



Diogo José Agostinho Amaro

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Gestão Eficiente da Energia Eléctrica no Edifício da Biblioteca da FCT e Negociação de um Novo Contrato em Mercado Liberalizado

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

Orientador: Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes, Investigador no
Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)

Co-orientadora: Doutora Anabela Gonçalves Pronto, Professora na Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL)

Presidente: Doutora Anikó Katalin Horváth da Costa (FCT/UNL)

Arguentes: Doutor João Francisco Alves Martins (FCT/UNL)

Vogais: Doutor Fernando Jorge Ferreira Lopes (LNEG)



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2015

Gestão Eficiente da Energia Eléctrica no Edifício da Biblioteca da FCT e Negociação de um Novo Contrato em Mercado Liberalizado

Copyright © Diogo José Agostinho Amaro, Faculdade de Ciências e
Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*“A essência da negociação não está em concretizar o negócio,
mas em criar relacionamentos duradouros.”*

Ronald Shapiro

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor Fernando Lopes, e à minha professora e co-orientadora, Prof.^a Doutora Anabela Pronto, pela orientação permanente ao longo de todo este percurso, por todo o apoio e contributos científicos prestados e especialmente por toda a dedicação e disponibilidade incansáveis.

À FCT (Faculdade de Ciências e Tecnologia) agradeço todo o percurso académico realizado na instituição e em especial agradeço a oportunidade de realizar este trabalho. Agradeço também toda a simpatia, recetividade e abertura que me foi prestada pela direção da FCT, para o estudo da biblioteca.

Ao LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) por me ter recebido amavelmente e disponibilizado as suas instalações para desenvolver este trabalho.

À minha família, em especial à minha Mãe e ao meu Pai que me apoiam incondicionalmente em todos os desafios e dificuldades, e que acima de tudo sempre acreditaram em mim.

À minha irmã, que apesar de todas as dificuldades e ocupações, está sempre disponível para me ajudar e apoiar e, aos restantes familiares, em particular o meu afilhado João Maria que sempre compreendeu a minha ausência.

A todos os meus amigos e colegas, com quem tive o prazer de partilhar momentos de entusiasmo ao longo destes anos.

Por fim, quero agradecer de uma forma muito especial e amorosa à Filipa, por toda a ajuda e força que me deu para concluir esta dissertação, mas em particular pela compreensão nos momentos em que não estive presente.

Resumo

Nos últimos anos, a energia eléctrica tem vindo a conquistar, um lugar cada vez mais importante na sociedade, sendo nos nossos dias um bem essencial para o funcionamento normal das residências, empresas, indústrias e cidades.

O problema que a presente dissertação analisa é transversal a inúmeros edifícios, que consomem diariamente uma grande quantidade de energia eléctrica, na ordem dos 900 kWh diários, ou mesmo superior. Desta forma, considera-se o consumo de eletricidade, e potenciais ineficiências no seu uso, num edifício universitário, nomeadamente a biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL).

Em termos mais específicos, pretende-se definir um consumo de energia mais eficiente, deslocando consumos de uns períodos horários para outros, onde as tarifas sejam mais económicas, aplicando medidas de participação ativa dos consumidores (PAC). Além disso, pretende-se simular a negociação de um novo contrato bilateral, entre um retalhista e um agente “gestor” da biblioteca da FCT, para obter um contrato melhorado, do ponto de vista do consumidor.

Os principais objetivos desta dissertação são, deste modo, os seguintes: (i) estudar a contratação bilateral de energia em mercados liberalizados, com principal ênfase para a implementação de estratégias de negociação que possibilitem uma participação ativa dos consumidores, (ii) estudar a biblioteca da FCT e propor medidas de eficiência energética, e (iii) simular a negociação de um novo contrato bilateral, recorrendo ao simulador multi-agente MAN-REM.

De forma sucinta, os resultados obtidos, permitem concluir que o consumo energético da biblioteca da FCT pode ser melhorado, e com base nos volumes de energia deduzidos, é possível negociar um novo contrato, mais favorável à FCT.

Palavras-chave: Mercados de energia eléctrica, contratos bilaterais, participação ativa dos consumidores, eficiência energética, negociação bilateral, estratégias de negociação.

Abstract

In recent years, the electric energy has been acquired an important place in our society and is currently essential for the normal functioning of residences, businesses, industries and cities.

The problem that the present dissertation analyses is transversal to many buildings that consume a big quantity of electricity daily, in the order of 900 kWh or higher. In this way, it considers the consumption of electricity and its inefficient use in a public building, namely the library of the Faculty of Science and Technology (FCT) of the Nova University of Lisbon.

Specifically, we intend to define a more efficient consumption of energy, moving consumption from some periods to another ones, where the rate is more economical, applying Demand Response (DR) measures. In addition, we intend to simulate the negotiation of a new bilateral contract between a retailer and the “manager” of the library to get an improved contract (from the perspective of the consumer).

Accordingly, the main objectives of this dissertation are: (i) to study bilateral contracting of energy in liberalized markets, placing emphasis on trading strategies allowing the implementation of DR measures, (ii) to analyse the building of the FCT library and to propose energy efficiency measures, and (iii) to simulate the negotiation of a new bilateral contract using the multi-agent simulator MAN-REM.

The results obtained allow us to conclude that the energy consumption of the FCT library can be improved, and based on the computed volumes of energy, is possible to negotiate a new contract, more favourable to the Nova University of Lisbon.

Keywords: electricity markets, bilateral contracts, demand response, energy efficiency, bilateral contracting, trading strategies.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
Lista de Acrónimos	xxi
Lista de Símbolos	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Aspectos Gerais e Enquadramento	2
1.2 Motivação	4
1.3 Objectivos	5
1.4 Contribuições Originais	6
1.5 Estrutura da Dissertação	7
2 Mercados de Energia Elétrica com Participação Ativa dos Consumidores	9
2.1 Liberalização do Sector Elétrico em Portugal	10
2.2 Mercado Ibérico de Energia Elétrica	13
2.2.1 Cronologia da Criação do MIBEL	13
2.2.2 Objectivos do MIBEL	14
2.2.3 Organização Estrutural do MIBEL	14
2.2.3.1 Mercado Grossista	15
2.2.3.2 Mercado Retalhista	16
2.3 Modelos de Mercado	16
2.3.1 Modelo em Bolsa (ou <i>Pool</i>)	17
2.3.2 Mercado de Contratos Bilaterais	18
2.3.3 Modelo Misto	20
2.4 Participação Ativa dos Consumidores em Mercados de Eletricidade	21
2.4.1 Definição	21
2.4.2 Importância da PAC	22
2.4.3 Benefícios da PAC	22
2.4.4 Programa da PAC	23
2.5 Agentes Computacionais e Mercados Multi-Agente de Energia	26
2.5.1 Agentes Computacionais Autónomos	27

2.5.2	Simuladores Multi-Agente de Mercados de Energia	28
3	Contratação Bilateral de Energia com Participação Ativa dos Consumidores	31
3.1	Introdução	32
3.2	Contratação Bilateral de Energia com Negociação	33
3.2.1	Planeamento e Preparação da Negociação	33
3.2.2	Protocolo de Ofertas Alternadas	34
3.3	Estratégias para a Contratação Bilateral de Energia	36
3.3.1	Estratégias de Concessão Fixa.....	37
3.3.2	Estratégia de Concessão Baseadas na Prioridade dos Itens	37
3.3.3	Estratégias de Concessão Baseadas no Volume de Energia	38
3.4	Estratégias para a Contratação Bilateral de Energia com Participação Ativa dos Consumidores	39
3.4.1	Estratégia “Gestão de Volume”	39
3.4.2	Estratégia “Resposta do Consumidor a Preços e Volumes (RCPV)”	41
4	Caso Prático: A Biblioteca da FCT	45
4.1	Introdução	46
4.2	Edifício: Planta, Equipamentos e Tarifário	46
4.2.1	Planta	47
4.2.2	Sistema Térmico e Equipamentos Elétricos	49
4.2.2.1	Chiller Elétrico	51
4.2.2.2	Caldeira a Gás	52
4.2.2.3	Unidade de Tratamento de Ar (UTA)	52
4.2.2.4	Iluminação	55
4.2.2.5	Computadores	55
4.2.2.6	Outros Equipamentos	55
4.2.3	Tarifários e Dados da Fatura	56
4.3	Análise Térmica	57
4.3.1	Dia de Inverno	59
4.3.2	Dia de Verão	62
4.3.3	Análise Anual	64
4.4	Previsões de Consumos Parciais	65
4.5	Medidas de Eficiência Energética	73
4.6	Contratação Bilateral com Participação Ativa dos Consumidores	79
4.7	Síntese de Resultados	85

5	Conclusões e Desenvolvimento Futuro.....	87
5.1	Conclusão e Síntese de Resultados.....	88
5.2	Desenvolvimento Futuro	89
	Referências.....	93
	Anexos A.....	97
	Anexos B	107

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Modelo em monopólio verticalmente integrado e modelo liberalizado	10
Figura 2.2 – Organização estrutural do SEN em concordância com a legislação de 1995	11
Figura 2.3 – Evolução temporal da abertura do mercado de energia elétrica em Portugal	12
Figura 2.4 – Esquema organizativo do MIBEL	15
Figura 2.5 – Fixação do preço de mercado para um período de tempo	18
Figura 2.6 – Energia negociada em Portugal em de março de 2015	20
Figura 2.7 – Tipos de programas de PAC	24
Figura 2.8 – Agente a atuar sobre um ambiente	27
Figura 3.1 – Diagrama de blocos do processo negocial	35
Figura 3.2 – Função para o cálculo do fator de concessão	39
Figura 3.3 – Esquema da aplicação da estratégia de “Gestão de Volume”	40
Figura 3.4 – Função para o cálculo do parâmetro de volume k	42
Figura 4.1 – Planta referente ao piso -1	47
Figura 4.2 – Planta referente ao piso 0	48
Figura 4.3 – Planta referente ao piso 1	48
Figura 4.4 – Planta referente ao piso 2	49
Figura 4.5 – Planta referente ao piso 3	49
Figura 4.6 – Sistema de arrefecimento	50
Figura 4.7 – Sistema de aquecimento	51
Figura 4.8 – Distribuição de consumo energético para um dia de inverno	60
Figura 4.9 – Perfil de conforto para um dia de inverno	60
Figura 4.10 – Perfis do consumo de gás e eletricidade para um dia de inverno	61
Figura 4.11 – Distribuição de consumo energético para um dia de verão	62
Figura 4.12 – Perfil de conforto para um dia de verão	63
Figura 4.13 – Perfil do consumo de eletricidade para um dia de verão	63
Figura 4.14 – Perfil energético resultante da análise anual ao edifício	64
Figura 4.15 – Perfil de conforto resultante da análise anual ao edifício	65
Figura 4.16 – Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de verão no cenário base	69

Figura 4.17 - Gráfico do consumo diário do piso 2 para um dia de inverno no cenário base.....	71
Figura 4.18 - Gráfico do consumo total da biblioteca para um dia de verão no cenário base.....	72
Figura 4.19 - Gráfico do consumo total da biblioteca para um dia de inverno no cenário base.....	73
Figura 4.20 - Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de verão no cenário eficiente.....	75
Figura 4.21 - Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de inverno no cenário eficiente.....	75
Figura 4.22 - Gráfico dos volumes de energia eficientes para um dia de verão	76
Figura 4.23 - Gráfico dos volumes eficientes para um dia de inverno	77
Figura 4.24 - Gráfico da média dos volumes do cenário base de verão e inverno	79
Figura 4.25 - Gráfico da média dos volumes do cenário eficiente de verão e inverno	80
Figura 4.26 - Janela final do simulador MAN-REM, quando é alcançado o acordo final	83

Lista de Tabelas

Tabela 4.1– Características da central de arrefecimento e aquecimento.....	50
Tabela 4.2 – Características das bombas circuladoras de arrefecimento	51
Tabela 4.3 – Caraterísticas das bombas circuladoras de aquecimento.....	52
Tabela 4.4 – Características detalhadas das oito UTA’s instaladas no edifício.....	53
Tabela 4.5 – Percentagem de ar insuflado por UTA e por local.....	54
Tabela 4.6 – Caraterísticas dos ventiladores de extração	54
Tabela 4.7 – Caraterísticas da iluminação do edifício.....	55
Tabela 4.8 – Número de computadores e sua potência total.....	55
Tabela 4.9 – Caraterísticas de outros equipamentos de relevo	56
Tabela 4.10 – Ciclo semanal opcional para hora legal de verão.....	57
Tabela 4.11 – Ciclo semanal opcional para hora legal de inverno	57
Tabela 4.12 – Consumo base de eletricidade num dia de inverno	61
Tabela 4.13 – Consumo elétrico dividido por períodos horários e respetivos custos.	61
Tabela 4.14 – Consumo base de eletricidade num dia de verão	63
Tabela 4.15 – Consumo elétrico dividido por períodos horários e respetivos custos.	64
Tabela 4.16 – Previsões de consumos do piso 2 (sem UTA’s)	67
Tabela 4.17 – Especificações das UTA’s para as diferentes zonas do piso 2.....	68
Tabela 4.18 – Consumos por hora dos diferentes sectores no piso 2 para um dia de verão.....	68
Tabela 4.19 – Consumos por hora dos diferentes sectores no piso 2 para um dia de inverno.....	70
Tabela 4.20 – Consumos Finais por piso e período horário para um dia de verão no Cenário.....	71
Tabela 4.21 – Consumos Finais por piso e período horário para um dia de inverno no cenário base.....	71
Tabela 4.22 – Análise económica para os consumos de um dia de verão no cenário base.....	72
Tabela 4.23 – Análise económica para os consumos de um dia de no Cenário Base..	73
Tabela 4.24 – Ganho de volumes de energia elétrica entre o cenário base e o cenário eficiente para um dia de verão	76
Tabela 4.25 – Análise económica para os consumos de um dia de verão no cenário eficiente.....	77

Tabela 4.26 – Ganho de volumes de energia elétrica entre o cenário base e o cenário eficiente para um dia de inverno	78
Tabela 4.27 – Análise económica para os consumos de um dia de inverno no Cenário Eficiente	78
Tabela 4.28 – Volumes médios do cenário base e cenário eficiente.....	80
Tabela 4.29 – Novas tarifas e custo associado.....	81
Tabela 4.30 – Resultados obtidos com o simulador para a negociação nº 3.....	82
Tabela 4.31 – Análise Económica da negociação nº 3	84
Tabela 4.32 – Ganho dos volumes na negociação nº 3.....	84
Tabela 4.33 – Análise económica da negociação nº 4.....	85
Tabela 4.34 – Ganho dos volumes da negociação nº 4.....	85
Tabela A.1 – Consumos por hora do piso -1 num dia de verão.....	98
Tabela A.2 – Consumos por hora do piso -1 num dia de inverno.....	99
Tabela A.3 – Consumos por hora do piso 0 num dia de verão	100
Tabela A.4 – Consumos por hora do piso 0 num dia de inverno	101
Tabela A.5 – Consumos por hora do piso 1 num dia de verão	102
Tabela A.6 – Consumos por hora do piso 1 num dia de inverno	103
Tabela A.7 – Consumos por hora do piso 3 num dia de verão	104
Tabela A.8 – Consumos por hora do piso 3 num dia de inverno	105
Tabela A.9 – Ventiladores de Extracção	106
Tabela B.1 – Consumos por hora do piso -1 num dia de verão	108
Tabela B.2 – Consumos por hora do piso -1 num dia de inverno.....	109
Tabela B.3 – Consumos por hora do piso 0 num dia de verão.....	110
Tabela B.4 – Consumos por hora do piso 0 num dia de inverno.....	111
Tabela B.5 – Consumos por hora do piso 1 num dia de verão.....	112
Tabela B.6 – Consumos por hora do piso 1 num dia de inverno.....	113
Tabela B.7 – Consumos por hora do piso 3 num dia de verão.....	114
Tabela B.8 – Consumos por hora do piso 3 num dia de inverno.....	115

Lista de Acrónimos

<i>Acrónimo</i>	<i>Significado</i>
ASM	<i>Ancillary Services Market</i>
AT	Alta Tensão
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BAR	Bombas Circuladoras
BT	Baixa Tensão
CM	<i>Capacity Market</i>
CPP	<i>Critical Peak Pricing</i>
DBB	<i>Demand Bidding/Buyback</i>
DLC	<i>Direct Load Control</i>
ED-CPP	<i>Extreme Day CPP</i>
EDP	Eletricidade de Portugal
EDPP	<i>Extreme Day Pricing Programs</i>
EDR	<i>Emergency Demand Response</i>
EMCAS	<i>Electric Market Complex Adapted System</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
FCT	Fundação para a Ciência e Tecnologia
GECAD	Grupo de Investigação de Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão
IBP	<i>Incentive – Based Programs</i>
ICS	<i>Interruptible/Curtailable Service</i>
JADE	<i>Java Agent Development Framework</i>
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MASCEM	<i>Multi-Agent System that Simulates Competitive Markets</i>
MAT	Muito Alta Tensão
MAN-REM	Multi-Agent Negotiation and Risk Management in Electricity Markets
MEE	Mercado de Energia Elétrica
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
MT	Média Tensão
OM	Operador de Mercado
OMI	Operador de Mercado Ibérico
OMIE	<i>Operador del Mercado Ibérico de Energía – Polo Español</i>
OMIP	Operador do Mercado Ibérico de Energia – Polo Português
OS	Operador de Sistema
PAC	Participação Ativa dos Consumidores
PBP	<i>Price – Based Programs</i>
RCPV	Resposta do Consumidor a Preços e Volumes
PRE	Produção em Regime Especial
RNT	Rede Nacional de Transporte
RTP	<i>Real Time Pricing</i>
SEI	Sistema Elétrico Independente
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SENV	Sistema Elétrico Não Vinculado
SEP	Sistema Elétrico de Serviço Público
SEPIA	<i>Simulator for the Electric Power Industry Agents</i>
SMA	Sistema Multi-Agente
TOU	<i>Time of Use</i>
UNL	Universidade Nova de Lisboa
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

Lista de Símbolos

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
Ag_c	agente comprador
Ag_v	agente vendedor
C	custo do agente Ag_c
C_f	fator de concessão
i	período de uma proposta
k	parâmetro de volume ($k \in [0,1]$)
$P_{i_{anterior}}^c$	preço da proposta anterior de Ag_c , para i
$P_{inicial}^c$	preço inicial do consumidor
$P_{i_{novo}}^c$	preço da nova proposta do agente Ag_c , para o período i
P^v	preço do Ag_v
P_i^v	preço de Ag_v , para o período i
$P_{inicial}^v$	preço inicial do vendedor
T	conjunto de instantes do tempo tn
v	parâmetro de volume de energia
V_f	fator de volume
V_i	volume de energia elétrica de um dado período i
V_i^B	volume base para o período i
V_i^c	volume de Ag_c , para i
$V_{i_{max}}^c$	volume máximo de Ag_c , para i
$V_{i_{min}}^c$	volume mínimo de Ag_c , para i
V_{total}^c	volume total de Ag_c
V_i^E	volume eficiente para o período i

V_{total} volume total de energia

x_i quociente de volumes

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo introduz o contexto do trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação, descrevendo o processo de liberalização de que o setor elétrico tem sido alvo nos últimos anos. De realçar, a comercialização de energia em mercados liberalizados através de mercados em bolsa e principalmente por meio de contratos bilaterais, envolvendo negociação de preços e gestão de volumes de energia. Posteriormente, o capítulo apresenta as motivações que levaram à realização da dissertação, os seus principais objetivos e por fim a sua organização.

1.1 Aspetos Gerais e Enquadramento

Desde as últimas décadas que a energia elétrica tem assumido uma grande importância no dia a dia das empresas e famílias. A eletricidade está na base de uma série de processos da sociedade e tornou-se um bem essencial para o seu funcionamento. Existem quatro grandes atividades no setor elétrico: produção, transporte, distribuição e comercialização. A maioria da energia produzida em Portugal é gerada em centrais termoelétricas com recurso a gás e carvão, em centrais hídricas e em parques eólicos. Uma parte da energia produzida, particularmente energia renovável, é injetada diretamente na rede de distribuição a baixos níveis de tensão.

Nos últimos anos, as empresas de energia elétrica detiveram o controlo de todas as infraestruturas, desde as estações geradoras, passando pelas linhas de transmissão até às redes de distribuição. Era um mercado bastante regulado. Com a liberalização do setor elétrico, verificou-se uma divisão nas infraestruturas, ou seja, ocorreu a separação das funções de geração de eletricidade e de retalho, que o monopólio natural cobria, e surgiram dois novos mercados, em que as diversas entidades se movimentam e negociam: o mercado grossista e o mercado retalhista. Em particular, no mercado de retalho, os retalhistas disputam o aumento de clientes e de lucros e os clientes podem escolher os seus fornecedores de forma a obterem o preço mais económico pela energia consumida.

Para servirem os novos mercados liberalizados, criaram-se diversos tipos de tecnologias que possibilitaram a redução das economias de escala, proporcionando o aproveitamento de recursos renováveis, contribuindo para o crescimento da produção descentralizada e permitindo um contributo significativo na satisfação do consumo de energia elétrica [1].

Uma etapa importante na inovação e eficiência da indústria elétrica foi a introdução de competição na produção de energia, que em teoria permite beneficiar todos os consumidores.

Denomina-se por *preço marginal* a base da remuneração dos preços do sistema, determinada com base na interseção das curvas de oferta e de procura. O operador de mercado analisa as ofertas de venda feitas pelos produtores de energia elétrica e constrói as curvas, com base no preço e no volume de energia a que estão associadas as ofertas.

Na ótica do consumidor final, o paradigma é diferente. Entre os retalhistas e os consumidores finais são estabelecidas negociações contratuais, que têm como objetivo definir o preço e a quantidade de energia a transacionar durante um período

de tempo acordado. A isto designa-se por contratação bilateral de energia. Estes contratos estabelecem o fornecimento de uma determinada quantidade de energia elétrica (volume), num determinado período de tempo a um determinado preço, fixando o preço para o período em questão [2].

O processo de liberalização do setor elétrico verificou-se na maior parte dos países europeus e foi efetuado de forma faseada, tendo começado por incluir os clientes de maior consumo e níveis de tensão mais elevados. Em Portugal, foi seguida uma metodologia semelhante, tendo a abertura do mercado sido efetuada de forma progressiva entre 1995 e 2006. Precisamente, desde 4 de setembro de 2006, todos os consumidores domésticos tiveram a hipótese de escolher o seu fornecedor de energia elétrica. Por sua vez, esta data antecipa o cumprimento da Diretiva Europeia n.º 2003/54/CE, que estabelecia que a partir de 1 de julho de 2007 todos os clientes de energia elétrica poderiam escolher livremente o seu fornecedor. Agregada à liberalização, e construção do mercado interno de eletricidade, está previsto um aumento da concorrência, com ênfase ao nível dos preços e da melhoria da qualidade do serviço [3].

É neste contexto de liberalização do setor elétrico em Portugal e de um aumento da concorrência que surge a presente dissertação¹. Com a evolução que este ramo de atividade tem sofrido nos últimos anos, e com o aumento de produtores e comercializadores, verificou-se um aumento das exigências e da competitividade das empresas que nele operam. Desta forma, é necessário procurar soluções que conduzam a um aumento da eficiência, e dentro da oferta que o mercado proporciona, procurar fornecedores que melhor satisfaçam as necessidades de cada consumidor.

De forma concreta, salienta-se que a dissertação diz respeito aos seguintes aspetos, que nela se complementam: (i) contratação bilateral de energia em mercados liberalizados; (ii) eficiência energética, tendo sido estudado de forma detalhada o estudo de um edifício universitário, nomeadamente a biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) e (iii) negociação de um novo contrato entre um cliente responsável pela gestão da biblioteca da FCT e um retalhista, envolvendo uma troca iterativa de ofertas e contraofertas relativas ao preço e ao volume de energia.

¹ A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto MAN-REM: Negociação Multi-Agente e Gestão de Risco em Mercados de Energia Elétrica (FCOMP-01-0124-FEDER020397), financiado pelo FEDER, através do programa "COMPETE – Programa Operacional Temático Fatores de Competitividade" e pela "FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia".

1.2 Motivação

O sistema elétrico nacional e internacional continua em constante evolução, tendo aumentado substancialmente a sua complexidade. Reflexo disso, é a reestruturação do setor elétrico que permitiu a evolução para um mercado liberalizado. Desta forma, torna-se crucial compreender as interações entre os participantes no mercado para melhorar o sistema a nível técnico, económico e ambiental. A liberalização do mercado traz consigo a competição entre produtores de energia, sendo esta uma forma de melhorar a eficiência do fornecimento de eletricidade. Havendo competição, é com naturalidade que surge a inovação por parte dos produtores, que conduzirá diretamente à diminuição de preços entre concorrentes de mercado. Assim, quem poderá sair beneficiado de todo este processo são os consumidores finais, que irão usufruir de maior oferta de compra e eventualmente de melhores preços.

A primeira motivação do trabalho assenta na necessidade de aprofundar e implementar a negociação bilateral em mercados de energia, com o objetivo de ajudar a solucionar problemas que a liberalização do setor coloca aos seus intervenientes, mais precisamente aos agentes retalhistas e aos agentes consumidores de energia.

Deste modo, a segunda motivação do trabalho assenta na necessidade de adotar estratégias de negociação que conduzam ao uso eficiente de energia como, por exemplo, a participação ativa dos consumidores (PAC). As medidas de PAC em mercados competitivos de energia elétrica são essenciais para melhorar a fiabilidade do sistema e a redução de custos, que conseqüentemente, ajudarão a diminuir a volatilidade dos preços.

A terceira motivação reside no estudo da biblioteca da FCT, um edifício público que foi colocado à disposição deste projeto pela direção da FCT e que foi alvo da identificação de medidas de eficiência energética. Como é um edifício muito frequentado diariamente e onde é despendida muita energia elétrica, assumiu especial entusiasmo na procura de medidas de eficiência energética que possam ser implementadas.

A necessidade de usar e testar os modelos computacionais existentes, com o intuito de desenvolver aspetos que os melhorem, afigura-se também como uma motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Nesta dissertação, este é um ponto fundamental, porque mais do que criar novos modelos computacionais, ir-se-á usar os já existentes, testando-os na modelação de um edifício real.

A última motivação consiste na expectativa de num futuro próximo a direção da FCT poder usar para benefício próprio, no terreno, mais precisamente na sua biblioteca, as conclusões retiradas do presente estudo.

1.3 Objetivos

Os principais objetivos da dissertação são os seguintes:

- Estudo da dinâmica da contratação bilateral de energia, com particular detalhe para a participação ativa dos consumidores (PAC) no processo negocial;
- Adoção do modelo de negociação desenvolvido por F. Lopes, N. Mamede, Q. Novais e H. Coelho em [4] e estendido por F. Lopes e H. Coelho em [5];
- Estudo e adoção de estratégias de negociação que envolvam uma participação ativa dos consumidores [6], [7];
- Desenvolvimento de uma nova estratégia para negociação com participação ativa dos consumidores;
- Estudo detalhado do edifício da biblioteca da FCT, com particular incidência para o equipamento elétrico, e propor medidas eficientes em termos de consumo elétrico;
- Estudo do consumo de todos os aparelhos elétricos e sua posterior passagem para volumes por período horário diário;
- Identificação de medidas eficientes em termos do consumo diário normal de energia;
- Adoção do simulador multiagente para a contratação bilateral de energia, desenvolvido no âmbito do projeto MAN-REM;
- Simulação de uma negociação bilateral entre um cliente responsável pela gestão da biblioteca da FCT e um retalhista, com o intuito de obter um novo contrato, mais favorável ao cliente em termos económicos, e tendo no ponto de partida a tarifa em vigor (para a biblioteca da FCT);
- Aplicar estratégias de negociação, com e sem participação ativa dos consumidores, incluindo a nova estratégia desenvolvida no âmbito desta dissertação, na negociação do novo contrato.

