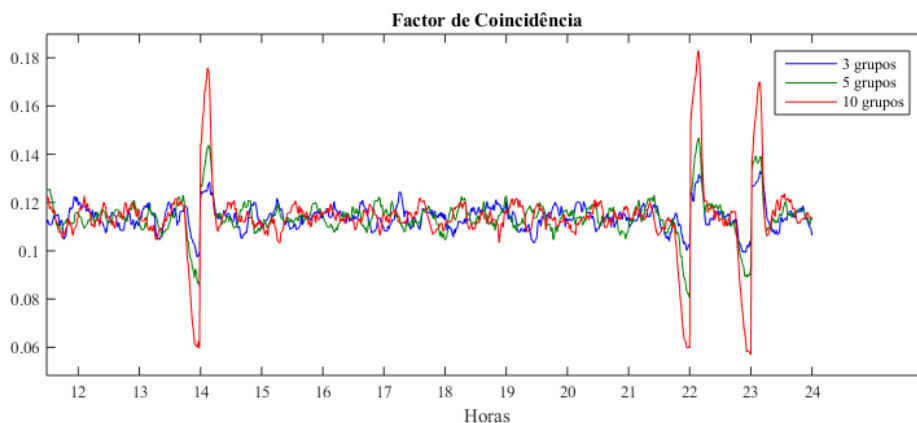


Figura E.1: FC para a reparametrização do limite superior do termostato com duração de 15 minutos.

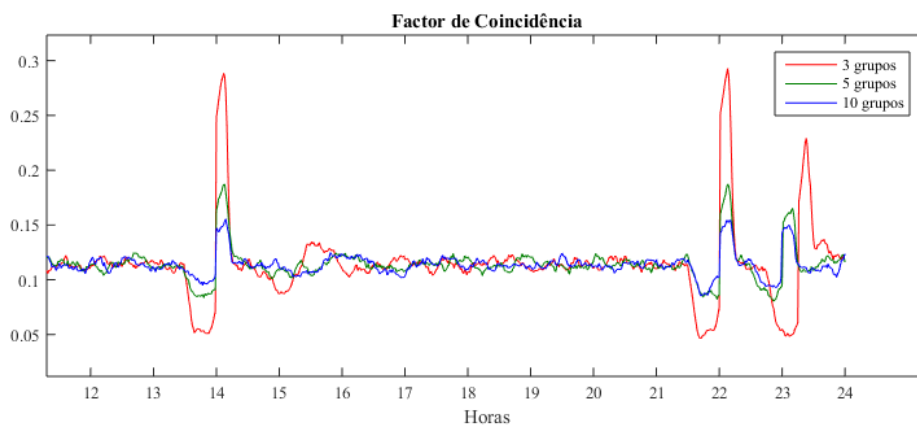


Figura E.2: FC para a reparametrização do limite superior do termostato com duração de 30 minutos.