1.4 Contribuições Originais

A presente dissertação apresenta várias contribuições, das quais se destacam:

- Estudo detalhado do edifício da biblioteca da FCT. O estudo teve como principal objetivo conhecer pormenorizadamente o edifício, nomeadamente a forma como os recursos energéticos estão a ser utilizados. Exemplo disso foi o tipo de equipamentos existentes, o número de horas de funcionamento e o seu consumo energético;
- Identificação de medidas de eficiência energética e de PAC. Por meio do estudo aprofundado do edifício da biblioteca, foram identificados melhoramentos no funcionamento do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Consequentemente, foram concebidas medidas de eficiência energética e PAC, afim de serem implementadas e avaliadas no caso de estudo, com o intuito de melhorar (diminuir) o consumo energético do edifício;
- Criação de uma nova estratégia de contratação bilateral de energia e a sua inclusão no simulador MAN-REM. No seguimento do trabalho desenvolvido, surgiu a necessidade de criar uma nova estratégia de negociação para dar resposta às necessidades do estudo prático. A estratégia dá a possibilidade de negociar melhores preços pelo maior volume de energia elétrica contratada;
- Simulação de um novo contrato para o edifício da biblioteca. Mais concretamente, simulação de várias negociações bilaterais, com recurso a valores reais da biblioteca, os quais permitiram testar o comportamento de diversas estratégias de contratação bilateral, com e sem PAC, e obter contratos mais vantajosos. As negociações foram efetuadas com recurso ao simulador multi-agente MAN-REM.

Durante a realização do trabalho surgiu a oportunidade de publicar um artigo que refletisse o estudo do caso prático. O artigo intitula-se “Electricity Usage Efficiency in Large Buildings: DSM Measures and Preliminary Simulations of DR Programs in a Public Library”, foi publicado pela Springer International Publishing Switzerland 2015, J. Banjo et al. (Eds): PAAMS 2015 Workshops, CCIS 524, pp. 249-259, e tem como autores parte da equipa do projeto MAN-REM, e o autor da presente dissertação [8]. O artigo pretende constituir uma mais valia, dado que os resultados obtidos até à sua publicação eram relevantes e constituíam uma nova forma de

abordar a problemática da contratação bilateral de energia envolvendo negociação de preços e volumes.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos. O atual capítulo apresenta uma introdução sucinta dos aspetos gerais da dissertação, mostrando os principais temas abordados e revelando as motivações e os objetivos que se pretendem atingir.

O Capítulo 2 efetua o enquadramento teórico do trabalho: apresenta uma descrição geral dos mercados de energia elétrica (MEE), explicando as suas características, os seus principais constituintes e os seus principais modelos, e dando especial ênfase à contratação bilateral de energia. É também efetuada uma descrição do processo de liberalização do setor elétrico português, bem como a apresentação do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), e algumas das etapas da sua implementação na Península Ibérica.

No Capítulo 3 é feita a descrição pormenorizada da contratação bilateral de energia entre duas entidades, um retalhista e um consumidor e são apresentadas várias estratégias associadas à eficiência energética, com destaque para as estratégias de corte e de deslocação de consumos de energia elétrica. Por último, é descrita a PAC, onde é apresentada a sua definição, as várias formas de implementação, os seus benefícios para os consumidores e a interligação existente com os contratos bilaterais.

O Capítulo 4 inicia-se com a descrição do edifício da biblioteca da FCT, que servirá de base ao estudo do caso prático. Nomeadamente, escreve-se a constituição de todos os pisos, equipamentos instalados (aquecimento, ventilação, ar condicionado, computadores pessoais e ventiladores) e iluminação artificial. O capítulo continua com o estudo aprofundado do edifício, onde se inclui a análise térmica, que irá dar origem aos consumos parciais de energia elétrica, tendo por base o tarifário contratado. Por fim, são apresentadas medidas de gestão da procura e eficiência energética que vão ao encontro das necessidades do edifício e que darão origem à realização de uma contratação bilateral com PAC, que conduzirá a um novo contrato de energia.

Por último, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado. O capítulo enumera também algumas sugestões e melhoramentos que podem ser colocados em prática na gestão do edifício e apresenta propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Mercados de Energia Elétrica e Sistemas Multi-Agente

Um dos alvos principais deste trabalho consiste na simulação do mercado de energia elétrica liberalizado com base na participação ativa dos consumidores.

O presente capítulo começa por apresentar a liberalização do setor elétrico em Portugal, descrevendo o Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) e alguns modelos de mercado, dando especial destaque ao modelo de contratos bilaterais. De seguida, apresenta-se a participação ativa dos consumidores, a sua definição, importância que tem conquistado e os benefícios que pode trazer a sua implementação. Por fim são abordados os mercados multiagente de energia e descritos alguns dos simuladores existentes.

2.1 Liberalização do Setor Elétrico em Portugal

O setor elétrico, desde a sua implementação em 1975, tem sofrido profundas alterações na sua estrutura e funcionamento. No início, o setor baseava-se na atribuição de concessões a entidades privadas. Posteriormente, surgiu a primeira reestruturação e o setor foi nacionalizado, o que originou a adoção por Portugal de uma estrutura verticalmente integrada (figura 2.1), funcionando como um monopólio. Criou-se a Eletricidade de Portugal – Empresa Pública (EDP), que anos mais tarde daria origem à atual EDP – S.A., empresa responsável pela produção, transporte, distribuição e relação com os clientes finais.

A 27 de maio de 1988, com a publicação do Decreto-Lei nº 189/88, foram sentidos os primeiros sinais de mudança, com a criação do conceito de Produção em Regime Especial (PRE). Este conceito impunha à EDP a aceitação de energia proveniente da produção independente, utilizando fontes de energia renovável e cogeração [1].

Em 1995, foram publicados os Decretos-Lei 182 e 188, dando origem à primeira reforma no setor elétrico nacional. Neles estava definido o Sistema Elétrico Nacional (SEN), através do Sistema Elétrico de Serviço Público (SEP) e do Sistema Elétrico Não Vinculado (SENV).

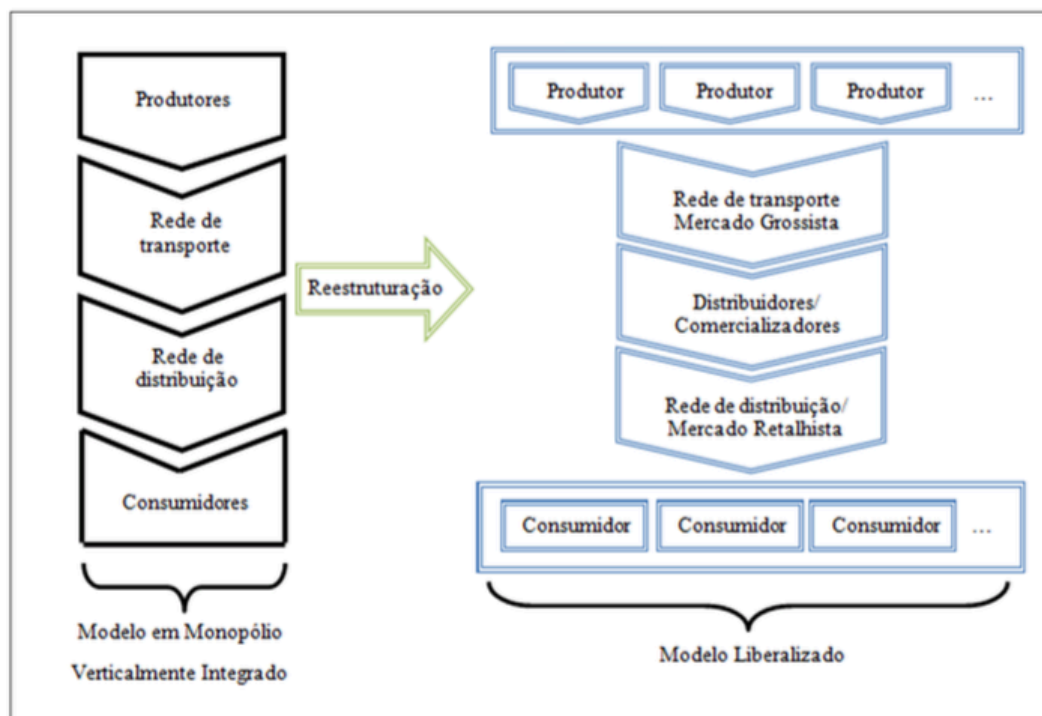


Figura 2.1 - Modelo em monopólio verticalmente integrado e modelo liberalizado [2].

Desta forma, o setor elétrico ficava estruturado num sistema público, sendo explorado através do mercado [3]. Posteriormente, o SEN (figura 2.2) deu origem ao Sistema Elétrico Independente (SEI), sendo todas as entidades reguladas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), que foi igualmente criada em 1995. O SEP passou a abranger todos os produtores, clientes e distribuidores vinculados e ainda a Rede Nacional de Transporte (RNT). Por sua vez, o SEI passou a incluir os produtores, distribuidores e clientes do SENV e a PRE [4].

Sinteticamente, o princípio básico do SEN assentava na coexistência de um mercado regulado e um mercado liberalizado, o qual permitia aos agentes económicos criar relações contratuais com o comercializador regulado, desde que fossem respeitadas as regras definidas pela ERSE, podendo igualmente serem feitas negociações com os comercializadores do mercado liberalizado.

O SEN pode ser dividido em quatro grandes atividades: produção, transporte, distribuição e comercialização, a que se junta a operação dos mercados organizados de eletricidade, as quais são por norma recriados de forma independente.



Figura 2.2 – Organização estrutural do SEN em concordância com a legislação de 1995 [5].

A liberalização do setor elétrico em Portugal seguiu a mesma tendência que a maioria dos países europeus, uma vez que foi realizada por etapas, sendo em primeiro lugar direcionada para grandes consumidores, com níveis de tensão

elevados. A abertura do mercado foi feita de forma gradual, tendo sido iniciada em 1995 para os grandes consumidores industriais, e progressivamente estendida a todos os consumidores em muito alta, alta, média e baixa tensão especial (potência contratada superior a 41,4 kW), como ilustra a figura 2.3.

Neste processo, a criação do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), surge em novembro de 2001, resultante de um processo de cooperação entre os governos de Portugal e Espanha, com o objetivo de promover a integração dos sistemas elétricos dos dois países. A entrada oficial do MIBEL em funcionamento nos dois países ocorre a 1 de julho de 2007, através da imposição feita pela Diretiva n.º2003/54/CE.

A data que marca a conclusão do processo de transição para a totalidade da liberalização do mercado é 4 de setembro de 2006, separando as atividades de distribuição e comercialização de energia. A EDP – Distribuição continua como responsável pela distribuição da eletricidade, ao contrário da comercialização, que passa a ser realizada pelos agentes que operam no SENV, bem como pelo comercializador de último recurso. A EDP Serviço Universal, por sua vez, fornece aos clientes tarifas reguladas pela ERSE. Desta forma, todos os consumidores em Portugal Continental começaram a poder selecionar livremente o seu fornecedor de energia elétrica. Quanto aos produtores de energia, foi-lhes dada a oportunidade de fornecer energia no mercado livre competitivo, para além de poderem realizar contratos bilaterais com distribuidores e comercializadores [6].

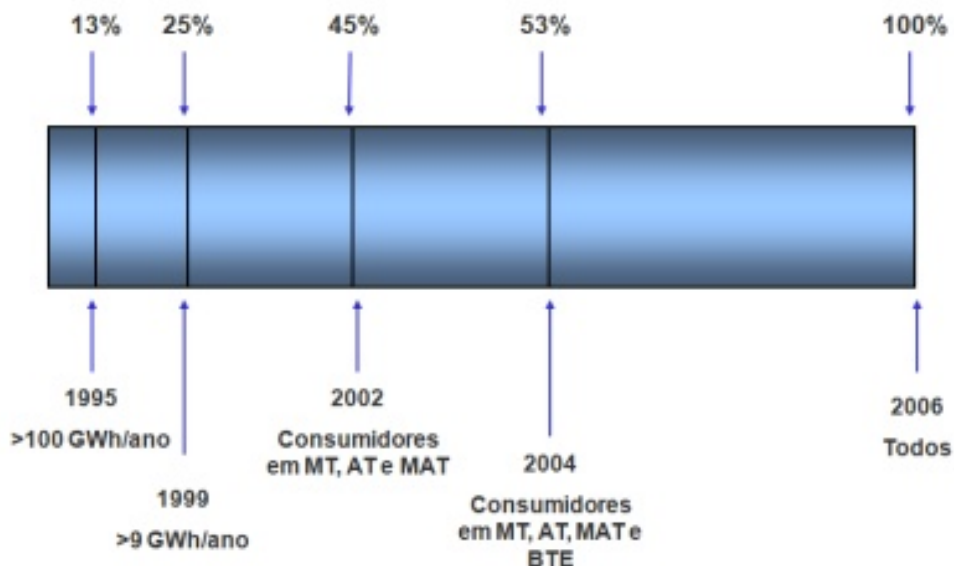


Figura 2.3 – Evolução temporal da abertura do mercado de energia elétrica em Portugal [7].

2.2 Mercado Ibérico de Energia Elétrica – MIBEL

Nos últimos anos, tem-se assistido por toda a Europa a um processo de liberalização dos mercados de energia elétrica. Para a União Europeia, é de extrema importância que todos os países progridam no sentido de ter um mercado europeu integrado. Deste modo, muitos têm sido os esforços realizados com esse intuito, dos quais se destaca a evolução que vem sendo feita nos vários mercados regionais. O MIBEL é exemplo disso, e resulta dos esforços entre Portugal e Espanha, com o propósito de promover a integração dos sistemas elétricos dos dois países. Desta forma, foi dado um contributo significativo, não só para a execução do mercado Ibérico de energia elétrica, bem como a nível europeu, para a criação do mercado interno de energia [8].

2.2.1 Cronologia da Criação do MIBEL

Foram vários os acontecimentos ao longo do processo de desenvolvimento do MIBEL, destacando-se:

- **Novembro de 2001** – celebrado o protocolo de colaboração entre Portugal e Espanha para a criação do mercado Ibérico de eletricidade;
- **Outubro de 2004** – assinatura do acordo entre Portugal e Espanha em Santiago de Compostela;
- **Novembro de 2006** – XXII.^a Cimeira Luso-Espanhola de Badajoz onde foi definido o plano de compatibilização regulatória;
- **Julho de 2007** – integração dos dois mercados liberalizados através da data imposta pela Diretiva n.º 2003/54/CE;
- **Janeiro de 2008** - assinatura em Braga do acordo que evoca o Acordo de Santiago (novembro de 2006);
- **Janeiro de 2009** – XXIV.^a Cimeira Luso-Espanhola em Zamora, de onde emergiu o acordo entre os dois governos da constituição do operador de Mercado Ibérico, com a junção dos dois organismos operadores;
- **Maior de 2014** - integração do MIBEL nos restantes mercados europeus de eletricidade.

2.2.2 Objetivos do MIBEL

O MIBEL foi criado com os objetivos de [9]:

- Beneficiar os consumidores de eletricidade dos dois países, através do processo de integração dos respetivos sistemas elétricos;
- Estruturar o funcionamento do mercado com base nos princípios da transparência, livre concorrência, objetividade, liquidez, autofinanciamento e auto-organização;
- Favorecer o desenvolvimento do mercado de eletricidade de ambos os países, com a existência de uma metodologia única e integrada de definição dos preços de referência para toda a Península Ibérica;
- Permitir a todos os participantes o livre acesso ao mercado, em condições de igualdade de direitos e obrigações, transparência e objetividade;
- Favorecer a eficiência económica das empresas do setor elétrico, promovendo a livre concorrência entre as mesmas.

2.2.3 Organização Estrutural do MIBEL

Para que o mercado único fosse bem sucedido, relativamente ao cumprimento dos objetivos definidos pelo MIBEL, foram várias as dificuldades no processo de incorporação dos dois mercados, das quais se destacam: (i) a organização do mercado, (ii) a diferente regulamentação existente entre Portugal e Espanha, e (iii) a compra de determinada quantidade de energia num país, tendo de se efetuar a sua venda noutro. Desta forma, a constituição do MIBEL centra-se numa bolsa gerida pelo Operador de Mercado Ibérico (OMI), sendo esta composta por dois polos: o polo português (OMIP), para o mercado a prazo, e o polo espanhol (OMIE), para os mercados diário e intradiário.

Resumidamente, o mercado Ibérico assenta em ofertas feitas diariamente, em que os produtores de energia são remunerados com base no preço marginal, tendo a possibilidade de contrair contratos bilaterais. Para a regulação dos preços nos dois países, dado que existem diferenças nesse campo, a ERSE é a entidade que fixa as tarifas em Portugal, sendo a CNE (Comisión Nacional de Energia) em Espanha, a qual necessita de aprovação por parte do governo [10].

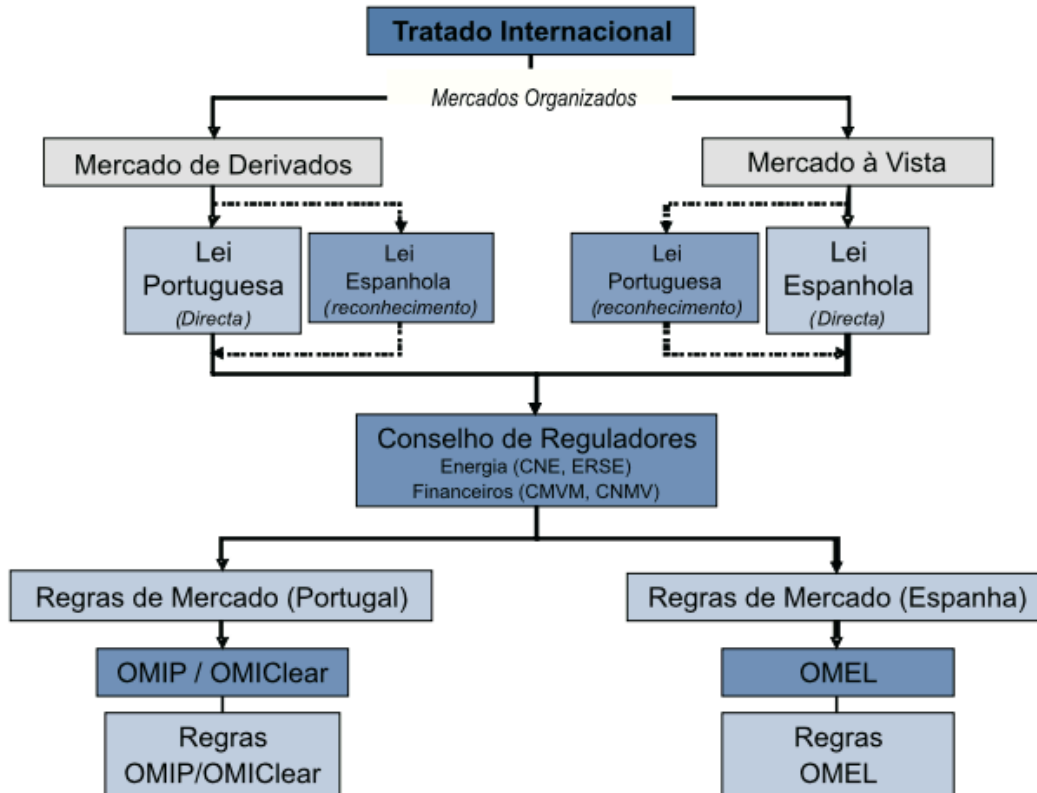


Figura 2.4 – Esquema organizativo do MIBEL [11].

Deste modo, para melhor perceber a organização do MIBEL (figura 2.4), é possível dividir o mercado de eletricidade em dois grupos: o *mercado grossista*, associado à atividade de produção de energia elétrica, onde os produtores de energia garantem a sua disponibilidade e os agentes compradores obtêm essa mesma energia elétrica, e o *mercado retalhista*, agregado ao processo de comercialização de energia, no qual os agentes comercializadores retalhistas disputam entre si para assegurar o fornecimento aos consumidores finais.

2.2.3.1 Mercado Grossista

O mercado grossista do MIBEL baseia-se num conjunto de modalidades de contratação de energia que se complementam entre si. Existem vários formatos possíveis, que se enunciam seguidamente [12]:

- *Mercado de contratação em Bolsa (ou Pool)*: gerido pelo operador de mercado Ibérico – (OMIE), contem uma componente de contratação diária e outra de ajustes intradiários. É neste mercado que se apresentam as várias propostas de venda pelos produtores e compra pelos comercializadores de energia, para o dia seguinte ao da negociação;

- *Mercado de contratação a Prazo*: gerido pelo operador de mercado Ibérico – (OMIP), onde são estipulados compromissos futuros de produção e compra de energia elétrica. Este mercado pode fazer liquidação física (venda de energia) ou liquidação financeira;
- *Mercado de contratação Bilateral*: mercado onde é possível aos agentes ordenar a compra de eletricidade para diferentes horizontes temporais;
- *Mercado de serviços de Sistema*: funciona em tempo real e tem a responsabilidade de manter o equilíbrio entre a produção e o consumo de energia elétrica.

2.2.3.2 Mercado Retalhista

Como consequência do processo de liberalização do setor elétrico, todos os consumidores podem escolher livremente o seu fornecedor de eletricidade, sendo neste âmbito que surge o mercado retalhista [13], sendo de realçar:

- *Contratação em mercado regulado*: resulta no fornecimento de energia com a aplicação de tarifas integrais reguladas pela ERSE;
- *Contratação em mercado liberalizado*: funciona com base na negociação, onde as partes envolvidas têm a vantagem de poder definir os termos e condições dos contratos, continuando no entanto a ser aplicado um preço regulado para o acesso à rede.

2.3 Modelos de Mercado

Dentro dos vários modelos de mercado existentes, destacam-se o modelo em bolsa, o modelo de contratos bilaterais e o modelo misto. Como referido no Capítulo 1, o trabalho realizado no âmbito desta dissertação diz respeito aos contratos bilaterais, atribuindo-se especial ênfase ao respetivo modelo de mercado. No entanto, serão abordados os três modelos referidos.

2.3.1 Modelo em Bolsa (ou *Pool*)

O modelo de mercado em Bolsa (ou *pool*) corresponde aos mercados *spot* centralizados que permitem que se estabeleçam relações comerciais entre empresas produtoras e comercializadores ou clientes elegíveis. Este tipo de mercado funciona num horizonte temporal de curta duração, normalmente no dia anterior ao qual se implementa o resultado, sendo conhecido como *day-ahead market* [1]. Daí resulta o termo *spot*, que é utilizado para identificar mercados onde os ativos são negociados para entrega imediata, ao contrário dos mercados onde os ativos são negociados para entrega futura, definidos por mercados a prazo. Para equilibrar a relação entre a produção e o consumo, são necessárias regras que funcionam através de propostas comunicadas entre as entidades produtoras, comerciantes e consumidores elegíveis.

O modelo em causa é caracterizado por uma entidade que recebe propostas para vender energia através dos produtores e ordens de compra lançadas por retalhistas, comercializadores e consumidores, que licitam os preços a quantidades de energia que desejam transacionar. As ofertas de venda realizadas pelos produtores são apresentadas por unidade de produção e podem incluir condições complexas, para a parte que se encontra isenta de compromissos bilaterais, como a indicação da quantidade e preço independentes para cada hora. Por sua vez, todas as ofertas que visam a compra de energia elétrica que ocorrem neste mercado não estão autorizadas a incluir condições complexas.

Neste mercado, o preço é indicado para cada período de tempo, normalmente uma hora (ou meia hora), ao longo das 24 horas do dia, formando 24 ou 48 períodos para cada um dos dias do ano. A plataforma de negociação onde Portugal se insere é gerida pelo OMIE, sendo a hora legal espanhola definida para a negociação.

De uma forma simples, este mercado funciona através do cruzamento de ofertas de compra e venda, por parte dos vários agentes registados. Cada oferta submetida tem de conter a hora e o dia a que corresponde, tal como o preço e a quantidade de energia correspondentes.

Para encontrar o preço do mercado é usado um processo que ordena de forma decrescente em preço as ofertas de compra, e de forma crescente em preço as ofertas de venda. O preço de mercado corresponde ao cruzamento das curvas de oferta e de procura e traduz-se no menor preço que garanta que a oferta satisfaça a procura [14]. A figura 2.5 representa graficamente a fixação do preço de mercado.

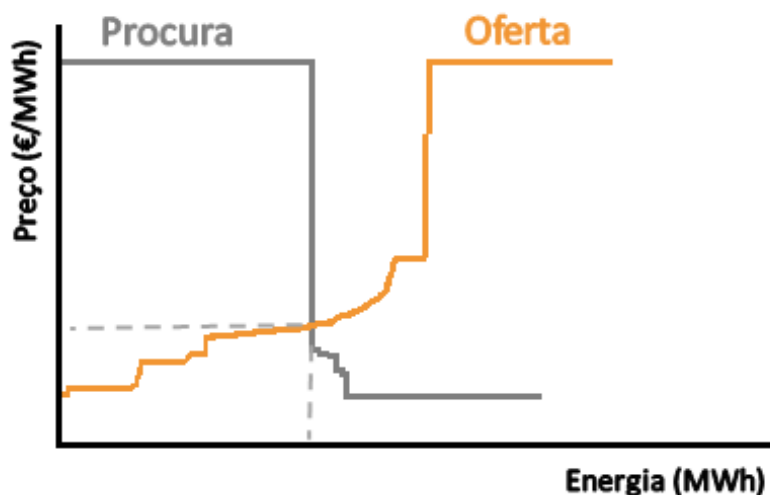


Figura 2.5 – Fixação do preço de mercado para um período de tempo [21].

Como norma de funcionamento do mercado em bolsa definida pelo OMIE, em que participam os agentes portugueses, estabeleceu-se que todos os compradores de energia paguem o mesmo preço e todos os vendedores recebem o mesmo preço, designado por de preço marginal único.

Em suma, deste mercado resulta um preço horário de fecho para a remuneração dos produtores e definem-se as quantidades de energia a produzir por produtor ou agente externo.

2.3.2 Modelo de Contratos Bilaterais

O modelo de contratos bilaterais surgiu com o intuito de dar resposta ao risco apresentado pelos mercados a curto prazo. São contratos concebidos entre duas entidades que negociam livremente o preço do serviço, condições de fornecimento relativas à qualidade do serviço, duração e modulação da potência até à maturação do contrato [1].

Na realização de contratos bilaterais, a negociação é concretizada diretamente entre os produtores ou retalhistas e os consumidores de último recurso [15]. As transações nestes modelos de mercado são projetadas antes da sua realização, que poderá ser um dia, uma hora ou até alguns minutos antes, tendo sempre em consideração a previsão do consumo. Esta forma de atuar pode conduzir a uma diferença entre os preços contratados e os preços registados de produção e consumo. Os preços na contratação bilateral são na generalidade dos casos fixados por meio de uma negociação, sendo o volume previsto de energia o fator crucial nesse processo. Isto é, os preços finais da energia são fixos tendo em conta os preços de compra, os

preços dos custos dos serviços do sistema, das perdas, e se for o caso, os custos de apoio às energia renováveis e às medidas de conservação da energia.

Salienta-se, que o mercado regulado assenta na realização de licitações em bolsa que podem ser influenciadas pelos intervenientes, de forma a subir os preços da energia através de licitações muito elevadas. Neste sentido, o modelo de contratos bilaterais garante segurança dos preços da eletricidade, na medida que é concretizado um contrato físico com um determinado período de tempo. Logo, tem a vantagem de conferir uma redução do risco associado à volatilidade do preço referente ao mercado em bolsa, funcionando como um estabilizador dos preços praticados. Por outro lado, existe o risco de estabelecer um mau contrato, que conduza à perda do benefício gerado. Dado que o preço estabelecido num contrato bilateral é fixo, o preço adquire um risco devido a fatores como erros de previsão de carga ou à insegurança do preço do combustível, conduzindo a que o preço contratado possa ser superior ou inferior ao preço do mercado em bolsa [16].

Pode fazer-se a distinção de dois tipos de contratos bilaterais, nomeadamente os físicos e os financeiros, que contêm algumas diferenças entre si [10]:

- Os *contratos bilaterais físicos* são realizados a longo prazo, onde o agente vendedor se compromete a colocar a energia elétrica na rede e o agente comprador a receber a energia elétrica contratada. Nestes contratos, o preço e as condições contratuais são negociáveis. Como o preço é acordado para um longo período de tempo, garante a segurança do mesmo.
- Os *contratos bilaterais financeiros* proporcionam igualmente um seguro contra a volatilidade relativa aos mercados de energia, visto que os preços reagem constantemente às variações da oferta e da procura. Neste contexto, podem ser aplicados diferentes modelos de contratos, tais como contratos por diferenças, de futuro e de opções, que garantem a segurança dos agentes intervenientes, devido ao risco intrínseco ao mercado [10].

Através dos estudos mensais do MIBEL, pode-se perceber de forma concreta o peso que estes modelos negociais têm tido no mercado de energia elétrica em Portugal (ver a figura 2.6).

Pela análise da figura, conclui-se que o mercado diário (ou em bolsa) é o mais utilizado em Portugal, sendo seguido pelo mercado de contratos bilaterais físicos.

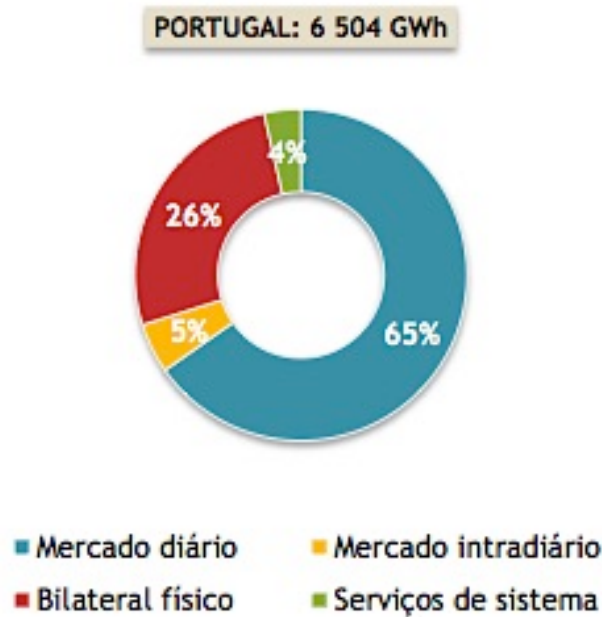


Figura 2.6 – Energia negociada em Portugal em março de 2015 [17].

2.3.3 Modelo Misto

O modelo misto é basicamente uma junção dos dois tipos de modelos descritos anteriormente, em bolsa e de contratos bilaterais, que apresentam vantagens e desvantagens.

Este modelo aumenta as opções de escolha de compra de energia dos agentes comercializadores, permitindo que estes façam escolhas que se adaptem melhor às suas necessidades individuais. Em particular, os consumidores podem optar por adquirir a energia que pretendem na bolsa, pagando o preço estabelecido pelo mercado, ou negociarem diretamente com fornecedores e efetuarem contratos bilaterais físicos, possibilitando assim uma proteção à volatilidade dos preços do mercado em bolsa.

A maioria dos países onde tem ocorrido a reestruturação do setor elétrico fazem uso deste modelo de negociação, no qual funciona um mercado centralizado em bolsa, bem como a possibilidade dos agentes optarem por estabelecer contratos bilaterais físicos. Desta forma, o mercado em bolsa assume-se como voluntário [18].

2.4 Participação Ativa dos Consumidores em Mercados de Eletricidade

A participação ativa dos consumidores (PAC) surgiu nos primórdios da indústria energética dos EUA, em meados de 1890, onde produtores e consumidores começaram a discutir o regime de preço ótimo (sendo estes os primeiros programas de PAC com base em taxas de variação ao longo do dia). Atualmente, existe a necessidade de adotar medidas e criar soluções com vista à eficiência no consumo de energia. Neste sentido, a PAC tem tido um forte impacto a nível mundial, e visa alterar os padrões de consumo por parte dos utilizadores do setor elétrico. Desta forma, têm vindo a ser implementadas soluções com a finalidade de combaterem a dependência dos combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, ao mesmo tempo que vão evoluindo as energias renováveis.

No presente, a participação ativa dos consumidores ainda não atingiu os níveis conjecturados, sendo que algumas dificuldades existentes na transição das indústrias tradicionalmente reguladas para um ambiente com concorrência podem-se justificar pela carência de uma resposta à procura no mercado de retalho [19].

2.4.1 Definição

O conceito de participação ativa dos consumidores não é novo, mas tem sido alvo de alteração nos últimos anos com o objetivo de o adaptar às novas características do sistema de elétrico. A PAC tem como principal função auxiliar os consumidores no mercado de energia elétrica a analisar e responder às variações dos preços da eletricidade, que variam de período para período. A PAC (ou *demand response*) define-se do seguinte modo [20]:

“Uma alteração do padrão de consumo elétrico por parte dos consumidores finais em resposta às alterações no preço da eletricidade ao longo de tempo, ou do pagamento de incentivos criados com o intuito de induzir o consumidor a reduzir o seu consumo de energia em situações em que o valor de mercado seja elevado, ou em situações em que a fiabilidade do sistema esteja em causa.”

O conceito de PAC, onde os benefícios são maioritariamente usufruídos pelos consumidores, tem por base o incentivo de reduzir o consumo de energia elétrica nos períodos de preço elevado. Além disso, pretende alterar a tendência da evolução do consumo energético dos consumidores finais (reduzir os custos de exploração dos sistemas), tanto na ótica do produtor como do consumidor. A implementação de

programas de PAC visa melhorar o desempenho do mercado, de modo a melhorar a viabilidade do sistema, reduzir a volatilidade dos preços e aumentar a eficiência económica, reduzindo desta forma os preços de energia a pagar pelos consumidores.

2.4.2 Importância da PAC

A PAC oferece aos consumidores, entidades fornecedoras de energia e operadores de rede uma variedade de benefícios financeiros e operacionais. O operador de sistema pode usar programas de PAC para limitar, reduzir ou alterar o padrão de cargas, evitando a carência de construir mais centrais de geração e linhas de transporte. A flexibilidade a custo relativamente baixo oferecido pela PAC reflete uma maior ênfase nos desafios e nas incertezas levantadas pelo mercado [21]. Existem três características importantes nos sistemas de energia elétrica [20]:

- Como o armazenamento de energia elétrica não é economicamente viável, a oferta e a procura da mesma devem ser mantidas em equilíbrio em tempo real;
- Como os níveis de procura podem mudar abruptamente, as condições da energia na rede podem também variar rapidamente, ameaçando a integridade do sistema em áreas bastante grandes e provocando picos de energia;
- O sistema elétrico envolve um capital elevado e o investimento em sistemas de geração e de transmissão tem um longo período de amortização.

2.4.3 Benefícios da PAC

Os benefícios que a PAC disponibiliza para os consumidores de eletricidade, operadores de rede e para as entidades fornecedoras de energia são variados e vantajosos, envolvendo benefícios financeiros e operacionais. O principal benefício da PAC assenta na melhoria da eficiência do sistema elétrico, que se traduz numa menor diferença entre os preços para os consumidores finais e o valor atribuído à eletricidade. Tendo em consideração os vários benefícios correspondentes ao aumento de eficiência, podem-se identificar quatro grupos: consumidores finais, mercado, fiabilidade e benefícios de desempenho de mercado [22]. Segue-se uma breve descrição de cada um deles.

Os *consumidores finais* têm como benefícios financeiros as poupanças nas contas de eletricidade, alcançadas através da redução dos gastos da energia elétrica durante os períodos de pico. Para o *mercado grossista*, um potencial decréscimo dos preços é

um benefício lucrativo, visto que a PAC pode evitar a necessidade de recorrer a energia produzida em centrais elétricas de elevado custo [19].

A *fiabilidade* traduz-se num benefício relacionado com a segurança operacional. Através da construção de um bom programa de PAC, os intervenientes têm a possibilidade de colaborar na redução do risco de interrupções. Deste modo, conseguem diminuir as probabilidades e as consequências das interrupções forçadas, que envolvem custos financeiros e indesejados para os consumidores [23].

Por fim, a PAC pode resultar num aumento do *desempenho do mercado*, quando a mesma enfraquecer o seu poder, que se reflete em preços elevados da energia, bem acima dos custos de produção. Desta forma, os participantes têm mais escolha, apesar da concorrência no retalho poder não se encontrar disponível. Assim, os consumidores conseguem gerir o seu consumo, visto que têm a possibilidade de interferir no mercado através de programas de PAC [22].

2.4.4 Programas de PAC

Os programas de PAC (figura 2.7) podem ser separados em duas grandes categorias, nomeadamente os programas baseados no incentivo financeiro (*incentive-based programs ou IBP*) e os programas baseados no preço pago pela energia (*price-based programs ou PBP*) [22].

Os programas do tipo IBP oferecem aos consumidores finais incentivos fixos ou que variam com o tempo, somando ainda as suas taxas de eletricidade. Estes estímulos são apresentados aos consumidores, independentemente do plano tarifário onde se insiram, para levar a cabo uma redução de carga. Isto verifica-se em situações onde o operador de sistema considera que as condições de segurança estão comprometidas ou onde o custo de energia seja muito alto. Os programas IBP são ainda divididos em programas clássicos e programas baseados no mercado. Nos primeiros, os consumidores recebem pagamentos de participação, geralmente como um crédito de conta ou taxa de desconto (pela sua participação nos programas de PAC). Nos programas baseados no mercado, os consumidores são recompensados monetariamente pelo seu desempenho, estando dependentes da quantidade de carga reduzida durante condições críticas.

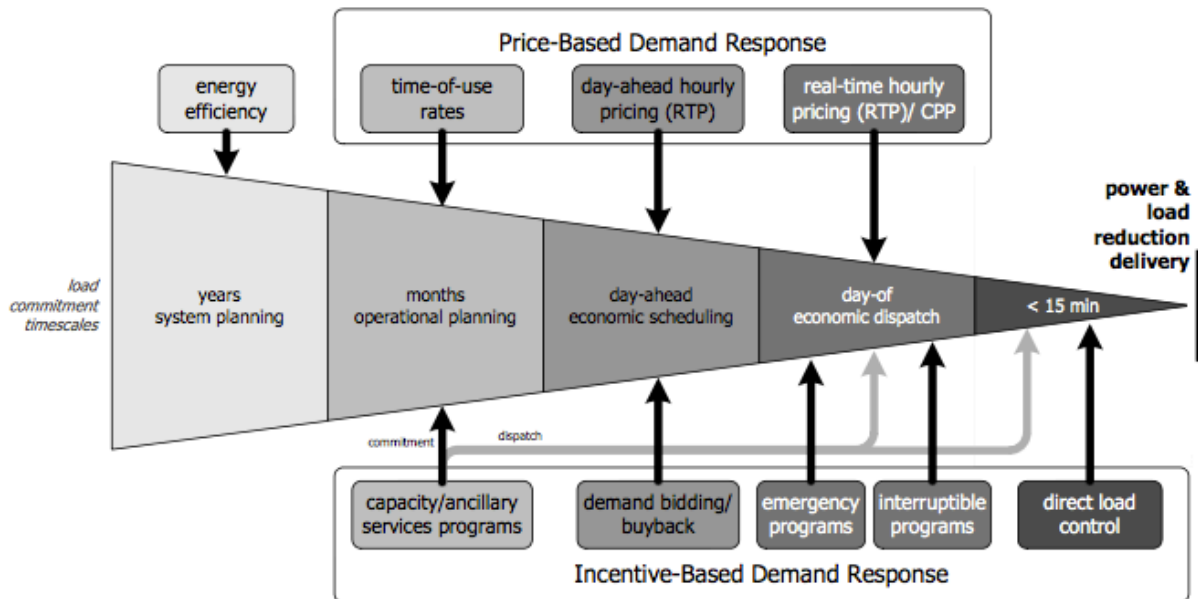


Figura 2.7 – Tipos de programas de PAC [20].

Os principais programas do tipo IBP são os seguintes [20], [22]:

1. *Direct Load Control (DLC)* – programa onde as empresas produtoras têm a capacidade de interromper o funcionamento dos equipamentos dos consumidores (por exemplo, aparelhos de ar-condicionado ou arcas frigoríficas), ao longo de um curto espaço de tempo. Este tipo de programa interessa essencialmente aos consumidores residenciais e pequenas indústrias;
2. *Interruptible/Curtailable Service (ICS)* – este programa é baseado em opções de interrupção passiva integradas em tarifas de retalho. Os consumidores que se associam a este programa recebem um incentivo monetário ou um desconto de forma a reduzirem a sua carga de energia para valores pré-definidos. Porventura, se os consumidores não cumprirem devidamente o que foi acordado, são alvo de penalizações, estando dependentes dos termos e das condições do programa. Este tipo de programa é por norma proposto a consumidores industriais;
3. *Demand Bidding/Buyback (DBB)* – os consumidores de último recurso sugerem uma redução específica com base nos preços de mercado. Caso a proposta seja aceite, o consumidor necessita de reduzir a sua carga pela quantidade

especificada na proposta, ficando sujeito a penalizações em caso de incumprimento. Este programa é geralmente indicado para consumidores de alto consumo;

4. *Emergency Demand Response (EDR)* – os consumidores que participam neste tipo de programas recebem um incentivo pela redução da carga durante situações de emergência;
5. *Capacity Market (CM)* – este programa é adequado aos consumidores que apresentem capacidade de realizar reduções de carga pré-específicas, com antecedência (por exemplo meses), quando ocorrerem contingências no sistema elétrico. Os intervenientes recebem previamente um aviso dos eventos, sendo posteriormente penalizados caso não reduzam a carga;
6. *Ancillary Services Market (ASM)* - neste programa é permitido aos consumidores sugerirem a interrupção de carga do mercado em bolsa como reserva nacional. Quando as propostas são aceites, os participantes podem ser recompensados monetariamente, tendo em consideração o mercado em bolsa, por se sujeitarem a ficar em espera, e pagos no caso da interrupção de carga ser necessária.

Nos programas do tipo PBP, os consumidores ajustam o seu consumo em resposta às alterações nas tarifas. Estes programas baseiam-se em preços dinâmicos onde as tarifas de eletricidade estão em constante alteração. O seu objetivo é nivelar a curva da procura, de modo a que sejam obtidos preços ligeiramente mais baixos durante os períodos de pico, e preços ligeiramente superiores fora de pico. Os principais programas do tipo PBP são os seguintes [20], [22]:

1. *Time of Use (TOU)* – programa com diferentes preços unitários para diferentes períodos de tempo, geralmente definidos para as 24 horas do dia. Os diferentes preços refletem o custo médio de geração e fornecimento de energia durante os respetivos períodos de tempo. Variam frequentemente de acordo com a hora do dia (por exemplo, período de pico versus períodos fora de pico), de acordo com a estação, e são tipicamente pré-determinados durante um período de vários meses ou anos (sendo que os preços são menores em períodos fora de pico). Este programa é geralmente usado por grandes clientes comerciais e industriais;

2. *Critical Peak Pricing* (CPP) – programa que implica um tempo de uso de energia previamente especificado e que se sobrepõe ao TOU ou às taxas fixas normais. É usado quando os preços no mercado grossista são elevados (para um número limitado de dias ou horas por ano) ou durante período de contingências;
3. *Extreme Day Pricing Programs* (EDPP) – programa semelhante ao CPP no que diz respeito ao preço elevado da eletricidade, mas diferente deste devido ao facto do preço ser apenas válido durante as 24 horas de um dia extremo. O preço em causa é normalmente divulgado com um dia de antecedência;
4. *Extreme Day CPP* (ED-CPP) – neste caso, as taxas CPP referentes aos períodos de pico e fora de pico são implementadas durante os dias extremos;
5. *Real Time Pricing* (RTP) – neste programa, os consumidores são cobrados à hora, pelas flutuações dos preços que indicam o custo real da eletricidade no mercado grossista. Os consumidores que aderem a este programa recebem informações dos preços com uma hora (ou um dia) de antecedência.

2.5 Agentes Computacionais e Mercados Multi-Agente de Energia

Atualmente, a simulação de mercados de energia através de agentes computacionais é uma prática crescente. No sentido de simplificar e ajudar a gerir a complexidade dos mercados elétricos, particularmente os mercados retalhistas, recorre-se à utilização de agentes computacionais (ou de software) com capacidade de negociação.

A tecnologia baseada em agentes e sistemas multiagente (SMA) tem centrado muita atenção, sendo uma área de pesquisa substancialmente nova, com enorme margem de progressão e de aplicabilidade. Os sistemas multiagente são essencialmente redes de agentes autónomos que interagem entre si para resolver problemas que estão além das capacidades individuais de cada agente. A tecnologia de agentes computacionais tem sido utilizada para resolver problemas do mundo real numa grande variedade de aplicações industriais e comerciais. Conceptualmente, uma abordagem multiagente é uma abordagem ideal para modelar o domínio distribuído de um mercado de energia elétrica [24].

No caso da presente dissertação, os participantes do mercado, nomeadamente os retalhistas e os consumidores finais, cada um com os seus objetivos e estratégias, são representados por agentes computacionais que negociam contratos bilaterais.

2.5.1 Agentes Computacionais Autónomos

O termo agente (computacional) é de certa forma controverso, existindo várias definições na comunidade científica. No entanto, é comum considerar a seguinte definição bastante útil [25]:

“Um agente é uma entidade real ou abstrata capaz de agir sobre ela mesma e sobre o ambiente que a rodeia, e que dispõe de uma representação, ainda que parcial, desse ambiente. Num universo multiagente, pode comunicar com outros agentes, resultando o seu comportamento das suas observações, conhecimento, e interações com outros agentes”.

Em termos sucintos, um agente é uma entidade computacional autónoma que atua num ambiente específico e pode interagir com outros agentes. Genericamente, um agente envolve uma arquitetura e um programa [26]. Um problema referente ao desenvolvimento de agentes diz respeito às ações que devem ser realizadas para satisfazer os seus objetivos de projeto. A figura 2.8 representa um agente genérico.

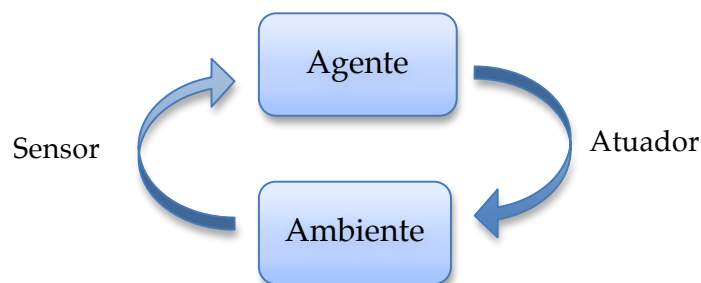


Figura 2.8 – Agente a atuar sobre um ambiente.

Existem duas noções, referentes ao conceito de agente, uma “fraca” e outra “forte”. A noção “fraca” pode caracterizar-se pelo seguinte:

- *Autonomia*: um agente atua sem intervenção direta de humanos ou de outros agentes e possui controlo sobre as ações que realiza e sobre o seu estado interno;
- *Pró-atividade*: um agente tem objetivos definidos e atua sobre eles, possuindo iniciativa própria;

- *Capacidade Social*: um agente tem capacidade de interagir com outros agentes e eventualmente com humanos através de uma linguagem de comunicação;
- *Reatividade*: um agente possui percepção sobre o ambiente onde se insere e responde de forma impulsiva às mudanças que nele ocorrem.

Considerando a noção “forte”, um agente é um sistema computacional com as propriedades acima identificadas e modelado com recurso a conceitos normalmente utilizados por humanos, mais precisamente noções mentais como crença, conhecimento, intenção e obrigação [27].

Os agentes atuam sobre ambientes que podem possuir diferentes características, sendo importante salientar as seguintes [26]:

- *Acessíveis contra inacessíveis*;
- *Determinados contra não determinísticos*;
- *Episódicos contra sequenciais*;
- *Estáticos contra dinâmicos*;
- *Discretos contra contínuos*;
- *Agentes contra multiagentes*.

2.5.2 Simuladores Multi-Agente de Mercados de Energia

A modelação de MEE baseada em agentes computacionais tem aumentado bastante nos últimos anos, tendo conduzido ao desenvolvimento de várias ferramentas de simulação computacional. Basicamente, são simuladores do mercado real que têm como objetivo avaliar o comportamento, a estrutura e as decisões tomadas pelos participantes no mercado. Com a liberalização do setor elétrico, estas ferramentas ganharam relevância, porque permitem por exemplo, planejar investimentos, analisar modelos de mercado, ou até analisar tipos de congestionamentos nas linhas de transmissão.

A presente dissertação, como referido anteriormente, insere-se num projeto onde têm sido desenvolvidos vários simuladores multiagente de mercados de energia, tais como SCBE, SMEE ou SIMEPAC, os quais foram reunidos num só simulador denominado MAN-REM. No entanto, existem outros simuladores que têm sido criados e desenvolvidos em diversos projetos e universidades nacionais e

internacionais. De seguida, irão ser apresentados alguns desses exemplos de forma sucinta.

MASCEM – O *Multi-Agent System that Simulates Competitive Markets* é um simulador multiagente que simula o MEE competitivo. Foi criado no GECAD², do Instituto Superior de Engenharia do Porto, e permite simular os modelos de mercado em bolsa e de contratos bilaterais. Os tipos de agentes são os comercializadores, compradores, operador de mercado (OM) e operador de sistema (OS). Os agentes têm a capacidade de aprenderem, de acordo com diversas estratégias. A PAC implementada suporta agentes do lado da procura, com ações em transações de energia.

SEPIA – O *Simulator for the Electric Power Industry Agents* foi desenvolvido pelo Centro de Tecnologia de Honeywell e pela Universidade de Minnesota. É uma ferramenta cujo objetivo assenta em analisar o comportamento dos participantes do sistema e o seu impacto no mercado, e permite simular apenas contratos bilaterais. Os tipos de agentes implementados são os produtores, consumidores, operadores da rede de transporte e geradores de último recurso. A aprendizagem é efetuada através do algoritmo *Q-learning*, para os agentes produtores. Os agentes fornecem perfis de carga mas não suportam ações de PAC. O sistema inclui a rede de transporte, mas simplificada em algumas zonas.

EMCAS – O *Electric Market Complex Adapted System* foi desenvolvido pelo Centro de Energia, Ambiente e Sistemas de Análise Económica do Argonne National Lab (ANL). Tem como objetivo investigar e estruturar o MEE, bem como entender as implicações da concorrência sobre o preço da eletricidade e a segurança técnica da rede elétrica, e permite simular os mercados em bolsa e os contratos bilaterais. Os tipos de agentes utilizados são produtores, OS, consumidores, entidade de transporte, reguladores e distribuidores. A aprendizagem realiza-se através de algoritmos genéricos. O sistema inclui a rede de transporte, mas simplificada em algumas zonas.

Após terem sido descritos alguns exemplos de simuladores de MEE, apresentam-se alguns exemplos de simuladores desenvolvidos no contexto do projeto onde se insere esta dissertação.

² GECAD – Grupo de Investigação de Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão

SCBE - Simulador de Contratos Bilaterais de Eletricidade e o **SMEE** – Simulador de Mercados de Energia, foram ambos desenvolvidos no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG). São ferramentas multiagente que permitem simular a contratação bilateral de energia em MEE. Foram desenvolvidas através da plataforma JADE³ e da linguagem de programação JAVA. O modelo de mercado implementado foi o de contratos bilaterais.

SIMEPAC – Simulador de Mercado de Eletricidade com Participação Ativa dos Consumidores, desenvolvido também no LNEG. As suas características são semelhantes às dos simuladores SCBE E SMEE, diferenciando-se no facto deste ter implementado a PAC, isto é, os agentes estão dotados com estratégias de negociação com PAC.

³ JADE – *Java Agent Development Framework*, plataforma computacional, implementado na linguagem JAVA que possibilita o desenvolvimento de aplicações baseadas em agentes, em conformidade com diversos protocolos e com capacidade de comunicar com outro sistema de forma transparente.

Capítulo 3

Contratação Bilateral de Energia com Participação Ativa dos Consumidores

Este capítulo tem como objetivo dar a conhecer todo o processo da contratação bilateral entre retalhistas e consumidores finais de energia elétrica. Primeiramente, irá descrever-se a negociação bilateral e alguns aspectos inerentes ao processo negocial, tais como o planeamento e a preparação da negociação, e o protocolo de ofertas alternadas. De seguida, irão ser abordadas diferentes estratégias que podem ser adoptadas numa contratação bilateral, com e sem participação ativa dos consumidores, bem como uma nova estratégia desenvolvida no âmbito da dissertação.

3.1 Introdução

A presente dissertação diz respeito a mercados de energia elétrica, mais concretamente à contratação bilateral com negociação envolvendo estratégias e medidas de participação ativa dos consumidores.

Contextualizando, a contratação bilateral de energia é atualmente possível nos mercados devido às mudanças no setor elétrico, que ocorreram ao longo dos últimos anos. Isto deveu-se essencialmente à globalização da economia mundial, e ao consequente aumento da concorrência. Vários sectores económicos foram alvo de profundas reestruturações, fazendo com que as empresas se tornassem mais competitivas e flexíveis. Neste sentido, com a crescente importância que a energia elétrica tem vindo a conquistar na economia mundial, o sector elétrico foi alvo de reestruturações por parte dos governos, com o fim de o tornarem economicamente mais competitivo. Com estas alterações, e com o aumento da complexidade do mercado, a tomada de decisões torna-se cada vez mais difícil. Assim, é fundamental que as entidades que intervêm no mercado planeiem as suas decisões e analisem as suas estratégias.

Inicialmente, o número de participantes que tomavam decisões estratégicas no mercado de energia elétrica (MEE) era bastante reduzido, e as mesmas restringiam-se, por norma, ao fornecimento e aos recursos da rede. Com as alterações que têm vindo a ser introduzidas, prova-se que, da perspectiva da procura, existem mais valias que devem ser aproveitadas, nomeadamente na tomada de decisões estratégicas por parte dos consumidores. Desta forma, e com a introdução de novas estratégias que sirvam os seus interesses e objetivos, os consumidores finais, e mesmo os compradores de energia de último recurso, desempenharão um papel mais ativo, que melhorará o MEE. No entanto, as empresas vendedoras e os consumidores finais têm objetivos diferentes: as empresas vendedoras pretendem a adopção de estratégias que maximizem o seu lucro, enquanto os consumidores pretendem estratégias que minimizem o seu custo. Por conseguinte, um acordo favorável entre os agentes intervenientes pode traduzir-se, na prática, em propostas sucessivas por forma a concluir com sucesso a negociação [1].

A negociação de contratos bilaterais permite aos seus intervenientes fixar o preço de compra e venda de energia elétrica para períodos futuros, com duração variável, reduzindo o risco e a volatilidade inerente aos mercados.

3.2 Contratação Bilateral de Energia com Negociação

Existem diferentes processos de interação que os agentes podem adoptar na contratação bilateral de energia. Esta, no que se refere a mercados liberalizados, corresponde normalmente a dois agentes, um produtor/vendedor e um comprador/consumidor de energia, que interagem com o intuito de definir os termos de um contrato, tais como preços, volumes, duração, quantidade, data e local de entrega.

No que se refere à presente dissertação, consideram-se dois agentes que negociam o preço e o volume de energia, através de um processo negocial que envolve a troca iterativa de propostas e contrapropostas, podendo alcançar-se um acordo ou não (um ou ambos os agentes podem desistir da negociação). Define-se negociação como um processo para a resolução de conflitos que se geraram devido a preferências opostas entre as partes envolvidas no mesmo, e que inclui uma disputa entre essas partes com o objectivo de se alcançar um acordo. Não existe limite para o número de participantes que podem participar numa negociação, podendo envolver duas partes (negociação bilateral) ou mais do que duas (negociação multilateral) [2].

A negociação pode ser de carácter cooperativo ou puramente competitivo, podendo ainda assumir uma característica híbrida e possuir ambos os elementos, cooperativo e competitivo [3]. No entanto, existem características que são comuns a todos os processos negociais, como por exemplo:

- participação de dois ou mais agentes;
- existência de um conflito entre as partes;
- preferência para chegar a um acordo.

No que se refere à presente dissertação, será considerado um cenário que envolve a contratação bilateral com negociação entre um agente vendedor e um agente comprador de energia, no mercado de retalho.

3.2.1 Planeamento e Preparação da Negociação

Um aspeto fundamental, considerado por muitos negociadores humanos, consiste no facto da chave do sucesso de uma negociação assentar no seu planeamento e preparação (também designada por pré-negociação). Este deve ser considerado com flexibilidade, de forma a não restringir a espontaneidade dos negociadores e, principalmente, não limitar as suas ações e posições, face a posições

inesperadas dos opositores [4]. Assim, o planeamento e a preparação da negociação requerem a realização de um plano bem estruturado de modo a que se tenha sucesso na obtenção de um acordo.

A pré-negociação, no processo global da negociação, é o primeiro aspeto a ter em conta e segue, por norma, os seguintes passos [5]:

- criação de uma agenda negocial e identificação dos itens da negociação;
- atribuição de prioridades aos respetivos itens;
- definição dos limites para cada item;
- escolha de um protocolo de interação adequado;
- seleção das estratégias de negociação.

Os principais intervenientes no mercado são os agentes vendedor e comprador, logo dedica-se-lhe especial protagonismo, nomeadamente aos seus objetivos de negócio e às estratégias para os alcançar. Os itens de negociação são identificados por cada agente, sendo no presente caso os preços e volumes de energia. A atribuição de prioridades aos itens tem como função definir os itens de maior e menor importância. Neste trabalho, as prioridades são indiretamente atribuídas através dos preços de energia. Os agentes, antes de iniciarem uma negociação, devem definir os limites para cada item. Neste contexto, um limite é uma posição final, de retirada, um valor a partir do qual um negociador não está disposto a efetuar qualquer concessão [4].

O planeamento da negociação necessita que os seus intervenientes acordem a utilização de um protocolo apropriado e que escolham uma estratégia produtiva. De seguida apresenta-se a descrição do protocolo de ofertas alternadas e de algumas estratégias de negociação.

3.2.2 Protocolo de Ofertas Alternadas

Um protocolo assenta num conjunto de regras que definem os modos possíveis de evolução do processo de negociação, determinando as ações que cada agente pode executar e em que situações do processo negocial. Assim, o protocolo define: (i) os estados da negociação (por exemplo, aceitar proposta), (ii) as ações válidas em cada estado (por exemplo, quando devem ser submetidas certas mensagens) e (iii) ocorrências que provocam a alteração de um estado para outro (por exemplo, a aceitação ou rejeição de uma proposta). Através da figura 3.1 pode analisar-se em detalhe o protocolo de ofertas alternadas.

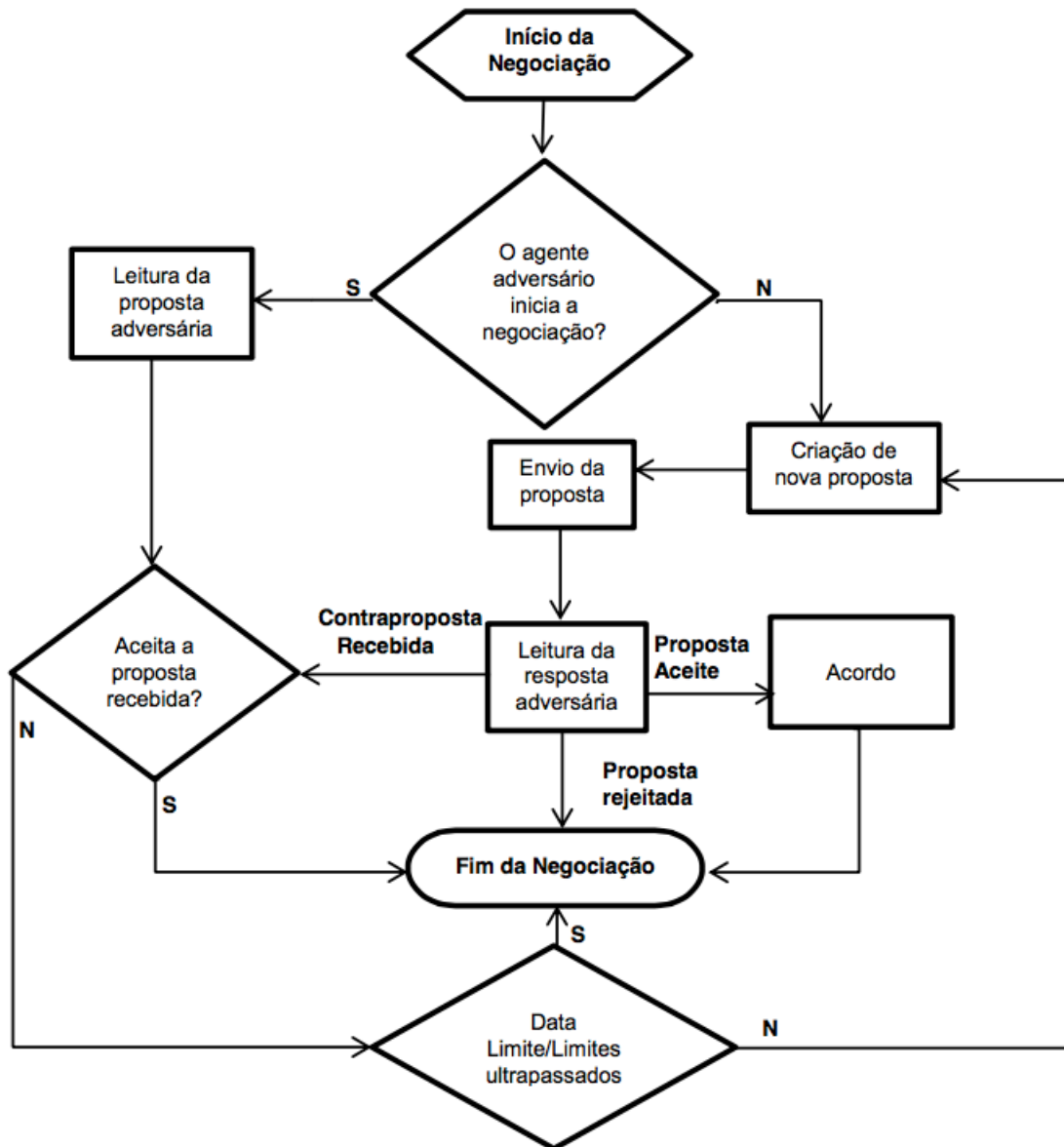


Figura 3.1 – Diagrama de blocos do processo negocial [6].

O protocolo de ofertas alternadas envolve uma troca iterativa de propostas e contra-propostas até que seja alcançado um acordo entre os agentes, ou que um dos agentes abandone a negociação.

Consideram-se dois agentes, Ag_c (agente comprador) e Ag_v (agente vendedor), representantes de cada lado negocial. O processo negocial pode ser iniciado por qualquer um dos agentes, enviando a primeira proposta (preços de energia para o caso do Ag_v , ou volumes e preços de energia para o caso do Ag_c).

Considerando que a primeira proposta é enviada pelo agente Ag_c , o agente Ag_v pode:

- aceitar a proposta;
- rejeitar a proposta e enviar uma contraproposta;
- rejeitar a proposta e informar o opositor sobre o fim da negociação.

Caso seja enviada uma contraproposta, o processo é repetido até que um dos agentes aceite ou abandone a negociação. Assume-se um conjunto $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$, com $n \in \mathbb{N}$, de períodos temporais. Deste modo, ocorre uma troca alternada de propostas entre os agentes, onde um deles submete propostas nos períodos ímpares $\{t_1, t_3, t_5, \dots\}$, e o outro agente nos períodos pares $\{t_2, t_4, t_6, \dots\}$. Na ocorrência do envio de uma contraproposta, para além do que já foi descrito, podem ocorrer outros acontecimentos:

- o agente Ag_c aceita a proposta e a negociação termina com esse agente a informar o agente Ag_v do acordo final;
- o agente Ag_c rejeita a proposta, indicando o fim da negociação (e a mesma termina);
- no caso do agente Ag_c enviar uma contraproposta, o agente Ag_v tem as mesmas opções enunciadas anteriormente, ou seja, pode aceitar a proposta, rejeitar a proposta e terminar a negociação, ou rejeitar a proposta e enviar uma contraproposta.

O processo descrito repete-se até que uma proposta seja aceite por ambos os agentes, isto é, a negociação chega a um acordo, ou caso o prazo negocial seja ultrapassado, a negociação termina sem acordo.

3.3 Estratégias para Contratação Bilateral de Energia

O mercado de eletricidade é atualmente considerado muito competitivo, onde diariamente existe um clima de incerteza. As estratégias de negociação permitem antever como um agente prepara e aceita propostas e contrapropostas, ou até mesmo quando abandona a negociação.

Existem dois elementos centrais numa negociação, normalmente a oferta inicial e as concessões. Após a primeira ronda de propostas, os negociadores questionam-se por norma que concessões devem efetuar. Existem três posições que podem ser adotadas. A primeira é uma posição de firmeza, onde um negociador opta por não realizar concessões, tentando obter o máximo lucro possível. A segunda assenta na

possibilidade de uma, ou mesmo ambas as partes, tornarem-se intransigentes e abandonarem a negociação. No entanto, a terceira e última opção reside no fato dos negociadores realizarem concessões ao longo da negociação e adotarem estratégias de concessão [7].

De seguida são apresentadas algumas estratégias de concessão, estratégias essas que foram usadas no caso de estudo da presente dissertação.

3.3.1 Estratégias de Concessão Fixa

Este tipo de estratégias define a evolução dos preços ao longo de uma negociação, de acordo com um fator constante. Estas estratégias modelam uma determinada conduta negocial que assenta em concessões sequenciais após a apresentação da primeira proposta. Essas concessões podem ser pequenas, moderadas ou grandes, mediante a disposição negocial dos agentes, e o valor do fator de concessão.

Inicialmente, os agentes procuram calcular os preços que vão colocar na primeira proposta. De seguida, ao longo da negociação, os agentes vão submetendo contrapropostas dentro dos limites estipulados, mas tendo como base concessões constantes, para a totalidade ou parte dos itens em jogo.

As estratégias de concessão fixa, ao longo da negociação, especificam a grandeza de cada concessão através do comportamento negocial do agente que as utiliza. O comportamento do opositor é completamente alheio e independente à realização dessas concessões [4].

3.3.2 Estratégias de Concessão Baseadas na Prioridade dos Itens

As estratégias de concessão baseadas na prioridade dos itens, como o nome indica, são apenas utilizadas quando os negociadores consideram diferentes prioridades para os itens. Deste modo, podem-se considerar concessões diferentes para cada preço ou volume de energia.

Os negociadores são por norma distintos uns dos outros, dado que são diferentes nos seus valores, necessidades e preferências. Assim, definem diferentes níveis de preferência para os itens de negociação, colocando maior importância em itens nucleares e realizando esforços para os resolver favoravelmente. Desta forma, os negociadores, com estas estratégias, podem conceder nos itens de menor prioridade, na expectativa de que o seu oponente realize concessões nos itens de maior prioridade. Numa outra perspetiva, os negociadores preparam contrapropostas realizando concessões maiores nos itens de menor prioridade [7].

3.3.3 Estratégias de Concessão Baseadas no Volume de Energia

As estratégias de concessão baseadas no volume de energia têm em consideração o volume associado a cada período do dia, como o principal fator na evolução dos preços ao longo da negociação. Desta forma, existe um fator de concessão Cf que ajuda a modelar essa evolução, e que se define da seguinte forma [1]:

$$Cf = e^{-v x_i} \quad (3.1)$$

sendo:

- i) v um parâmetro de volume de energia, com $0 < v < 100$;
- ii) $x_i = \frac{V_i}{V_{total}}$, $i = 1, \dots, n$; V_i representa o volume de energia elétrica de um dado período i e V_{total} o volume total de energia (soma dos volumes de todos os períodos).

Para que o fator de concessão Cf esteja compreendido entre 0 e 1, foi necessário que o parâmetro v apenas pudesse assumir valores entre 1 e 100. A figura 3.2 apresenta quatro curvas diferentes para diferentes valores de v .

Atribuindo vários valores a v , verificam-se diferentes comportamentos nas concessões a atribuir:

- para valores de v baixos, próximos de 1, obtém-se um fator de concessão elevado, sendo a sua variação com $\frac{V_i}{V_{total}}$ quase linear, o que se traduz num comportamento pouco ambicioso;
- para valores de v intermédios, o fator de concessão varia entre valores pequenos (próximos de zero), dando origem a um comportamento ambicioso por parte de um agente;
- para valores de v elevados, nomeadamente 100, o fator de concessão gera um comportamento de “tudo ou nada”.

Apesar das funções referidas na figura 3.2 terem comportamentos semelhantes, é relevante ter em consideração os valores de Cf obtidos para cada curva. A escolha mais lógica recai sobre $Cf = e^{-3 \cdot x}$, na medida em que se procura uma relação de volumes energéticos e um fator de concessão adequado às necessidades da maioria dos agentes.

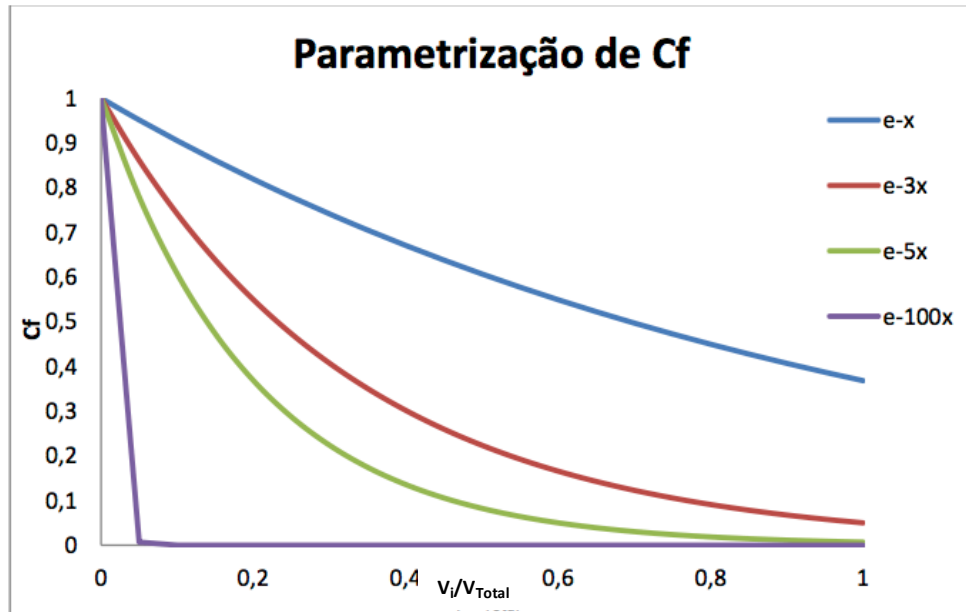


Figura 3.2 – Função para o cálculo do fator de concessão [1].

3.4 Estratégias para a Contratação Bilateral de Energia com Participação Ativa dos Consumidores

Esta secção apresenta duas estratégias de negociação na óptica do consumidor. A primeira, *Gestão de Volume*, foi desenvolvida por Ilco [8] e teve como base a PAC. No mesmo contexto, foi desenvolvida uma nova estratégia para ser aplicada no caso de estudo da presente dissertação, que se intitula de *Resposta do Consumidor a Preços e Volumes (RCPV)*, e será descrita na secção 3.4.2.

3.4.1 Estratégia “Gestão de Volume”

A estratégia *Gestão de Volume* tem como propósito permitir aos consumidores finais de energia uma participação ativa no MEE. O principal objetivo desta estratégia centra-se em minimizar o custo de energia dos consumidores finais através de ações de PAC. Desta forma, os consumidores têm a possibilidade de fazer a gestão do seu consumo de energia, em resposta aos preços elevados para os diferentes períodos do dia.

Esta estratégia tem por base um problema de otimização, que envolve a minimização de uma função que inclui os preços de energia propostos pelo agente retalhista ou vendedor Ag_v , e os volume de energia propostos pelo agente consumidor ou comprador Ag_c .

A formulação matemática do problema de otimização é dada por (3.2), (3.3) e (3.4) [9]:

$$\text{Minimizar } C = \sum_{i=1}^n P_i^v \times V_i^c \quad (3.2)$$

sujeito a:

$$V_{i_{min}}^c \leq V_i^c \leq V_{i_{max}}^c, i = 1, \dots, n \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^n V_i^c = V_{total}^c \quad (3.4)$$

onde:

- i) C representa o custo do agente Ag_c ;
- ii) P_i^v representa o preço de Ag_v , para o período i ;
- iii) V_i^c representa o volume de Ag_c , para i ;
- iv) $V_{i_{min}}^c$ representa o volume mínimo de Ag_c , para i ;
- v) $V_{i_{max}}^c$ representa o volume máximo de Ag_c , para i ;
- vi) V_{total}^c representa o volume total de Ag_c .

A restrição (3.3) tem como objetivo garantir que os volumes de energia de cada período estejam contidos entre valores mínimos e máximos de energia. A restrição (3.4) pretende garantir que, durante a negociação, a quantidade de energia se mantenha igual ou muito próximo valor inicial.

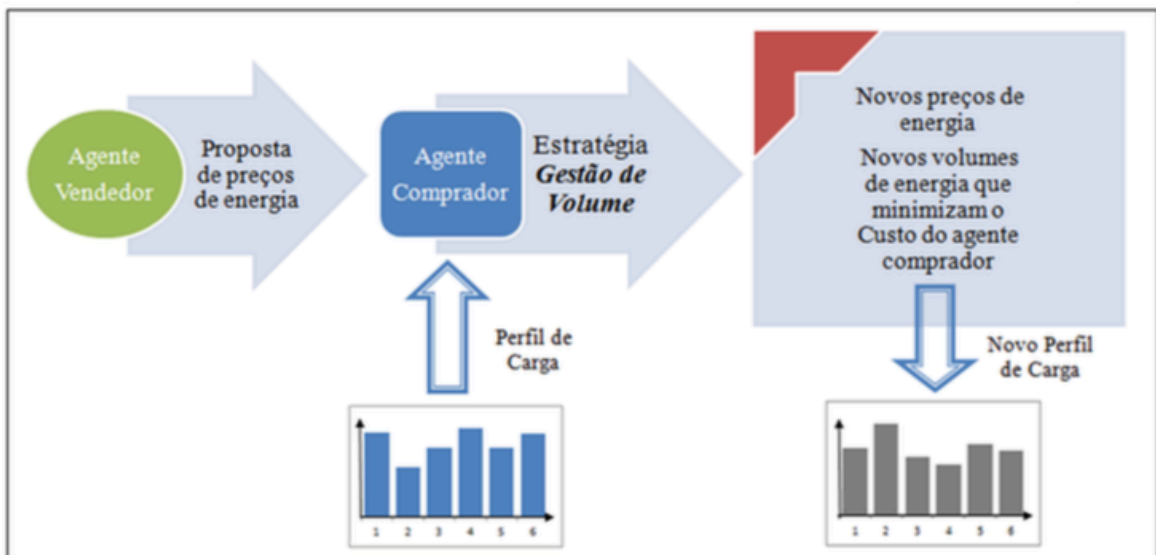


Figura 3.3 – Esquema da aplicação da estratégia de “Gestão de Volume” [8].

Através ds figura 3.3, pode-se compreender que o agente Ag_c recebe propostas de preços de energia do agente Ag_v . Posteriormente, faz a sua gestão de volumes de energia, em sintonia com a proposta de preços que recebeu do seu opositor, e determina os novos preços de energia para enviar numa contraproposta.

Os novos preços podem ser determinados, por exemplo, através da seguinte fórmula:

$$P_{i_{novo}}^c = P_{i_{anterior}}^c + (k \times P_{i_{anterior}}^c) \quad (3.5)$$

onde:

- i) $P_{i_{novo}}^c$ é o preço da nova proposta do agente Ag_c , para o período i ;
- ii) $P_{i_{anterior}}^c$ é o preço da proposta anterior de Ag_c , para i ;
- iii) k é um número real entre 0 e 1.

3.4.2 Estratégia “Resposta do Consumidor a Preços e Volumes (RCPV)”

A estratégia “Resposta do Consumidor a Preços e Volumes” foi desenvolvida no âmbito da presente dissertação e tem como objetivo permitir aos consumidores uma participação ativa nos MEE, oferecendo-lhes a possibilidade de conseguirem negociar de forma vantajosa novos preços de energia elétrica.

Os volumes de energia são determinados com recurso a um fator de volume definido da seguinte forma:

$$Vf = \left(1 - \frac{P^V - P_{inicial}^C}{P_{inicial}^V - P_{inicial}^C}\right)^{\frac{1}{w}} \quad (3.6)$$

onde:

- i) Vf fator de volume, para definir novos valores de volume;
- ii) w é o parâmetro de volume ($w \in [0,1]$);
- iii) P^V representa o preço do Ag_v ;
- iv) $P_{inicial}^C$ representa o preço inicial do consumidor;
- v) $P_{inicial}^V$ representa o preço inicial do vendedor.

Salienta-se que a equação (3.6) pode ser aplicada a qualquer um dos períodos horários, utilizando-se os volumes e preços correspondentes.

Os volumes de energia são, posteriormente, obtidos através da seguinte fórmula:

$$V_i = V_i^E + Vf \times (V_i^B - V_i^E), i = 1, \dots, n \quad (3.7)$$

onde:

- i) V_i volume para o período i ;
- ii) V_i^E volume eficiente para o período i ;
- iii) Vf fator de volume;
- iv) V_i^B volume base para o período i .

A equação (3.7) é utilizada para o cálculo dos novos volumes a serem negociados. De salientar, que o volume eficiente representa os volumes mínimos de acordo com as medidas de eficiência energética identificadas e os volumes base representam os volumes máximos, ou seja, os volumes reais antes da aplicação de qualquer medida de eficiência energética. O fator de volume Vf permite determinar, ao longo da negociação, a proposta seguinte no que diz respeito aos valores do volume de energia. Análogamente, o fator de preço Pf , permite igualmente calcular a proposta seguinte de preços de energia, na forma normalizada, afim de serem encontrados novos volumes de energia.

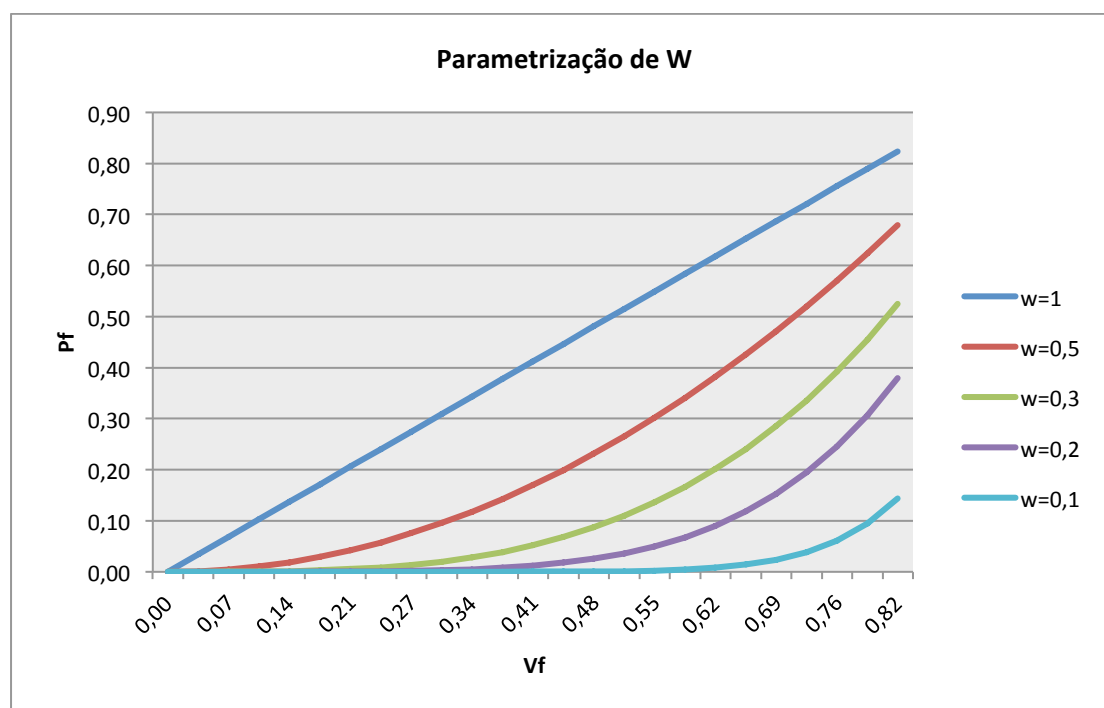


Figura 3.4 – Função para o cálculo do parâmetro de volume w .

Através da análise da figura 3.4, podem retirar-se algumas conclusões. Na ótica do consumidor, se os preços oferecidos pelo vendedor forem elevados, as necessidades deste reduzir o volume de energia em negociação são menores. Ou seja, se os preços não forem favoráveis ao agente Ag_c , a tendência é baixar os volumes até ao limite mínimo dos mesmos. De outra forma, se as contrapropostas de preços do agente Ag_v forem boas para o agente Ag_c , ele não vai conceder nos volumes iniciais (volumes elevados), de modo a que consiga obter a maior quantidade de energia, logo maior benefício.

Em suma, esta estratégia pode ser definida da seguinte forma: quanto menores forem os preços propostos pelo retalhista, menor vai ser a redução de volumes por parte do comprador.

Capítulo 4

Caso Prático: A Biblioteca da FCT

Este capítulo começa por apresentar o edifício escolhido para o estudo prático, a Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, sendo de realçar a descrição dos equipamentos instalados. De seguida, apresenta-se as previsões de consumos parciais de eletricidade e descreve-se a análise térmica do edifício. Posteriormente, descrevem-se as medidas de gestão da procura e eficiência energética propostas na presente dissertação. Por fim, descreve-se uma contratação bilateral com participação ativa dos consumidores, efectuada com base no simulador multi-agente SIMEPAC, e são apresentadas as conclusões finais.

4.1 Introdução

O caso prático da presente dissertação tem como finalidade estudar e aplicar medidas de PAC, e neste sentido envolverá consumos energéticos diferenciados por períodos horários e por áreas de consumo, como por exemplo iluminação, equipamentos e climatização. A biblioteca da FCT surge neste contexto como uma hipótese viável e completa no que diz respeito aos requisitos técnicos e às necessidades práticas.

O caso prático envolve também a contratação bilateral no mercado retalhista, nomeadamente a interação entre um agente de retalho e um consumidor final, neste caso a biblioteca. Os preços são reais e correspondem aos preços praticados no último contrato estipulado entre a empresa retalhista e a FCT. Os perfis de cargas são igualmente reais, visto que foram obtidos por leituras e medições efectuadas diretamente no edifício. O contrato tem por base quatro preços e quatro volumes de energia e terá a duração de um ano. Ou seja, de forma sucinta, pode-se referir que o consumidor final irá comprar eletricidade que um retalhista obtém em primeira instância, proveniente de um produtor.

No entanto, salienta-se que esta secção estende o trabalho descrito no artigo anteriormente referido, no que diz respeito à eficiência energética no edifício universitário, Biblioteca da FCT, bem como à negociação de um novo contrato de energia elétrica. O contrato tem como principal objetivo diminuir o custo do cliente, com a energia elétrica.

4.2 Edifício: Planta, Equipamentos e Tarifários

A Biblioteca da FCT foi construída em 2005, sendo composta por 4 pisos acima do solo e um piso parcialmente enterrado. Totaliza uma área útil de 6312 m² e possui uma potência nominal de aquecimento/arrefecimento superior a 25 kW, estando legalmente enquadrada no regulamento dos sistemas energéticos e de climatização dos edifícios (RSECE). O edifício encontra-se em ótimo estado de conservação, em todos os pisos e áreas. Está protegido por sistemas de videovigilância, e possui sistema de segurança contra incêndios, extintores, bocas-de-incêndio, escadas de emergência e respectiva sinalética obrigatória.

A biblioteca também possui um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), estando assim assegurada a devida climatização de salas, gabinetes e do auditório. Os 5 elevadores do edifício estão todos adaptados para pessoas com mobilidade reduzida. No edifício trabalham cerca de 20 funcionários,

tendo o mesmo 434 lugares sentados, 40 gabinetes de trabalho individual, 6 gabinetes de trabalho em grupo, 45 computadores fixos, e uma utilização média de 824 pessoas por dia.

4.2.1 Planta

A Biblioteca dispõe-se da seguinte forma:

Piso -1: 4 elevadores, WC duplo, sala de exposições, auditório, preguiçómetro (sala de leitura informal), bar, pátio exterior e depósitos (monografia, periódicos e audiovisuais), tal como se representa na figura 4.1.

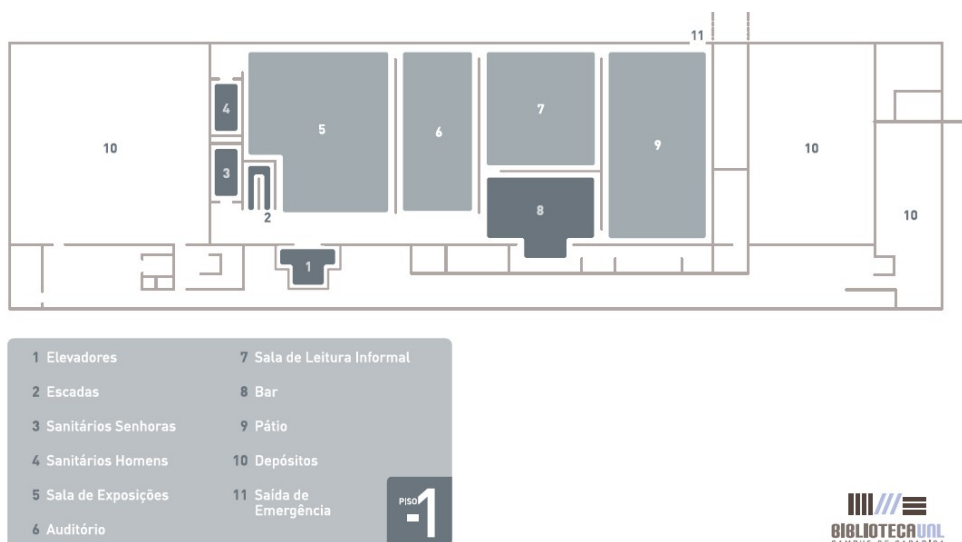


Figura 4.1 - Planta referente ao piso -1.

Piso 0: 2 WC duplos + 1 WC triplo, gabinetes de apoio à Direção (GAD), sala multiusos, sala amarela (sala de leitura informal) e sala Ágora (sala de leitura), como ilustrado na figura 4.2.

Piso 1: 4 elevadores, WC duplo, WC de serviço, sala de Serviços Gerais, sala verde (sala de leitura), sala laranja (recepção) e 4 gabinetes de trabalho em grupo, como apresentado na figura 4.3.



Figura 4.2 - Planta referente ao piso 0.

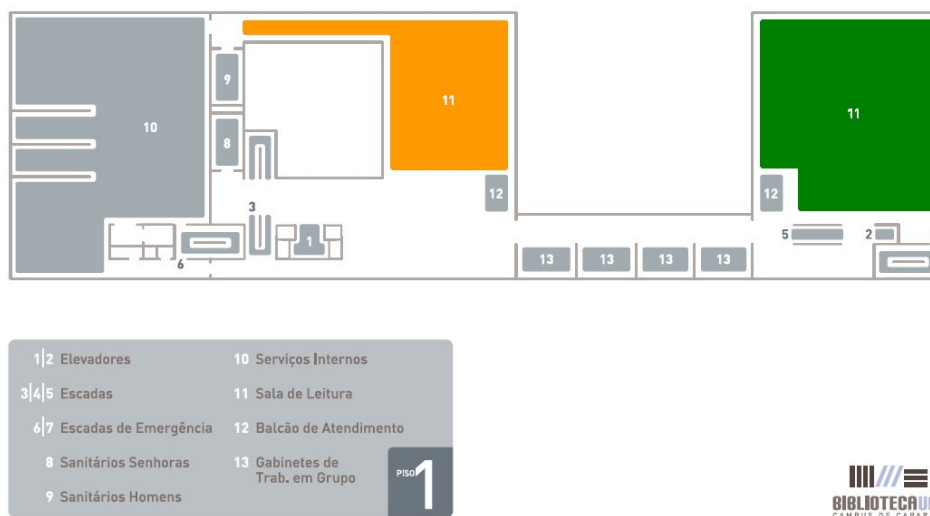


Figura 4.3 - Planta referente ao piso 1.

Piso 2: 4 elevadores, 2 WC duplos, sala azul (sala de leitura), sala de revistas e 4 gabinetes de trabalho em grupo, como ilustrado na figura 4.4.

Piso 3: último andar do edifício, constituído por 40 gabinetes individuais e 2 elevadores, tal como se representa na figura 4.5.

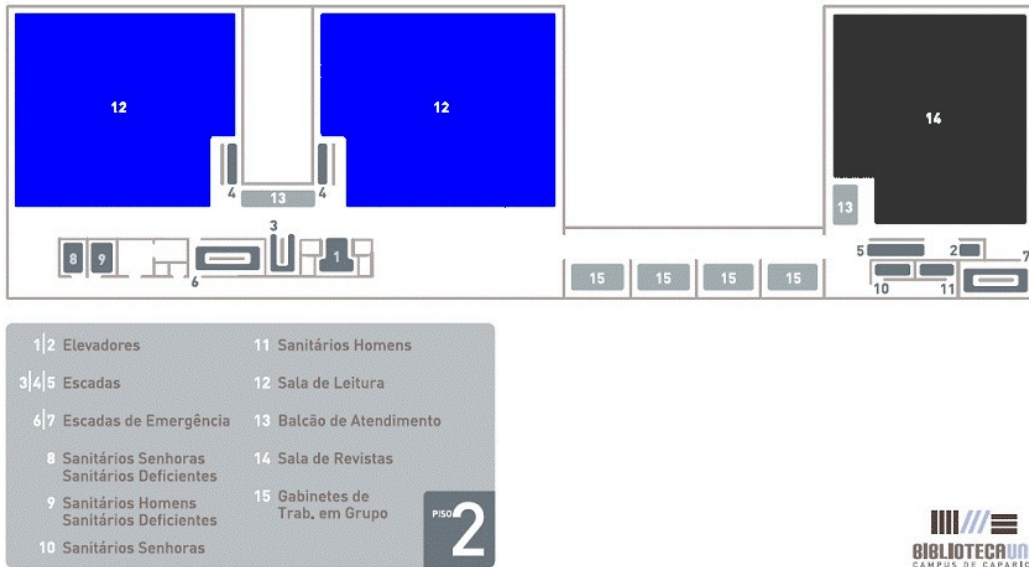


Figura 4.4 - Planta referente ao piso 2.

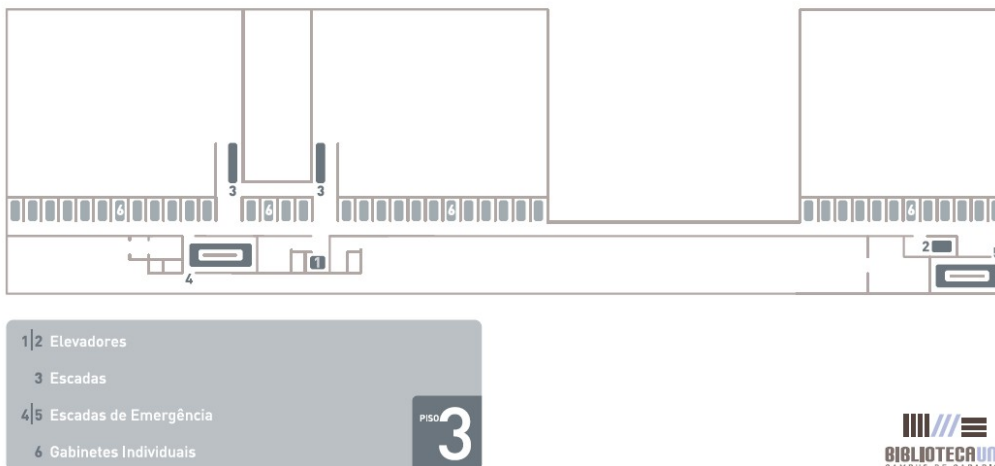


Figura 4.5 - Planta referente ao piso 3.

4.2.2 Sistema Térmico e Equipamentos Elétricos

A biblioteca dispõe de um sistema de climatização centralizado para aquecimento e arrefecimento (AVAC). O sistema é do tipo 4 tubos, pelo que tem capacidade de produzir quente e frio em simultâneo, isto é, designam-se dois tubos para o sistema de arrefecimento (envio e retorno de água fria) e dois tubos para o sistema de aquecimento (envio e retorno de água quente). Estas centrais servem oito unidades de tratamento de ar (UTA's), que fazem o tratamento de ar de acordo com as zonas que servem. As suas principais características são apresentadas na tabela 4.1.

O sistema de climatização é composto pelo sistema de aquecimento e

arrefecimento, que têm um funcionamento muito semelhante. A grande diferença consiste em usar para o aquecimento uma caldeira para aquecer água e para o arrefecimento um *chiller* para produzir água fria. Após o aquecimento ou arrefecimento da água, esta é bombeada e conduzida até às UTA's, onde percorre a respetiva serpentina, aquecendo ou arrefecendo o ar insuflado.

Tabela 4.1 - Características da central de arrefecimento e aquecimento.

AVAC		
Marca/Modelo		Características
Central de Arrefecimento	Lennox MCC 282 PK LN	Chiller elétrico com potência de arrefecimento de 293 kW.
Central de Aquecimento	Roca CPA 130	Caldeira a gás com potencia útil de 151,2 kW e rendimento de 93%

Após este processo, o “ar transformado” é colocado em circulação nas condutas de ar e dirigido para as salas/espacos do edifício. A água, após realizar a sua função, faz o percurso contrário, para ser novamente aquecida ou arrefecida. Este processo é repetido sempre que necessário, visto que ambos os sistemas são de ciclo fechado. Os fluxogramas dos sistemas são apresentados nas figuras 4.6 (arrefecimento) e 4.7 (aquecimento).

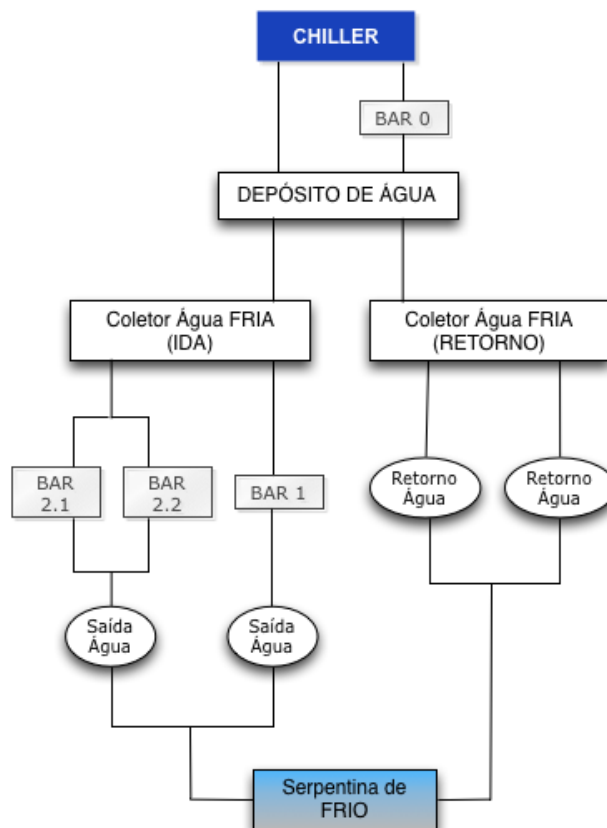


Figura 4.6 - Sistema de arrefecimento.

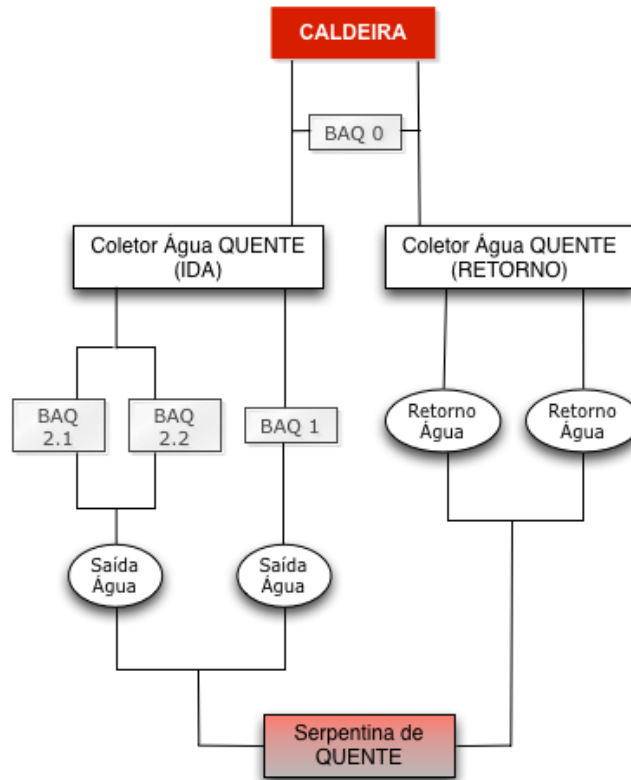


Figura 4.7 - Sistema de aquecimento.

4.2.2.1 Chiller Elétrico

O sistema de climatização a frio é composto por um *chiller* alimentado a eletricidade, o qual possui um depósito de água gelada com capacidade para 1500 litros. O *chiller* é da marca Lennox®, modelo MCC 282 PK LN, do tipo ar exterior/água com uma potência de arrefecimento de 293 kW. A temperatura da água de saída é aproximadamente de 7°C, sendo a temperatura da água de retorno de cerca de 12°C (estimado). A rede de águas frias é impulsionada por meio de 3 bombas circuladoras (BAR), como indicado na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Características das bombas circuladoras de arrefecimento.

Bombas Circuladoras (BAR)				
	Marca/Modelo		Potência [kW]	Caudal [l/h]
BAR 0	Grundfos	LM 80 - 200/187	2,2	43100
BAR 1	Grundfos	TP 100 - 120/2	2,2	42373
BAR 2	Grundfos	TPD 32 - 60/2	1,8	1792

Tabela 4.3 – Características das bombas circuladoras de aquecimento.

Bombas Circuladoras Aquecimento (BAQ)						
	Marca/Modelo		Pot. Velo. 1 [W]	Pot. Velo. 2 [W]	Pot. Velo. 3 [W]	Caudal [l/h]
BAQ 0	Grundfos	UPS 32 - 30F	60	70	115	3252
BAQ 1	Grundfos	UPS 50 - 180F	760	850	1000	15063
BAQ 2	Grundfos	UPSD 32 - 80F	140	210	245	439

4.2.2.2 Caldeira a Gás

O sistema de climatização a quente é composto por uma caldeira centralizada alimentada a gás natural proveniente da rede de distribuição. Este aquecimento central não alimenta a rede de águas quentes sanitárias (AQS).

A caldeira a gás é da marca Roca[®], modelo CPA 130, com uma potência útil de 151,2 kW (130000 kcal/h), e um rendimento do combustível de 93%, possuindo uma capacidade para 170 litros de água. O queimador é da marca Roca[®], modelo CRONO 20 G2 (2 etapas) e está adaptado à potência da caldeira e funciona a gás natural. Inclui todos os acessórios de regulação, funcionamento automático e segurança de corte de gás. A temperatura da água na rede deverá ser aproximadamente de 75°C, nunca ultrapassando os 85°C, garantindo assim uma temperatura de 70°C no ponto mais desfavorável da instalação.

A rede de águas quentes é propulsionada por intermédio de 3 bombas circuladoras, descritas na tabela 4.3.

4.2.2.3 Unidade de Tratamento de Ar (UTA)

Ao sistema de climatização centralizado estão associadas oito UTA's (UTA 1 a UTA 8), da marca Evac[®], possuindo baterias de aquecimento e arrefecimento (tabela 4.4). As UTA 2 e UTA 3 possuem ainda variadores de velocidade para extração e insuflação, da marca Danfoss[®] e modelo série VLT 2800 (2822 para extração e 2855 para insuflação). A UTA 7 possui humidificador, da marca Elsteam[®] modelo K3 – 220 e bateria de reaquecimento. As oito UTA's estão direcionadas para várias salas ou para uma sala específica, como se pode verificar pela tabela 4.5.

O edifício cumpre o mínimo de 30 m³/h de ar novo, sendo que dispõe de sensores para variar a taxa de renovação de ar em função da qualidade do mesmo. A zona do bar cumpre o requisito de 35 m³/h de ar novo, sendo que dispõe igualmente de sensores para variar a taxa de renovação de ar em função da qualidade do mesmo.

Tabela 4.4 - Características detalhadas das oito UTA's instaladas no edifício.

Unidades de Tratamento de Ar (UTA)								
Quantidade	8							
Identificação	UTA 1	UTA 2	UTA 3	UTA 4	UTA 5	UTA 6	UTA 7	UTA 8
Marca	Evac							
Modelo	UTA 30 plus 50	UTA 30 plus 50	UTA 60 plus 50	UTA 20 plus 50	UTA 10 plus 50	UTA 40 plus 50	UTA 20 plus 50	UTA 60 plus 50
Sistema Climatização Associado	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira	Chiller/ Caldeira
Potência Arrefecimento [kW]	26,86	26,32	65,32	17,11	9,19	26,17	9,98	52,52
Potência Arrefecimento Total [kW]	33,2	32,8	82,99	21,21	11,08	31,79	11,34	65,8
Potência Aquecimento [kW]	23	22,51	99,15	16,06	8,49	27,63	11,79	56,3
Potência Aquecimento Total [kW]	23	22,51	99,15	16,06	8,49	27,63	11,79	56,3
Caudal Insuflado [m ³ /h]	5400	5400	13180	2700	1500	5700	3120	11300
Caudal Extraído [m ³ /h]	4900	5400	12350	2500	1300	4900	3020	10790
Caudal Nominal Ar Novo [m ³ /h]	3000	2600	6500	2700	1500	3000	430	6980
Caudal Real Ar Novo [m ³ /h]	2310	920	5250	2700	1500	1920	430	7340
Ar Novo [%]	43	17	40	100	100	34	14	67
Caudal Extraído IS [m ³ /h]	500	0	830	200	200	800	100	110
Caudal Água Refrigerada [l/h]	5082	5082	12747	3306	1854	5100	1792	11081
Caudal Água Aquecida [l/h]	1499	1499	5426	1163	664	1499	440	4815
Função	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex	Aq./Arr./AN./Ex ./Hum./Desum.	Aq./Arr./AN./Ex
Piso/Zona Associado	Sala Azul Ala Esq.	SGDDB	P0, P1, P2	Auditório	Preguiçometro e Bar	P2 e P3	P -1	P0, P1, P2, P3
Alimentação Ventiladores	Trifásica	Trifásica	Trifásica	Trifásica	Trifásica	Trifásica	Trifásica	Trifásica
Potência Ventiladores [kW]	1,7/0,8	1,2/1,2	3,9/2	0,7/0,4	0,25/0,2	1,8/0,9	0,5/0,5	2,5/1,7

Tabela 4.5 - Percentagem de ar insuflado por UTA e por local.

	Ident. UTA	Ident. Local	Quant. [%]	PArr [kW]	PAq [kW]
Piso -1	UTA 7	10 esq.	48	5451,9	5668,3
	UTA 7	10 dir.	17	1962,7	2040,6
	UTA 8	10 meio	35	3925,4	4081,2
	UTA 4	6	100	21210,0	16060,0
	UTA 5	7 e 8	100	11080,0	8490,0
Piso 0	UTA 3	6 + anexos	37	30350,0	5668,3
	UTA 3	7	44	36520,0	43630,0
	UTA 8	10	27	18050,0	15440,0
Piso 1	UTA 2	10	100	32800,0	22510,0
	UTA 3	11 laranja	17	6040,0	7220,0
	UTA 3	13	4	1200,0	1430,0
	UTA 8	11 verde	20	13280,0	11360,0
Piso 2	UTA 1	12 esq.	100	33200,0	23000,0
	UTA 3	15	8	1320,0	1580,0
	UTA 6	12 direita	95	30120,0	26180,0
	UTA 8	14	52	34470,0	29490,0
Piso 3	UTA 6	corredor	5	160,7	104,5

Os ventiladores existentes servem, na sua grande maioria, para fazer extração de ar viciado das instalações sanitárias (I.S.) e evitar a acumulação de maus cheiros. Na tabela 4.6 estão presentes as principais características dos ventiladores de extração.

Tabela 4.6 - Características dos ventiladores de extração.

Caracterização dos Ventiladores de Extração								
Identificação	VEH	VE 0.1	VE 0.2	VE 0.3	VE 1.1	VE 1.2	VE 2.1	VE 2.2
Marca	S&P	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P	S&P Mixvent	S&P Mixvent
Modelo	CK - 60F	TD - 160/100	TD - 160/101	TD - 160/102	TD - 500/160	EDM 100 S	TD - 1300/25 0	TD - 500/150
Potência [W]	160	23	23	23	68	13	110	68
Caudal Máximo [m ³ /h]	625	130	130	130	535	95	950	535
Caudal Nominal [m ³ /h]	570	60	60	60	350	50	400	300
Caudal Real Extraído [m ³ /h]	570	60	60	60	50	1100	110	120
Função	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração
UTA	4,5,6 e 7	3	8	6 e 8	6	1,3,4 e 6	6	4
Piso Tratado	P-1, P2	P0,P1 e P2	P0, P1, P2	P1, P2 e P3	P2 e P3	P0, P1, P2	P2 e P3	Auditório

4.2.2.4 Iluminação

No que diz respeito à iluminação, o edifício faz uso de uma mistura de lâmpadas, entre halogéneas, fluorescentes, incandescentes e projetores de iluminação, num total de 52,58 kW, como indicado na tabela 4.7.

4.2.2.5 Computadores

No edifício, o uso de computadores é um denominador comum. Estes podem-se dividir em computadores de secretária, mais conhecidos por *desktop*, e computadores portáteis (dos alunos). Em média, existem cerca de 122 portáteis, que são ligados diariamente por um número variado de horas. Existem 71 computadores de secretária, sendo 3 deles iMacs. Todos os computadores prefazem um total de 24,6 kW, como se pode verificar na tabela 4.8.

4.2.2.6 Outros Equipamentos

Para além de todos os equipamentos descritos acima, existem ainda equipamentos que têm consumo energético relevante. São de realçar 3 fotocopiadoras e 7 secadores de mãos, como indicado na tabela 4.9.

Tabela 4.7 - Características da iluminação do edifício.

Iluminação		
Tipo	Nº	Potência Total [kW]
Lâmpadas variadas	619	27,98
Projetores (300 W)	66	19,8
Projetores (150 W)	32	4,8
Total	717	52,58

Tabela 4.8 - Número de computadores e sua potência total.

Computadores		
Tipo	Nº	Potência Total [kW]
Desktop	68	20,4
Portáteis	122	3,36
iMacs	3	0,84
Total	193	24,6

Tabela 4.9 - Características de outros equipamentos de relevo.

Outros Equipamentos		
Tipo	Nº	Potência Total [kW]
Fotocopiadoras	3	1,74
Secadores	7	11,48
Total	10	13,22

4.2.3 Tarifários e Dados da Fatura

Para efeitos de estudo foi considerado que a biblioteca da FCT é um cliente dentro de uma rede de média tensão, possuindo uma tarifa fixa, que neste caso em particular, corresponde ao tarifário praticado pela FCT em todo o campus. Logo a biblioteca tem um tarifário regular e outros dados de contrato, que constam na faturação mensal. O tarifário é o “Ciclo Semanal Opcional para os consumidores de MAT, AT e MT em Portugal Continental”, definido pela ERSE e que é apresentado detalhadamente na tabela 4.10 e 4.11. Este tarifário é composto por quatro períodos (tarifa quadri-horária): ponta, cheia, vazio e super vazio, e tem os seus preços (€/kWh) de energia ativa definidos anualmente. Analisando as faturas, verifica-se que estas são complexas e bastante detalhadas. Dado que o contrato estabelecido é de Média Tensão (MT), existem engargos acrescidos que têm de ser pagos.

O custo da energia elétrica é então definido pelo preço das seguintes parcelas:

- Energia ativa (preço anual estipulado com o fornecedor em €/kWh);
- Redes de energia ativa (preço anual estipulado pela ERSE em €/kWh);
- Energia reativa (preço anual estipulado pela ERSE em €/kvarh); potência contratada (associada ao número de horas de ponta a que a energia foi consumida em kW);
- Imposto especial de consumo de eletricidade de 0,001€/kWh (estipulado pela ERSE).

De seguida, nas tabelas 4.10 e 4.11 apresentam-se os diferentes ciclos para a hora legal de verão e inverno. Para efeitos de estudo foi considerado que a Biblioteca da FCT é um cliente dentro da rede de Média Tensão do campus da FCT-UNL.

Tabela 4.10 - Ciclo semanal opcional para hora legal de verão.

Ciclo Semanal Opcional para MAT, AT e MT				
Período de hora legal de verão - abril a setembro				
	Dias úteis	Sábado	Domingo	Tarifa [€/kWh]
Ponta	14:00 - 17:00			0,0712
Cheia	00:00 - 00:30	10:00 - 13:30		0,0684
	07:30 - 14:00	19:30 - 23:00		
	17:00 - 24:00			
Vazio	00:30 - 02:00	00:00 - 03:30	00:00 - 04:00	0,0571
	06:00 - 07:30	07:30 - 10:00	08:00 - 24:00	
		13:30 - 19:30		
		23:00 - 00:00		
Super Vazio	02:00 - 06:00	03:30 - 07:30	04:00 - 08:00	0,0566

Tabela 4.11 – Ciclo semanal opcional para hora legal de inverno.

Ciclo Semanal Opcional para MAT, AT e MT				
Período de hora legal de inverno - outubro a março				
	Dias úteis	Sábado	Domingo	Tarifa [€/kWh]
Ponta	17:00 - 22:00			0,0712
Cheia	00:00 - 00:30	10:30 - 12:30		0,0684
	07:30 - 17:00	17:30 - 22:30		
	22:00 - 24:00			
Vazio	00:30 - 02:00	00:00 - 03:00	00:00 - 04:00	0,0571
	06:00 - 07:30	07:00 - 10:30	08:00 - 24:00	
		12:30 - 17:30		
		22:30 - 24:00		
Super Vazio	02:00 - 06:00	03:00 - 07:00	04:00 - 08:00	0,0566

Na presente dissertação, salienta-se que a negociação de um novo contrato irá apenas ser realizada para a energia ativa, sendo esta a única que pode ser controlada pelo comprador, dado que todas as restantes são definidas por terceiros.

4.3 Análise Térmica

Após ser conhecido o funcionamento do edifício, dimensões e equipamentos, foi necessário efetuar uma análise térmica. Esta consiste no estudo do edifício relativamente às suas temperaturas e ao modo como estas variam ao longo do dia, e nas diferentes estações do ano.

Foi utilizado o *software* DesignBuilder[®], nomeadamente para efetuar a análise térmica, análise energética, modelização 3D e design do edifício. O DesignBuilder[®] permitiu obter um modelo detalhado do edifício, constituído pela sua geometria de

construção, estrutura externa, portas e janelas, materiais de construção, ocupação do edifício, equipamentos de recheio e AVAC. Os dados usados para modelização foram os descritos nas secções 4.2 e 4.3, mais precisamente as plantas da biblioteca em CAD, os materiais usados na construção, as características do sistema de aquecimento e refrigeração, bem como pormenores do projeto de construção, estimativa da ocupação média do edifício, informações detalhadas, e quantidades dos equipamentos de iluminação e de outros equipamentos instalados, como computadores, ventiladores, máquinas fotocopiadoras, secadores de mãos e projetores de iluminação. Para a análise, foi projetada uma utilização média do edifício de 824 pessoas.

Considerou-se que a localização do edifício seria em Lisboa e, para a realização das simulações, foram usados dados meteorológicos de 2002. A razão para os dados serem antigos prende-se com o facto destes serem disponibilizados gratuitamente, ao contrário dos mais recentes. De salientar, que o sistema de climatização (AVAC) é parcialmente auto-dimensionado pelo *software*, sendo controlado pela temperatura no interior através de sensores.

Neste edifício, o sistema de climatização tem ligação com todos os espaços, à exceção das casas de banho, que apenas possuem ventiladores de extração. Em relação às janelas, estas foram consideradas como sendo de vidro duplo, com caixa de ar entre os vidros.

Os equipamentos instalados no edifício constam no modelo criado, bem como o tarifário (preços e períodos horários), tendo sido descritos detalhadamente no secção 4.2.

Existem outros elementos essenciais a considerar no modelo, como por exemplo os horários de funcionamento da biblioteca e dos equipamentos, que são uma parte essencial dos dados para uma simulação correta do edifício. De seguida, são apresentadas essas informações e algumas aproximações necessárias para a modelação. Em primeiro lugar, a FCT, onde está inserida a Biblioteca, segue o cronograma Nacional do ano letivo, estando aberta todo o ano, à exceção do mês de agosto, fins-de-semana e feriados. No entanto, para simplificar a modelação, considerou-se que a biblioteca estava também aberta aos feriados e fins-de-semana. O horário normal de funcionamento da biblioteca é das 9h às 20h. O sistema de aquecimento central trabalha nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Por sua vez, o sistema de arrefecimento funciona todo o ano. O sistema de AVAC inicia o seu funcionamento todos os dias úteis às 7h e termina pelas 19h. A iluminação é sempre ligada no período de funcionamento, à exceção da iluminação de segurança, que está sempre ligada. Para os computadores de secretária, foi estipulado que estivessem ligados durante 7h todos os dias, com um consumo

dividido entre as 10h e as 17h, que são os horários onde normalmente existe a maior taxa de ocupação do espaço. Devido às necessidades dos sistemas informáticos e de segurança da biblioteca, existem 2 computadores que estão ligados. Os projetores foram configurados para funcionar durante 3h, que foram distribuídas por todo o dia. O mesmo sucede com as fotocopiadoras, que foram projetadas para funcionarem 1h por dia, sendo o seu consumo distribuído pelas restantes horas do dia. Os secadores de mãos das casas de banho também foram considerados como estando em utilização durante 1h por dia, e o seu consumo distribuído da mesma forma.

Como forma de validar o modelo criado, apresentar detalhadamente os resultados e observar a dinâmica de consumo diário do edifício, foram escolhidos dois dias para análise. Assim, foram escolhidos o dia 25 de junho, como exemplo de um dia típico de verão, e o dia 3 de janeiro, como exemplo de um dia típico de inverno, ambos em Lisboa. Estes dois dias são essenciais para o desenvolvimento de medidas de PAC, porque irão possibilitar o estudo pormenorizado dos consumos de energia dos equipamentos hora a hora, o que irá permitir encontrar, por exemplo, situações de corte de consumos elétricos em situações de pico.

4.3.1 Dia de inverno

Para o dia tipo de inverno, a variação de consumo energético, o conforto e os perfis de consumo de combustível são apresentados nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10.

Os resultados, em termos de consumo base de eletricidade por sectores e consumo de energia elétrica, distribuídos por períodos, bem como os custos associados, são apresentados nas tabelas 4.12 e 4.13. A colocação em funcionamento do sistema de aquecimento é claramente visível, com base no consumo de gás, das 7h até ao seu encerramento às 19h, tal como o consumo de eletricidade do sistema de iluminação. O consumo de eletricidade é composto principalmente por computadores e iluminação, existindo algum consumo remanescente depois da biblioteca fechar, relacionado com as luzes de emergência e computadores, que ficam ligados 24 horas por dia.

A temperatura do ar permanece perto dos 20°C, com um ligeiro desvio devido à falta de aquecimento nas casas de banho, o que afeta a temperatura média do edifício.

Os perfis de consumos totais de combustível no inverno são moldados principalmente pelo sistema de aquecimento, através do consumo de gás natural, e pela energia elétrica, através da iluminação e dos computadores.

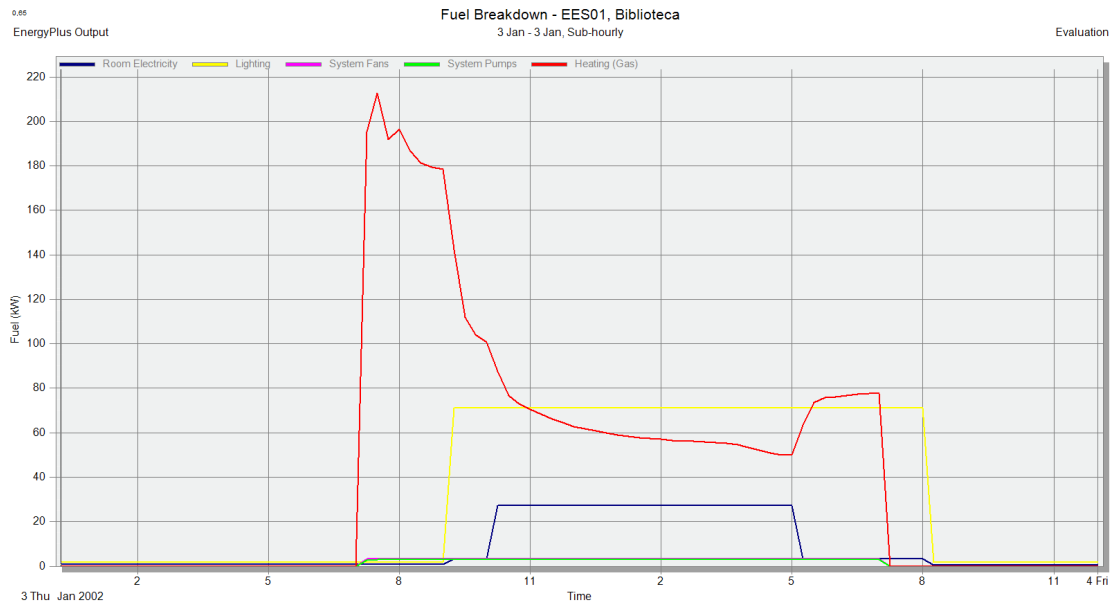


Figura 4.8 – Distribuição de consumo energético para um dia de inverno.

Os resultados de custos mostram que estes estão distribuídos uniformemente entre gás e eletricidade, e os resultados do consumo por período mostram que a maior parte do consumo energético foi efetuado durante o período de cheia e de ponta. De salientar, que os consumos de gás apenas interessam indiretamente para a presente dissertação, isto é, para além de serem parte integrante da análise efetuada, esses resultados são refletidos no funcionamento das UTA's, através das bombas necessárias à circulação da água quente, que fazem parte do AVAC. Este facto aplica-se tanto à análise do dia de inverno como do dia de verão.

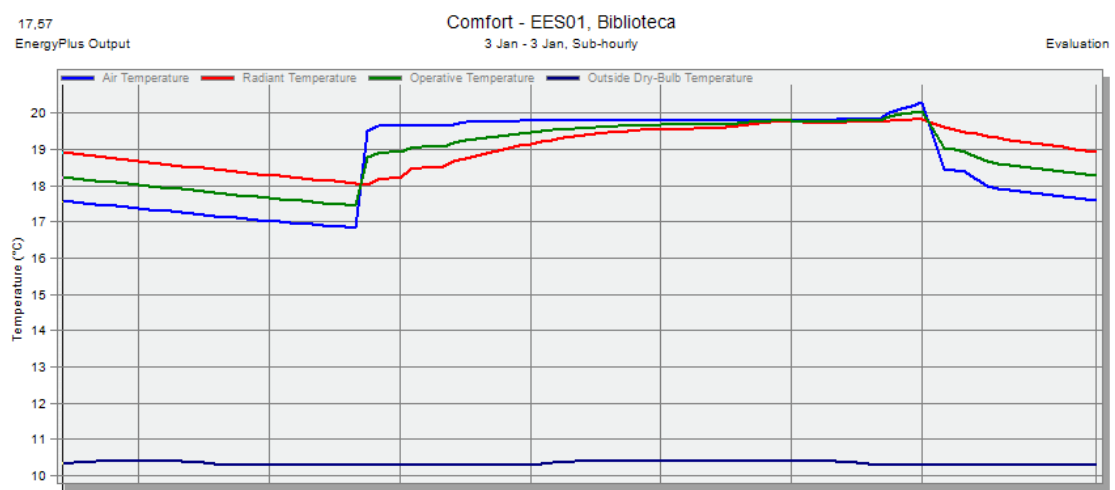


Figura 4.9 – Perfil de conforto para um dia de inverno.

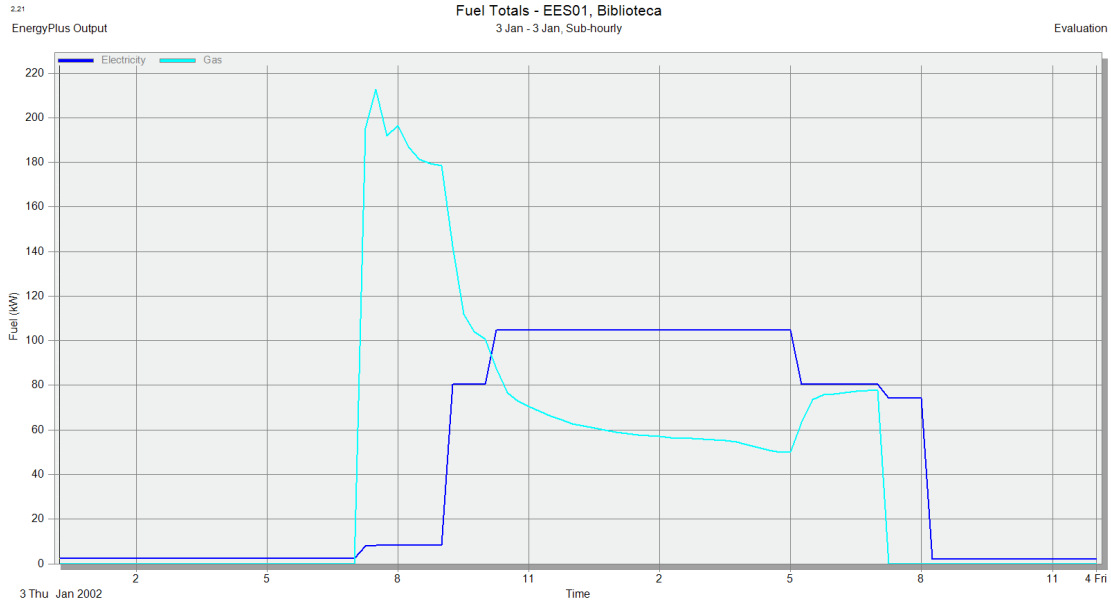


Figura 4.10 – Perfis do consumo de gás e eletricidade para um dia de inverno.

Tabela 4.12 – Consumo base de eletricidade num dia de inverno.

	Eletricidade [kWh]
UTA's	798,08
Luzes	391,06
Equipamentos	229,47
Utilização Total	1418,61

Tabela 4.13 - Consumo elétrico dividido por períodos horários e respetivos custos.

	Consumo [kWh]	Tarifa [€/kWh]	Custo [€]
Ponta	281,25	0,0712	20,03
Cheia	1056,84	0,0684	72,29
Vazio	73,20	0,0571	4,18
Super Vazio	7,32	0,0566	0,41
Totais	1418,61		96,91

4.3.2 Dia de Verão

Para o dia tipo de verão, a variação de consumo energético, conforto e perfis de consumo de combustível são apresentados nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13.

Os resultados, em termos de consumo base de eletricidade por setores e consumo de energia elétrica distribuídos por períodos, bem como os custos associados, são apresentados nas tabelas 4.14 e 4.15.

A inicialização do sistema de arrefecimento é claramente visível às 7h da manhã e a sua paragem de funcionamento pelas 19h, como se pode comprovar nas figuras seguintes (figura 4. A temperatura do ar permanece perto dos 24°C, com um ligeiro desvio devido à falta de arrefecimento nas casas de banho, afetando a temperatura média do edifício, como foi igualmente visto no caso anterior. O perfil de consumo total de combustível, que neste caso é apenas composto por eletricidade, é principalmente moldado pelo sistema de arrefecimento, iluminação e computadores.

Os resultados mostram que os custos estão distribuídos uniformemente entre gás e eletricidade, e os resultados do consumo por períodos horários mostram que a maior parte do consumo de energia eléctrica foi efetuado durante o período de cheia e de ponta.

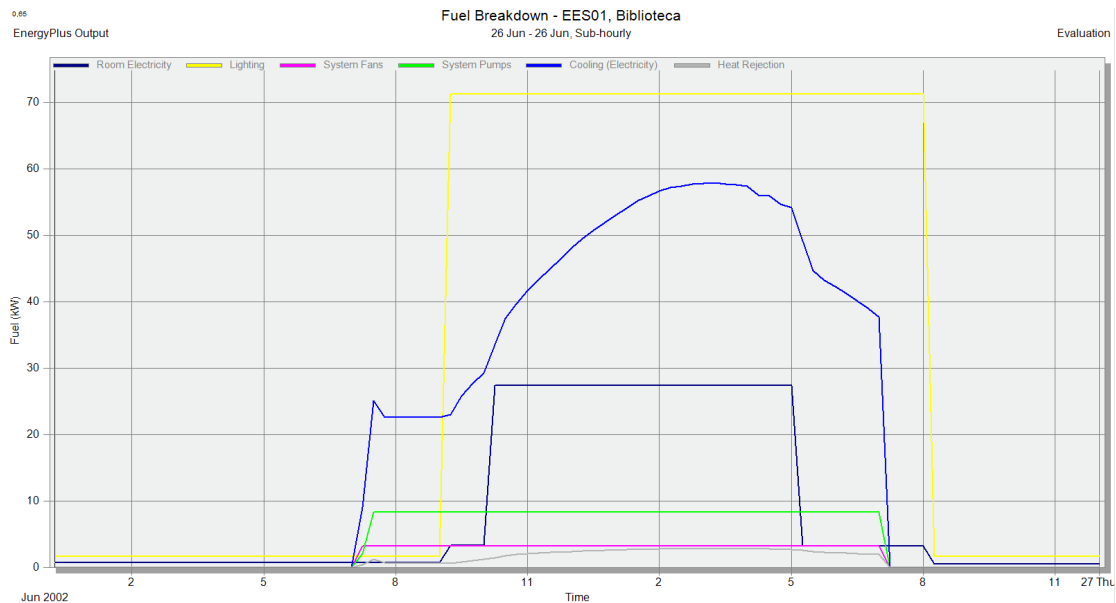


Figura 4.11 - Distribuição de consumo energético para um dia de verão.

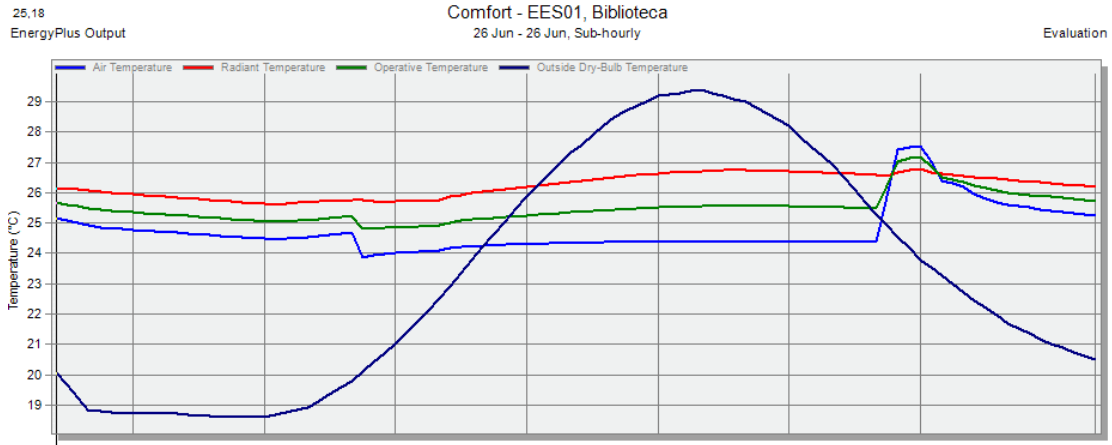


Figura 4.12 - Perfil de conforto para um dia de verão.

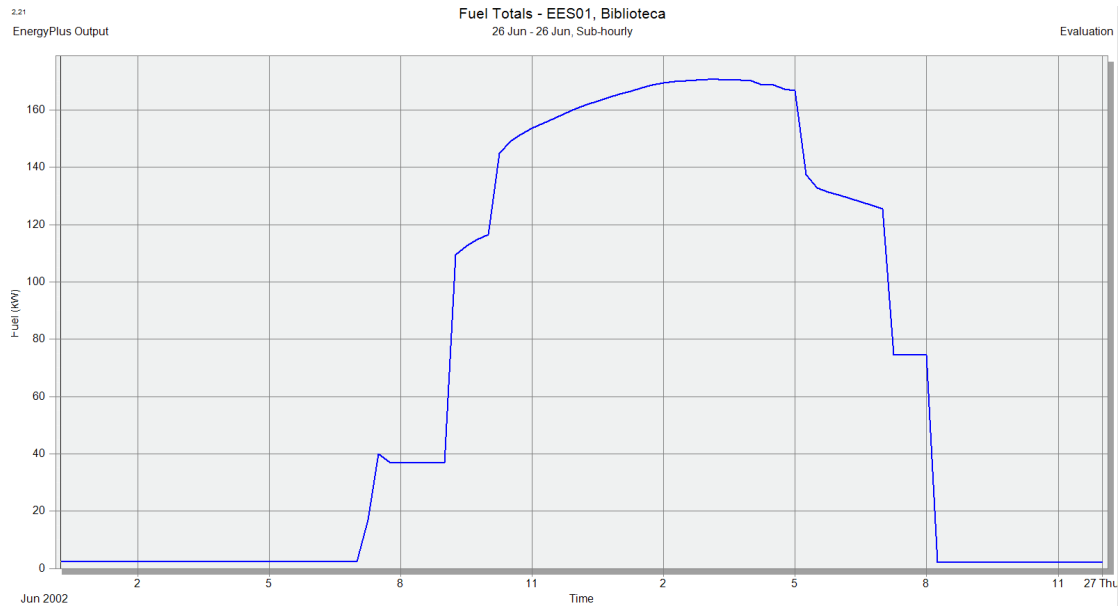


Figura 4.13 - Perfil do consumo de eletricidade para um dia de verão.

Tabela 4.14 - Consumo base de eletricidade num dia de verão.

	Eletricidade [kWh]
UTA's	595,75
Iluminação	390,68
Equipamentos	231,11
Utilização Total	1217,53

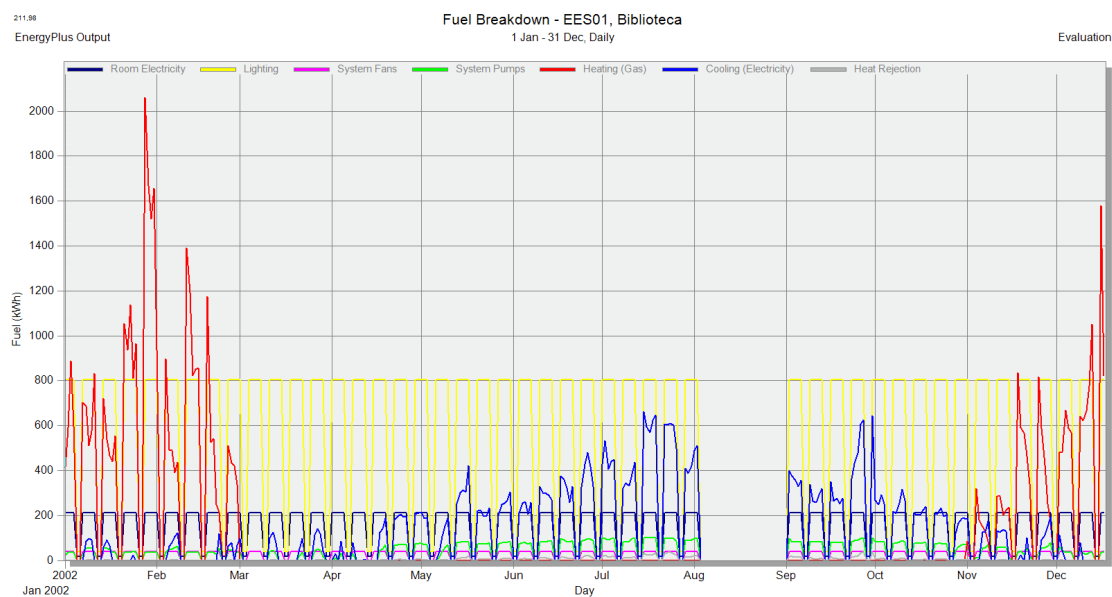
Tabela 4.15 - Consumo elétrico dividido por períodos horários e respetivos custos.

	Consumo [kWh]	Tarifa [€/kWh]	Custo [€]
Ponta	352,96	0,0712	25,13
Cheia	842,50	0,0684	57,63
Vazio	14,75	0,0571	0,84
Super Vazio	7,32	0,0566	0,41
Totais	1217,53		84,01

4.3.3 Análise Anual

No seguimento das análises anteriores, para melhor perceber a reação do edifício às variações de temperatura ao longo do ano, realizou-se uma simulação anual, com dados de temperaturas de 2002. Os resultados são apresentados nas figuras 4.14 e 4.15. Como era esperado, o consumo de gás natural está presente apenas nos meses de inverno, ao contrário da eletricidade, que tem um consumo aproximadamente constante ao longo do ano, referente à iluminação. Em relação à climatização, o consumo de eletricidade aumenta consideravelmente nos meses de verão, entre maio e outubro. Por sua vez, existe algum resfriamento noutras alturas do ano, o que pode indicar uma certa ineficácia do edifício e do sistema de climatização.

A temperatura do ar no edifício enquadra-se, normalmente, entre os limites de 20°C e 24°C, e a maioria dos pontos fora desta gama estão relacionados com as horas em que o edifício está fechado e os fins-de-semana.

**Figura 4.14** – Perfil energético resultante da análise anual ao edifício.

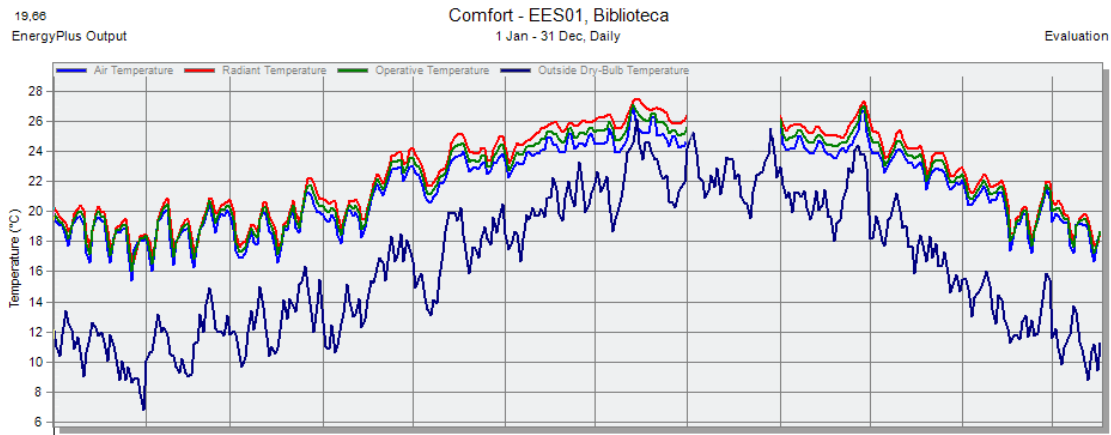


Figura 4.15 – Perfil de conforto resultante da análise anual do edifício.

Em relação à figura 4.15, para além das linhas a azul que representam a temperatura do ar na biblioteca e a temperatura exterior ao edifício (*outside dry-bulb temperature*), definem-se as curvas da temperatura radiante (*radiant temperature*) e temperatura de operação (*operative temperature*).

A temperatura radiante é uma média de temperaturas das superfícies que rodeiam um determinado ponto com o qual ele trocará a radiação térmica. Se o ponto está exposto ao exterior, pode incluir a temperatura do ar ou até a radiação solar.

A temperatura de operação é uma medida simplificada do conforto térmico humano, resultante do balanço entre a temperatura do ar, da temperatura radiante média e da velocidade do ar. Este parâmetro é útil na avaliação do conforto térmico dos ocupantes de um edifício, que é precisamente um dos objetivos do trabalho descrito na presente secção.

4.4 Previsões de Consumos Parciais

Um dos objetivos da presente dissertação consiste em estudar detalhadamente a biblioteca da FCT, de forma a obter as *previsões de consumos parciais*. Estas irão dar origem ao consumo de energia elétrica do edifício, isto é, aos volumes de energia por período horário.

Antes da descrição do processo, existem algumas considerações que devem ser tidas em conta, e que influenciaram os resultados alcançados, nomeadamente:

- A biblioteca segue o calendário escolar anual, tendo sido considerado que esteve sempre em funcionamento, excepto aos fins-de-semana, feriados e todo o mês de agosto;
- O edifício está aberto das 9h às 20h;
- O sistema de aquecimento funciona de novembro a fevereiro, sem interrupção;
- O sistema de refrigeração funciona durante todo o ano;
- O sistema de AVAC começa (automaticamente) a funcionar pelas 7h30 e termina às 20h, para a produção de frio. Para a produção de calor, o sistema começa automaticamente às 7h e termina às 19h30.

Por inspeção no local e na documentação do edifício, foram contados o número e tipo de luminárias instaladas, os vários equipamentos elétricos (computadores, fotocopiadoras, elevadores, secadores de mãos, etc), e foi analisado em detalhe o sistema de AVAC (secção 4.2).

Após a conclusão da primeira fase, foi necessário perceber que tipo de utilização era feita pelos funcionários e usuários dos equipamentos instalados na biblioteca. Este aspeto, que diz respeito às previsões, foi conseguido por contagem manual e monitorização pessoal de todo o edifício. Ou seja, piso por piso, zona por zona, a biblioteca foi analisada seis vezes por dia, e cinco dias por semana, para se perceber em detalhe como estavam a ser usados os recursos disponíveis.

Com o auxílio da ferramenta Excel, realizou-se um estudo por piso, que continha todos os equipamentos usados, as luminárias instaladas e as UTA's que a ela afluíam.

Desse processo destacam-se algumas considerações e parâmetros:

- A iluminação é acionada sempre que a biblioteca abre. Existem zonas que estão sempre ligadas e outras que apenas são ligadas com a diminuição da iluminação natural;
- A iluminação de segurança está ligada 24 horas por dia;
- Os computadores (citados anteriormente) foram configurados para estarem ligados 7 horas diárias, com o seu consumo a coincidir com os períodos onde a taxa de ocupação do edifício é superior, isto é, das 10h às 17h;
- Os secadores de mãos e as fotocopiadoras projectaram-se para funcionarem 1 hora por dia;
- Uma UTA pode insuflar várias salas/zonas e pisos diferentes, simultaneamente;

- O consumo energético das UTA's tem diferenciação para os meses de inverno e verão.

Assim, todo o estudo, por piso, foi realizado em duas partes distintas, nomeadamente uma que reflete os consumos dos meses de verão e outra para os meses de inverno. Com a conclusão do estudo, procedeu-se à soma de todos os consumos elétricos, para obter os perfis de consumo. Estes perfis são representados por volumes de energia elétrica em kWh, divididos pelos quatro períodos horários da tarifa contratada, e refletem a quantidade de energia elétrica consumida diariamente.

De seguida, apresentam-se dois exemplos de previsões de consumos referentes ao mesmo piso, para um dia de inverno e para um dia de verão. O piso escolhido foi o Piso 2 (Figura 4.4), porque é aquele onde são atingidos os maiores consumos elétricos. Para este caso foi atribuída a designação de cenário base. No anexo A podem ser consultadas todas as tabelas dos perfis de consumo por piso e por estação do ano.

Tabela 4.16 - Previsões de consumos do piso 2 (sem UTA's)

Zona	Aparelhos	Quantidade	Potência [W]	Nº Horas	Consumo Total Diário [Wh]
12	PC	17	300	11	56 100
	Portáteis	22	30	4	2 640
	Saídas	12	8	24	2 304
	Cand. Teto	33	36	11	13 068
	Projetores	30	300	11	99 000
14	PC	3	300	7	6 300
	Portáteis	12	30	8	2 880
	Saídas	4	8	24	768
	Projetores	15	300	11	49 500
10 e 11	Cand. Teto	4	18	6	432
	Secador	2	1 640	1	3 280
8 e 9	Cand. Teto	4	18	5	360
	Secador	2	1 640	1	3 280
1	Cand. Teto	2	13	11	286
15	Cand. Teto	16	16	7	1 792
	Portáteis	12	30	7	2 520
	Projetores	2	300	11	6 600
Total					251 110

Tabela 4.17 – Especificações das UTA's para as diferentes zonas do piso 2.

UTA's	Identificação do Local	Quantidade de ar (%)	Potência de Arrefecimento (kW)	Potência de Aquecimento k(W)
UTA 1	12 esquerda	1	33,20	23,00
UTA 3	15	0,08	1,32	1,58
UTA 6	12 direita	0,95	30,12	26,18
UTA 8	14	0,52	34,47	29,49

A tabela 4.16 mostra a previsão de consumos elétricos efetuada para o exemplo escolhido, o piso 2. Consideram-se as várias zonas do piso, sendo realizadas para cada zona a contagem de equipamentos e iluminárias. Cada aparelho tem uma potência específica que é multiplicada pelo número de horas que funciona por dia, atribuindo-se assim o consumo total diário de cada aparelho. Em seguida, normalizaram-se esses consumos para uma faixa horária, fazendo com que o consumo fosse igual nas várias horas do dia em que foi considerado o seu funcionamento.

Tabela 4.18 – Consumos por hora dos diferentes sectores no piso 2 para um dia de verão.

Horas do dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,13	0,00	0,00
1	0,13	0,00	0,00
2	0,13	0,00	0,00
3	0,13	0,00	0,00
4	0,13	0,00	0,00
5	0,13	0,00	0,00
6	0,13	0,00	0,00
7	0,13	0,00	7,98
8	0,13	0,00	11,58
9	15,68	6,70	13,09
10	15,68	6,70	16,93
11	15,68	6,70	20,68
12	15,68	6,70	23,31
13	15,68	6,70	25,87
14	15,68	6,70	26,99
15	15,68	6,70	27,55
16	15,68	6,70	27,15
17	15,68	6,70	23,23
18	15,68	6,70	19,08
19	15,68	6,70	13,33
20	0,13	0,00	0,00
21	0,13	0,00	0,00
22	0,13	0,00	0,00
23	0,13	0,00	0,00
Σ [kWh]	174,18	73,72	256,78
Total [kWh]		504,68	

Na tabela 4.16 não estão incluídas as UTA's, porque para cada zona do piso existe uma quantidade de ar insuflado diferente e uma potência diferenciada para aquecimento e arrefecimento. Deste modo, a partir da tabela 4.17, e com auxílio dos dados retirados da análise térmica (secção 4.3), foi possível projetar o consumo das UTA's diferenciado entre dias de inverno e verão, onde estão incluídos todos os consumos das bombas e dos ventiladores.

Para o piso 2, no caso de arrefecimento, os consumos estão apresentados na Tabela 4.18. Podem ser tiradas algumas conclusões:

- A iluminação tem consumos de energia durante a noite e em períodos em que a biblioteca está fechada, devido ao facto da iluminação de segurança estar sempre ligada;
- Dos três tipos de consumos em causa, os equipamentos são os que menos consomem energia elétrica;
- As UTA's destacam-se pelo elevado consumo, face aos restantes equipamentos.

Através da figura 4.16, pode verificar-se que as horas do dia onde as temperaturas são mais elevadas, nomeadamente entre as 13h e as 17h, correspondem às horas do dia onde as UTA's aumentam o seu funcionamento, consumindo assim mais energia elétrica. Isto para o caso em que o edifício necessita de arrefecimento.

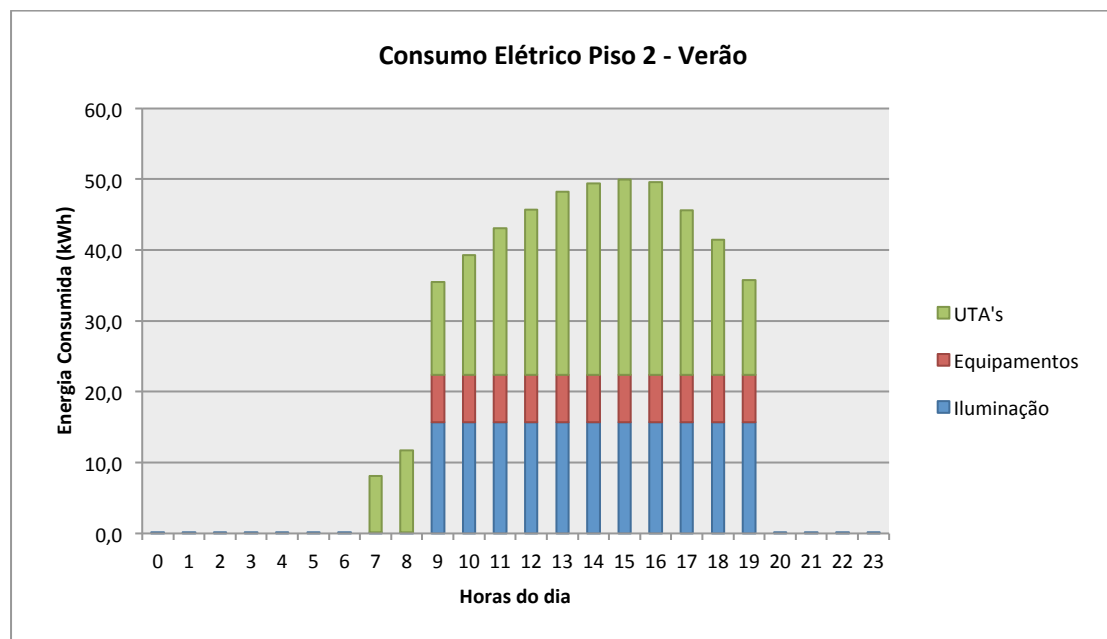


Figura 4.16 - Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de verão no cenário base.

Apresentam-se na tabela 4.19 os consumos de energia elétrica dos diferentes setores ao longo de um dia de inverno. Para além de conclusões semelhantes ao caso anterior, há a destacar os elevados consumos das UTA's, que são superiores aos homólogos para o dia de verão. Isto mostra que a quantidade de ar insuflado é superior no inverno (em relação ao verão). Por fim, verifica-se que as horas do dia onde é necessário um funcionamento mais incisivo da ventilação são as primeiras horas de atividade, isto é, entre as 7h e as 10h da manhã, como se pode verificar na figura 4.17. A explicação para o sucedido deve-se ao facto do edifício ter temperaturas muito inferiores a 20°C, porque à noite as temperaturas baixam bastante, e deste modo ser necessário repor a temperatura ambiente para uma temperatura adequada para os seus utilizadores se sentirem confortáveis no seu interior, quando a biblioteca abrir.

As previsões finais de consumo da biblioteca da FCT para o cenário base foram expressas em gráficos por período horário, como se ilustra nas tabelas 4.20 e 4.21 e nas figuras 4.18 e 4.19.

Tabela 4.19 - Consumos por hora dos diferentes sectores no piso 2 para um dia de inverno.

Horas do dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,13	0,00	0,00
1	0,13	0,00	0,00
2	0,13	0,00	0,00
3	0,13	0,00	0,00
4	0,13	0,00	0,00
5	0,13	0,00	0,00
6	0,13	0,00	0,00
7	0,13	0,00	55,23
8	0,13	0,00	54,97
9	15,68	6,70	40,98
10	15,68	6,70	25,08
11	15,68	6,70	19,89
12	15,68	6,70	18,11
13	15,68	6,70	16,91
14	15,68	6,70	16,40
15	15,68	6,70	15,96
16	15,68	6,70	15,20
17	15,68	6,70	18,43
18	15,68	6,70	22,55
19	15,68	6,70	5,76
20	0,13	0,00	0,00
21	0,13	0,00	0,00
22	0,13	0,00	0,00
23	0,13	0,00	0,00
Σ [kWh]	174,11	73,72	325,46
Total [kWh]		573,29	

Tabela 4.20 – Consumos Finais por piso e período horário para um dia de verão no cenário base.

Volumen diários de energia no verão							
	Piso -1	Piso 0	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Total [kWh]	%
Ponta	43,81	55,60	97,31	148,84	7,40	352,96	28,99
Cheia	94,37	138,70	238,50	350,96	19,97	842,50	69,20
Vazio	1,97	6,23	2,02	4,38	0,15	14,75	1,20
Super Vazio	0,19	6,17	0,26	0,51	0,19	7,32	0,60
Totais						1217,53	100,00

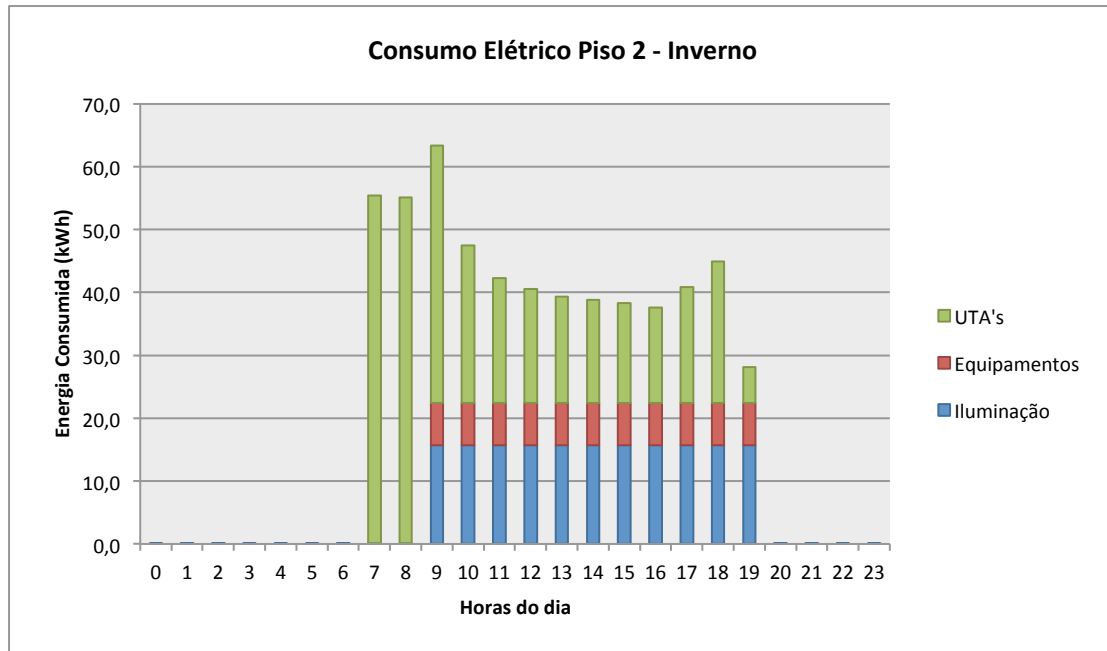


Figura 4.17 - Gráfico do consumo diário do piso 2 para um dia de inverno no cenário base.

Tabela 4.21 – Consumos Finais por piso e período horário para um dia de inverno no cenário base.

Volumen diários de energia no inverno							
	Piso -1	Piso 0	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Total [kWh]	%
Ponta	27,84	52,52	79,30	114,13	7,46	281,25	19,83
Cheia	131,32	211,45	263,44	430,65	19,99	1056,84	74,50
Vazio	12,81	20,66	11,56	28,00	0,18	73,20	5,26
Super Vazio	0,19	6,17	0,26	0,51	0,19	7,32	0,53
Totais						1418,61	100,00

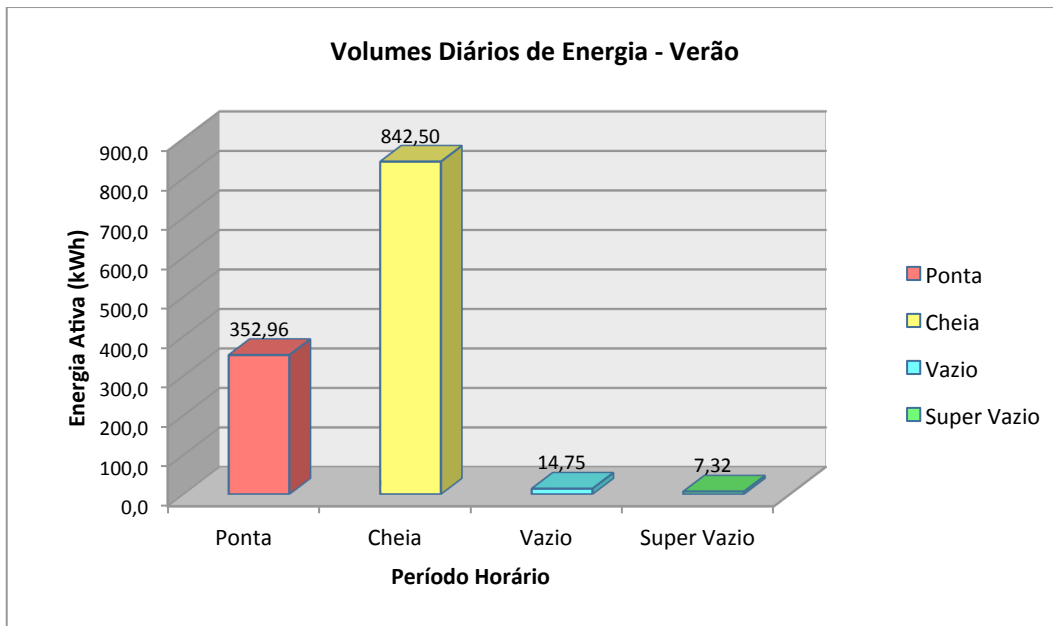


Figura 4.18 - Gráfico do consumo total da biblioteca para um dia de verão no cenário base.

Analisando os resultados obtidos, a primeira conclusão que se retira é que no inverno, apesar da caldeira utilizar gás natural, o consumo de energia elétrica é superior ao do verão. Este facto verifica-se no período de cheia e de vazio, no qual os volumes de energia são superiores. Isto deve-se ao número superior de horas e à maior insuflação de ar no inverno.

Outro aspeto a ter em conta, reside no facto dos períodos horários da tarifa serem diferentes. No caso do verão, o período de funcionamento da biblioteca abrange um maior período de ponta, daí o volume de energia ser superior comparativamente ao inverno. Por fim, como foi analisado anteriormente, devido a alguma ineficiência do edifício e do sistema de ventilação, em alguns dias de inverno ocorrem simultaneamente períodos de aquecimento e arrefecimento, o que conduz a gastos desnecessários.

Nas tabelas 4.22 e 4.23 encontra-se descrita a análise económica para o cenário base dos dois dias alvo de estudo.

Tabela 4.22 – Análise económica para os consumos de um dia de verão no cenário base.

	Volumes dia verão [kWh]	E. Ativa [€/kWh]	Custo dia verão [€]
Ponta	352,96	0,0712	25,13
Cheia	842,50	0,0684	57,63
Vazio	14,75	0,0571	0,84
Super Vazio	7,32	0,0566	0,41
Totais	1217,53		84,01

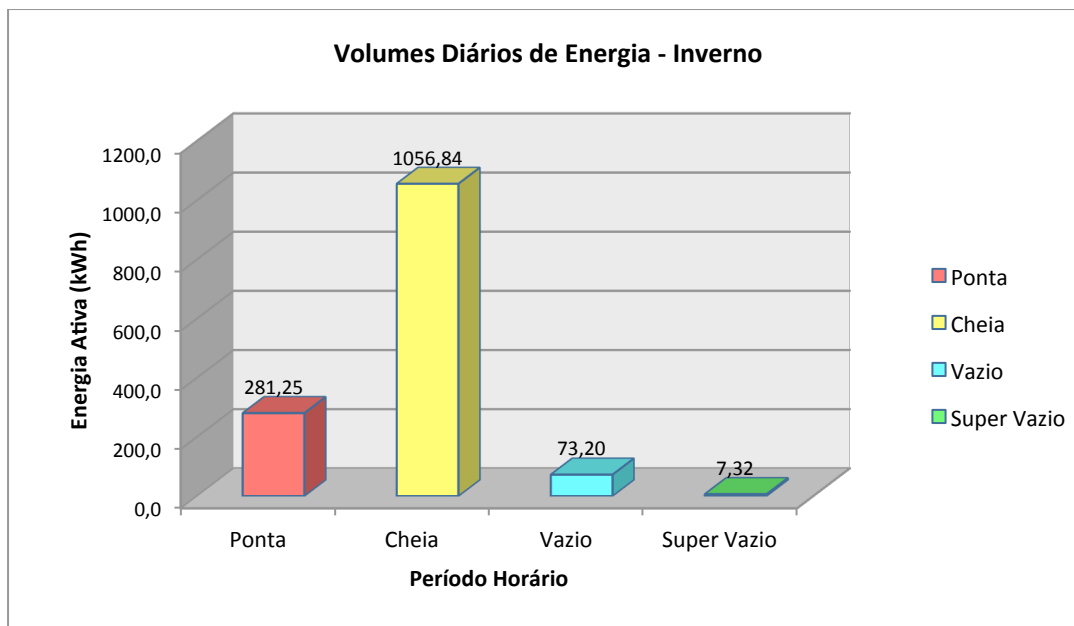


Figura 4.19 – Gráfico do consumo total da biblioteca para um dia de inverno no cenário base.

Tabela 4.23 - Análise económica para os consumos de um dia de no cenário base.

	Volumes dia inverno [kWh]	E. Ativa [€/kWh]	Custo dia inverno [€]
Ponta	281,25	0,0712	20,03
Cheia	1056,84	0,0684	72,29
Vazio	73,20	0,0571	4,18
Super Vazio	7,32	0,0566	0,41
Totais	1418,61		96,91

Estabeleceram-se assim as *previsões de consumos parciais* para o cenário base, bem como a análise económica, onde não estão implementadas medidas de PAC nem de eficiência energética. Este primeiro estudo visa perceber o funcionamento do edifício no seu todo, para posteriormente serem feitos novos estudos, com o intuito de implementar novas medidas que permitam baixar o custo da energia elétrica.

4.5 Medidas de Eficiência Energética e Participação Ativa dos Consumidores

A aplicação de medidas de eficiência energética em edifícios é importante, a fim de poupar energia e gerar economia de recursos nesses edifícios. A eficiência energética está relacionada com uma maior rentabilização de uma unidade de energia. Num edifício, o conceito de medida de eficiência energética pode ser descrito como a utilização de menor energia ou o uso de energia em períodos de

maior disponibilidade por parte dos fornecedores (retalhistas). Por exemplo, utilizando mais energia em períodos de menor procura. Um bom processo de eficiência energética pode ser avaliado pela eficácia da utilização final da energia, que resulta em alterações tecnológicas, comportamentais e/ou económicas.

A poupança de energia é igual ao consumo de energia economizada antes e depois da aplicação de medidas de melhoria da eficiência energética. De forma a alcançar poupanças ótimas de energia, para além de ser necessário ter aparelhos eficientes, é necessário saber utilizá-los da melhor forma. A adoção de medidas de eficiência energética irá conduzir à redução do uso de energia elétrica no edifício, à redução dos custos em energia, à melhoria dos problemas ambientais, à redução das emissões de dióxido de carbono e irreversivelmente irá contribuir para uma mudança climática [2].

No presente estudo, o sistema de climatização da biblioteca está ligado continuamente durante o ano, tal como mencionado na secção 4.4. Este facto revela uma importante fonte de ineficácia, devido às oscilações de temperatura que ocorrem durante um dia, pois tanto é acionado o sistema de aquecimento como o de arrefecimento. Com base nesta informação, a primeira medida de eficiência energética que foi aplicada a este modelo assenta na melhoria da programação do sistema de AVAC, de acordo com o seguinte:

- Desligar o sistema de AVAC no mês de agosto, quando a FCT encerrar para férias, altura em que se verifica não ser necessário o seu funcionamento;
- Realizar um corte de 1°C entre as 12h e as 15h no funcionamento do AVAC, nos meses de inverno;
- Ligar o AVAC às 7h e desligar às 19h (30 minutos mais cedo), no inverno;
- Efetuar um corte de 1°C no funcionamento do AVAC em dois períodos, nomeadamente das 13h às 14h e das 15h às 16h, nos meses de verão;
- Ligar o AVAC às 9h (1h30 mais tarde) e desligar às 19h (1h mais cedo), no verão.

De referir que a decisão de efetuar o corte de 1°C foi fundamentada pela análise térmica efetuada ao edifício e deve-se ao facto de produzir resultados economicamente vantajosos, sem que o conforto dos utilizadores da biblioteca seja prejudicado de forma radical.

Através da implementação destas novas medidas de eficiência energética, foram obtidos os novos perfis de consumo da biblioteca (cenário eficiente), para os meses de verão (figura 4.20) e de inverno (figura 4.21), sendo o exemplo baseado apenas no piso 2.

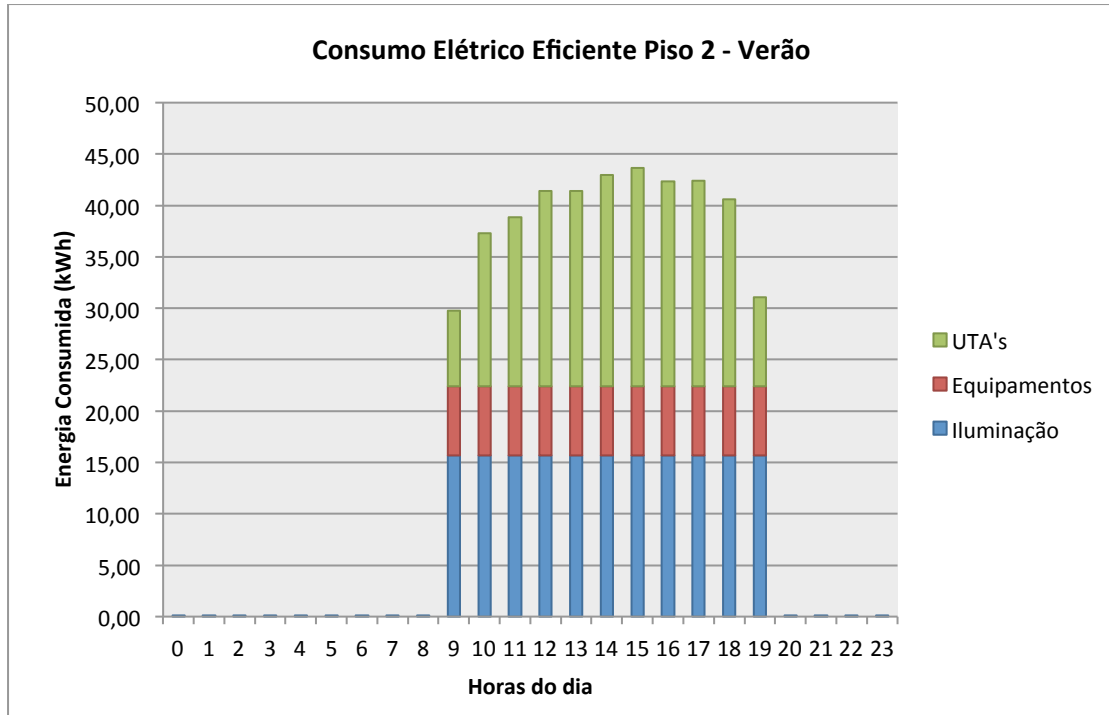


Figura 4.20 - Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de verão no cenário eficiente.

Comparando com o cenário base, o consumo elétrico do piso 2 passou de 504,68 kWh para 433,38 kWh, isto é, sofreu uma redução de aproximadamente 14%.

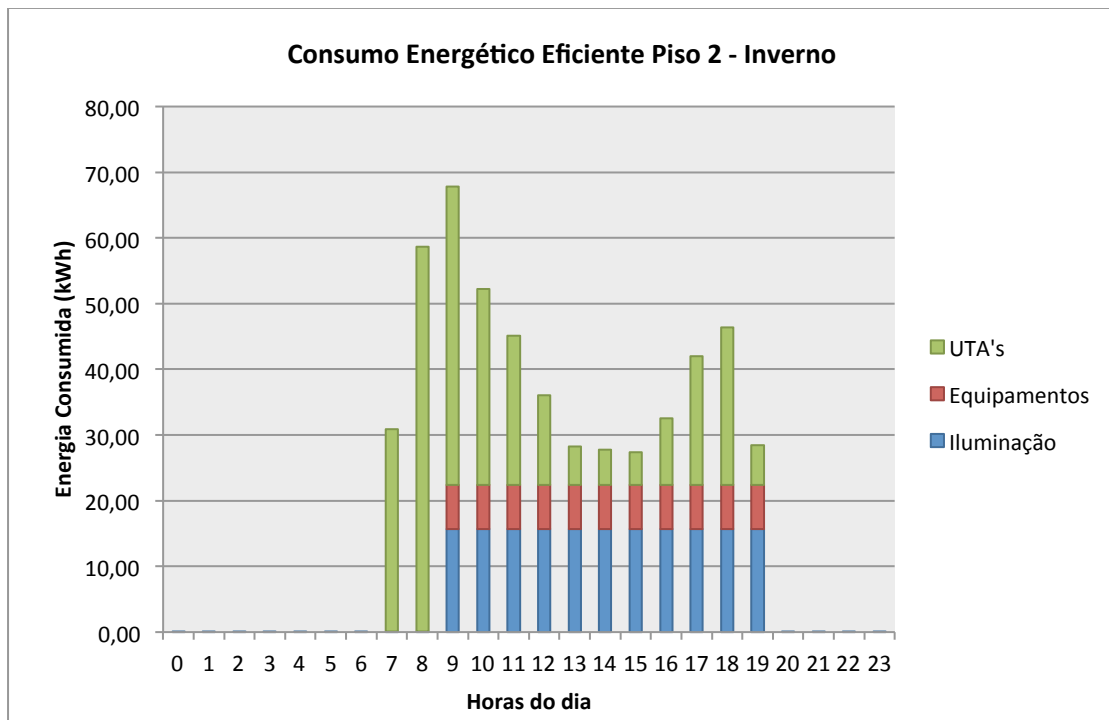


Figura 4.21 - Gráfico de consumo diário do piso 2 para um dia de inverno no cenário eficiente.

No caso dos meses de inverno, a tendência é semelhante à dos meses de verão. No cenário base obteve-se um consumo total de 573,29 kWh e no cenário eficiente um consumo total de 525,00 kWh, o que confere uma redução de aproximadamente 8% para o cenário eficiente.

Desta forma, comparando os dois cenários, verifica-se que através da aplicação de medidas de eficiência energética e de PAC, os volumes de energia consumida diminuem significativamente.

Após a aplicação das medidas mencionadas, pode fazer-se um estudo económico para analisar o impacto que as mesmas têm no consumo elétrico. De salientar, que o estudo feito tem por base a tarifa inicial, isto é, a tarifa energética que está atualmente em vigor na biblioteca da FCT (tabelas 4.25 e 4.27). Na secção 4.6, proceder-se-á à negociação de uma nova tarifa.

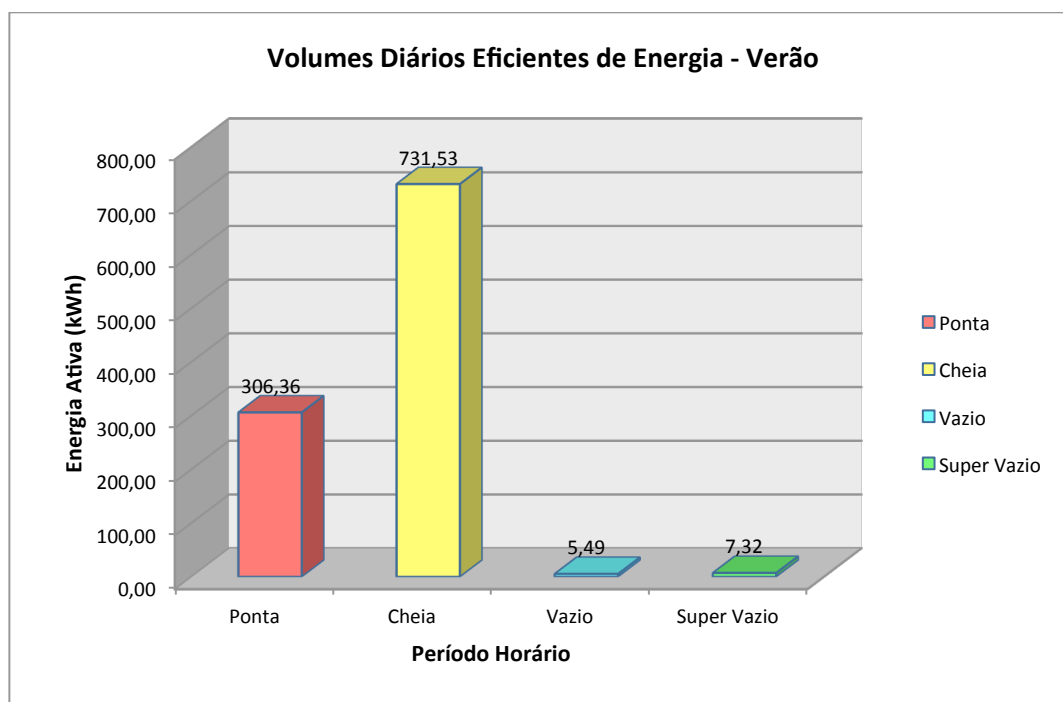


Figura 4.22 – Gráfico dos volumes de energia eficientes para um dia de verão.

Tabela 4.24 – Ganho de volumes de energia elétrica entre o cenário base e o cenário eficiente para um dia de verão.

Período	Volumes Base [kWh]	Volumes Eficientes verão [kWh]	Ganho [kWh]	%
Ponta	352,96	306,36	46,59	13,20
Cheia	842,50	731,53	110,97	13,17
Vazio	14,75	5,49	9,26	62,79
Super Vazio	7,32	7,32	0,00	0,00

Através da figura 4.22 e da tabela 4.24 pode verificar-se que, para o caso dos meses de verão, as poupanças de energia elétrica são significativas. Nos períodos de ponta e cheia rondam os 13%, mas no período de vazio ascendem aproximadamente aos 63%. O período de super vazio não sofre alterações porque os consumos são constantes, não sendo possível modificá-los pelas medidas implementadas. Os restantes períodos alcançam ganhos positivos devido ao facto das medidas de eficiência energética e de PAC terem sido aplicadas eficazmente.

Na tabela 4.25 apresenta-se a análise económica para o cenário eficiente num dia de verão, verificando-se pelos resultados alcançados uma poupança de 11,44€ diários, isto é, uma redução de 13,6% em relação ao custo do cenário base.

A análise económica para um dia de inverno no cenário eficiente é descrita na figura 4.23 e nas tabelas 4.26 e 4.27.

Tabela 4.25 - Análise económica para os consumos de um dia de verão no cenário eficiente.

Período	Custo Base [€]	Custo Eficiente verão [€]	Ganho [€]
Ponta	25,13	21,81	3,32
Cheia	57,63	50,04	7,59
Vazio	0,84	0,31	0,53
Super Vazio	0,41	0,41	0,00
Total	84,01	72,58	11,44

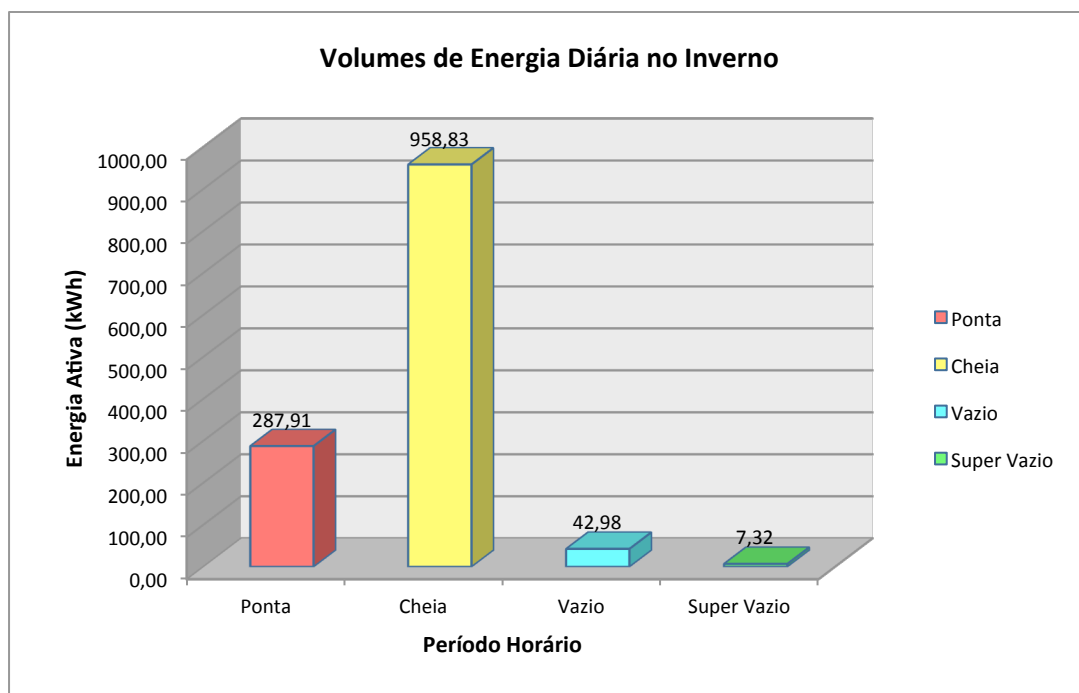


Figura 4.23 – Gráfico dos volumes eficientes para um dia de inverno.

Tabela 4.26 - Ganho de volumes de energia elétrica entre o cenário base e o cenário eficiente para um dia de inverno.

Período	Volumes Base [kWh]	Volumes Eficientes inverno [kWh]	Ganho [kWh]	%
Ponta	281,25	287,91	-6,66	-2,37
Cheia	1056,84	958,83	98,01	9,27
Vazio	73,20	42,98	30,23	41,29
Super Vazio	7,32	7,32	0,00	0,00

De acordo com a figura 4.23 e a tabela 4.26, verificam-se ganhos positivos nos períodos de cheia e vazio e ganhos negativos no período de ponta. Este acontecimento resulta do simples facto de ter ocorrido um corte no período de cheia, nomeadamente entre as 12h e as 15h. Com isto, quando o AVAC inicia de novo o seu funcionamento, as temperaturas da biblioteca estão 1°C mais baixas, e automaticamente o sistema vai trabalhar de forma intensiva para repor a temperatura, fazendo um esforço adicional, surgindo assim um consumo superior 2,37% em relação aos consumos do cenário base.

A tabela 4.27 diz respeito à análise económica para o cenário eficiente num dia de inverno, e apesar do maior consumo de energia no período de ponta, verifica-se pelos resultados alcançados uma poupança de 7,96€ diários, isto é, um custo 8,2% inferior ao custo do cenário base para o período homólogo.

Tabela 4.27 - Análise económica para os consumos de um dia de inverno no cenário eficiente.

Período	Custo Base [kWh]	Custo Eficiente inverno [kWh]	Ganho [€]
Ponta	20,03	20,50	-0,47
Cheia	72,29	65,58	6,70
Vazio	4,18	2,45	1,73
Super Vazio	0,41	0,41	0,00
Total	96,91	88,95	7,96

4.6 Contratação Bilateral com Participação Ativa dos Consumidores

O estudo energético da biblioteca permitiu verificar que, mesmo sem negociação, apenas fazendo uso de medidas de eficiência energética e PAC, é possível diminuir os custos com a energia elétrica.

Nesta secção, com base nos resultados anteriores, vai-se simular a negociação, mais precisamente a contratação bilateral de energia com PAC, utilizando consumos médios, com o intuito de obter uma tarifa mais vantajosa para o consumidor final, a biblioteca da FCT.

Anteriormente, foram considerados dois cenários (base e eficiente), para os dias de verão e de inverno. Para simplificar, vão ser utilizadas médias de volumes para os volumes base e para os volumes eficientes, agregando os dias de verão e de inverno. As figuras 4.24 e 4.25 e a tabela 4.28 apresentam os volumes médios base e eficientes.

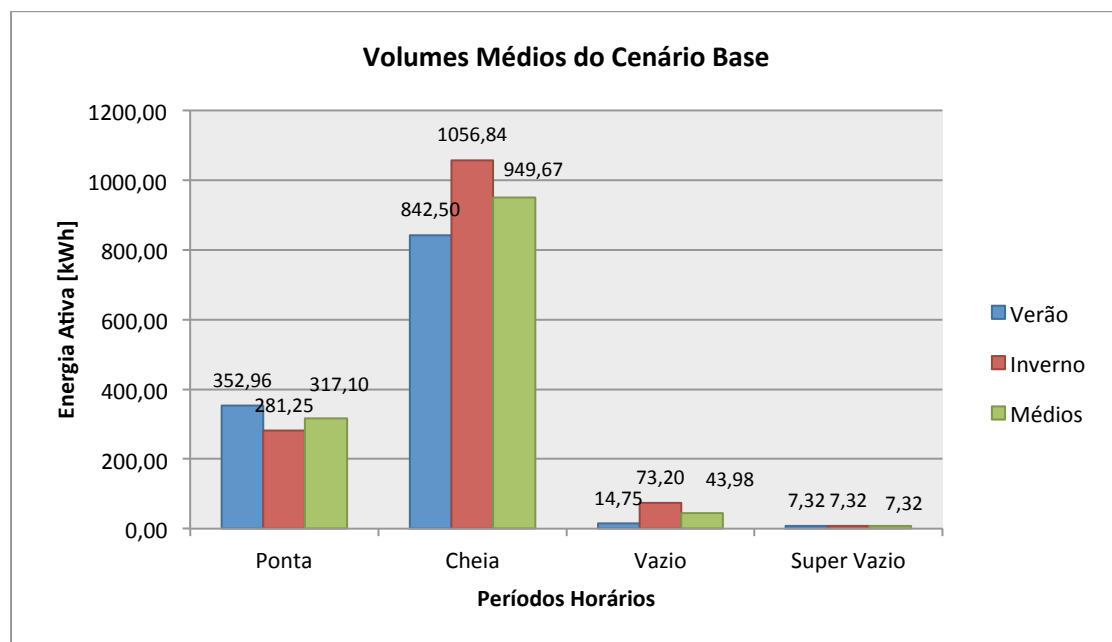


Figura 4.24 – Gráfico da média dos volumes do cenário base de verão e inverno.

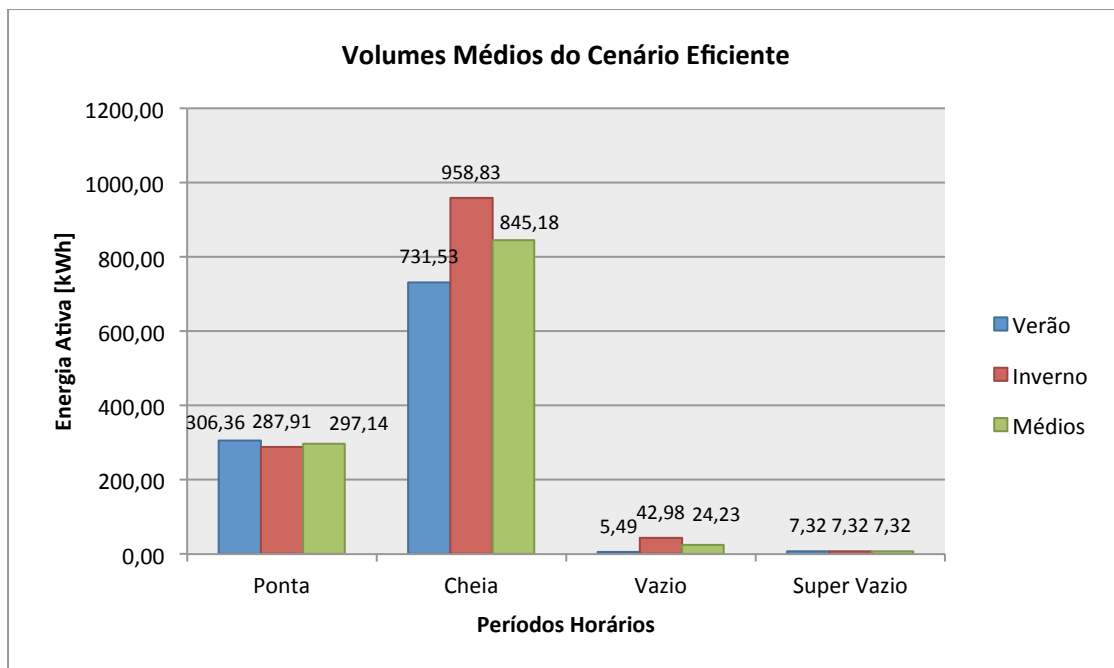


Figura 4.25 – Gráfico da média dos volumes do cenário eficiente de verão e inverno.

Tabela 4.28 – Volumes médios do cenário base e cenário eficiente.

Período	Volumes Médios	
	Cenário Base [kWh]	Cenário Eficiente [kWh]
Ponta	317,10	297,14
Cheia	949,67	845,18
Vazio	43,98	24,23
Super Vazio	7,32	7,32

Foram realizadas quatro negociações diferentes, que colocam em prática diferentes estratégias de negociação. Inicialmente, foram definidos os limites da negociação, transversais a todas as simulações. O retalhista apresenta-se com uma tarifa 3% superior à tarifa base e um limite 2% inferior à tarifa base. O consumidor apresenta-se com uma tarifa limite de 2% superior à tarifa base e uma tarifa inicial 3% inferior à tarifa base. Apresentam-se de seguida os resultados obtidos.

Negociação nº 1

Estratégias:

Consumidor: *Estratégia de Concessão Fixa*, para o preço.

Retalhista: *Estratégia de Concessão Baseada na Prioridade dos Itens*, para o preço.

Tabela 4.29 – Novas tarifas e custo associado.

Negociação n° 1 e n° 2						
V. Base	Tarifa n°0	Custo n°0	Tarifa n°1	Custo n°1	Tarifa n°2	Custo n°2
317,10	0,0712	22,58	0,07105	22,53	0,07074	22,43
949,67	0,0684	64,96	0,06825	64,81	0,06636	63,02
43,98	0,0571	2,51	0,05696	2,50	0,0582	2,56
7,32	0,0566	0,41	0,05646	0,41	0,0577	0,42
Total		90,46		90,26		88,43

Negociação n° 2

Estratégias:

Consumidor: *Estratégia de Concessão Baseada no Volume de Energia*, para o preço.

Retalhista: *Estratégia de Concessão Baseada na Prioridade dos Itens*, para o preço.

Entre as duas negociações, apenas se alterou a estratégia de preço do consumidor. Inicialmente, foram fixados os volumes médios eficientes, como referência de cada negociação. Assim sendo, as novas tarifas são apresentadas na tabela 4.29.

Após as duas primeiras negociações, verifica-se que as mesmas são mais económicas em relação à tarifa base (tarifa n° 0). No entanto, a tarifa alcançada com a negociação n° 2 (tarifa n° 2) é mais vantajosa, devido à alteração da estratégia do consumidor. Uma vez que os volumes a negociar se encontravam no limite, foram maiores as concessões nos preços, conseguindo-se alcançar uma tarifa mais económica.

Apresentam-se de seguida os resultados obtidos para as negociações n° 3 e n° 4.

Negociação n° 3

Estratégias:

Consumidor: *Estratégia de Concessão Baseada no Volume de Energia*, para o preço.

Consumidor: *Resposta do Consumidor a Preços e Volumes (RCPV)*, para os volumes.

Retalhista: *Estratégia de Gestão de Volume*, para o preço.

Para esta negociação, foram indicados na proposta inicial, os volumes base como perfil de consumo, bem como os preços iniciais do consumidor. A dança da negociação pode ser analisada na tabela 4.30, onde se apresenta detalhadamente a evolução do processo negocial.

Tabela 4.30 – Resultados obtidos com o simulador para a negociação nº 3.

Nº Iteração	Retalhista	Consumidor	Resultados	
1		Envio da Proposta de Preços e Volumes	Início da Negociação pelo Consumidor	
2	Preço 1: 73,34 €/MWh	Volumes 1: 317,10 kWh	↘	
	Preço 2: 70,25 €/MWh	Volumes 2: 949,67 kWh		
	Preço 3: 58,81 €/MWh	Volumes 3: 43,98 kWh		
	Preço 4: 58,30 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh		
3	↙	Preço 1: 69,10 €/MWh	Volumes 1: 297,14 kWh	Receção da proposta do Retalhista
		Preço 2: 66,30 €/MWh	Volumes 2: 845,18 kWh	Envio da Proposta inicial do Consumidor
		Preço 3: 55,40 €/MWh	Volumes 3: 43,98 kWh	
		Preço 4: 54,90 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh	
4	Preço 1: 72,93 €/MWh	Volumes 1: 297,14 kWh	↘	
	Preço 2: 68,12 €/MWh	Volumes 2: 845,18 kWh		
	Preço 3: 57,35 €/MWh	Volumes 3: 24,23 kWh		
	Preço 4: 58,30 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh		
5	↙	Preço 1: 69,61 €/MWh	Volumes 1: 297,14 kWh	Contraproposta do Consumidor
		Preço 2: 66,31 €/MWh	Volumes 2: 849,14 kWh	
		Preço 3: 57,79 €/MWh	Volumes 3: 24,51 kWh	
		Preço 4: 57,57 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh	
6	Preço 1: 71,75 €/MWh	Volumes 1: 297,14 kWh	↘	
	Preço 2: 67,39 €/MWh	Volumes 2: 849,14 kWh		
	Preço 3: 56,64 €/MWh	Volumes 3: 24,51 kWh		
	Preço 4: 58,30 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh		
7	↙	Preço 1: 70,05 €/MWh	Volumes 1: 297,28 kWh	Contraproposta do Consumidor
		Preço 2: 66,33 €/MWh	Volumes 2: 862,49 kWh	
		Preço 3: 58,14 €/MWh	Volumes 3: 26,26 kWh	
		Preço 4: 57,69 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh	
8	Preço 1: 71,25 €/MWh	Volumes 1: 297,28 kWh	↘	
	Preço 2: 67,15 €/MWh	Volumes 2: 862,49 kWh		
	Preço 3: 56,28 €/MWh	Volumes 3: 26,26 kWh		
	Preço 4: 58,30 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh		
9	↙	Preço 1: 70,44 €/MWh	Volumes 1: 297,67 kWh	Contraproposta do Consumidor
		Preço 2: 66,34 €/MWh	Volumes 2: 871,09 kWh	
		Preço 3: 58,19 €/MWh	Volumes 3: 28,59 kWh	
		Preço 4: 57,70 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh	
10	Preço 1: 70,44 €/MWh	Volumes 1: 297,67 kWh	Acordo Final	
Preço 2: 66,34 €/MWh	Volumes 2: 871,09 kWh			
Preço 3: 58,19 €/MWh	Volumes 3: 28,59 kWh			
Preço 4: 57,70 €/MWh	Volumes 4: 7,32 kWh			

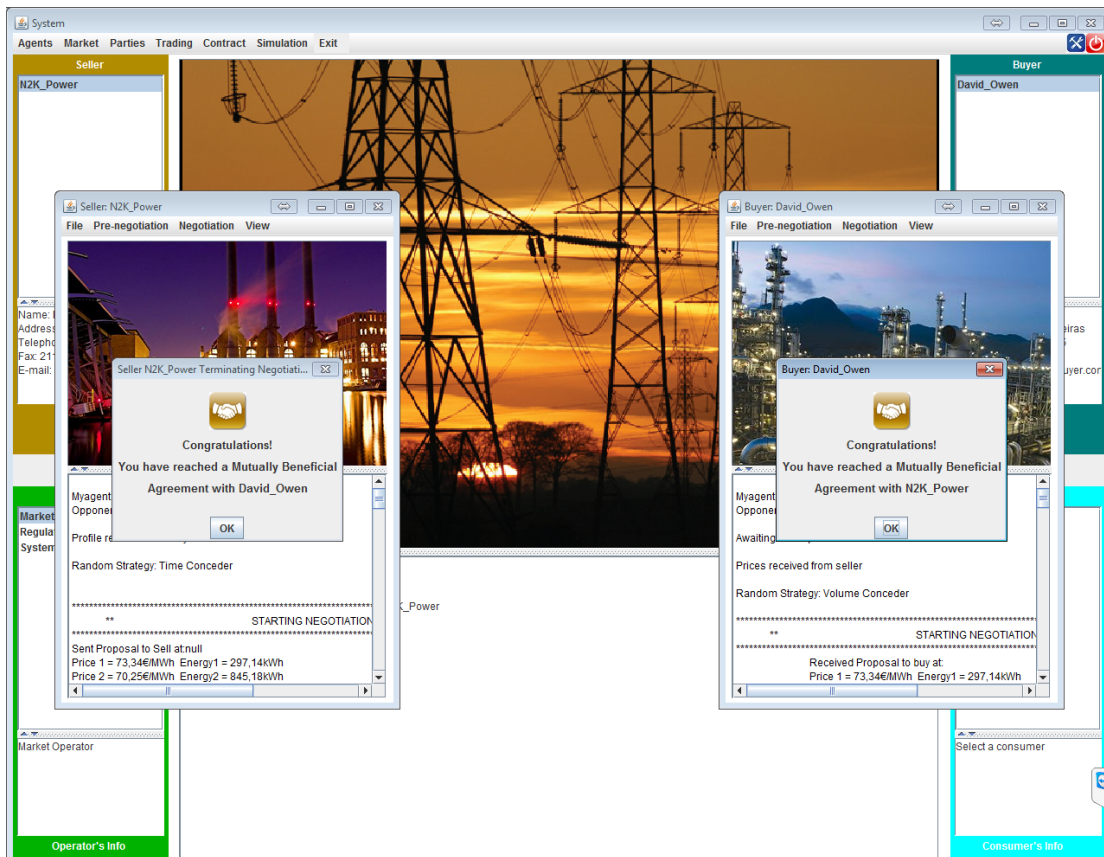


Figura 4.26 – Janela final do simulador MAN-REM, quando é alcançado o acordo final.

Como pode ser observado na tabela 4.30, as concessões nos preços são razoáveis, ao contrário das concessões nos volumes, que são mínimas.

Inicialmente, foram submetidos os volumes base e os preços iniciais do retalhista (+3%), podendo verificar-se que o consumidor, ao enviar uma contraproposta, submeteu os volumes mínimos que estava disposto a negociar e os seus preços iniciais (-3%). Neste caso, realizou-se a concessão máxima possível para os volumes de energia, com o objetivo de alcançar o melhor preço da parte do retalhista. Esta intervenção alcançou os objetivos esperados, pois a partir do momento em que o comprador diminuiu ao máximo os seus volumes, conseguiu-se obter melhores preços. Nesta perspetiva, é visível a ação da estratégia RCPV por parte do comprador, assegurando o primeiro objetivo, conseguir preços mais baixos. Posteriormente, os volumes começaram a aumentar gradualmente, a fim de conseguir uma maior quantidade de energia que satisfaça os interesses do comprador. Na figura 4.26, pode ver-se a janela do simulador MAN-REM, quando os negociadores alcançam um acordo final na negociação.

Com auxílio da tabela 4.31, verifica-se que mesmo fazendo a análise económica com os volumes base e aplicando a nova tarifa (tarifa nº 3), obteve-se uma poupança de 2,14€. Nos períodos de ponta, cheia e vazio foi alcançada uma tarifa melhor.

Tabela 4.31 – Análise Económica da negociação n° 3

Negociação n° 3				
V. Base	Tarifa n°0	Custo n°0	Tarifa n°3	Custo n°3
317,10	0,0712	22,58	0,07044	22,34
949,67	0,0684	64,96	0,06634	63,00
43,98	0,0571	2,51	0,05819	2,56
7,32	0,0566	0,41	0,0577	0,42
Total		90,46		88,32

Tabela 4.32 – Ganho dos volumes na negociação n° 3.

V. Eficientes	V. Negociação n° 3	Ganho [%]
297,14	297,67	0,18
845,18	871,09	3,07
24,23	28,59	17,98
7,32	7,32	0,00

O mesmo não se verificou apenas para o super vazio. No entanto, como este é o item de menor prioridade, tem pouca influência no resultado final.

Pela tabela 4.32 é possível confirmar o que foi enunciado anteriormente: através da estratégia RCPV foi possível obter volumes superiores aos volumes eficientes.

Negociação n° 4

Estratégias:

Consumidor: *Estratégia de Concessão Baseada no Volume de Energia*, para o preço.

Retalhista: *Estratégia de Gestão de Volume*, para o preço.

Neste caso, ocorreu uma alteração significativa no processo negocial. Como foi removida a estratégia do consumidor CVPR, que modelava os volumes ao longo da negociação, estes foram introduzidos manualmente em cada iteração da negociação. Os volumes base foram os iniciais, e através da subtração de uma percentagem fixa, obtiveram-se os volumes para cada iteração. As percentagens são de 5% para a ponta e vazio, e 9% para a cheia. Os resultados obtidos constam nas tabelas 4.33 e 4.34.

Como se pode verificar, a tarifa da negociação n° 4 não é a mais vantajosa, quando comparando com as negociações anteriores. No entanto, no contexto geral consegue ser mais económica que a tarifa base em 1,35€. No período de ponta, a tarifa obtida é menor que a tarifa base, mas nos restantes períodos a tarifa obtida é superior. Nesta negociação, para além da tarifa, foram também negociados volumes. Os volumes obtidos são superiores aos volumes homólogos da negociação n° 3. Ainda assim, são menores que os volumes base.

Tabela 4.33 – Análise económica da negociação n° 4.

Negociação n° 4				
V. Base	Tarifa n°0	Custo n°0	Tarifa n°4	Custo n°4
317,10	0,0712	22,58	0,07216	22,88
949,67	0,0684	64,96	0,0666	63,25
43,98	0,0571	2,51	0,0582	2,56
7,32	0,0566	0,41	0,0577	0,42
Total		90,46		89,11

Tabela 4.34 – Ganho dos volumes da negociação n° 4.

V. Eficientes	V. Negociação n° 4	Ganho [%]
297,14	309,72	4,24
845,18	889,9	5,29
24,23	36,68	51,37
7,32	7,32	0,00

Em suma, todas as negociações enunciadas apresentam custos inferiores aos custos do cenário base. A melhor tarifa corresponde à negociação n° 3, com um custo diário de 88,32€, e a pior é referente à negociação n° 1, com um custo diário de 90,26€. Por sua vez, em relação aos volumes obtidos nas negociações n° 3 e n° 4, os melhores, na ótica do consumidor, são os da negociação n° 4, devido ao facto de serem significativamente superiores aos volumes eficientes.

Capítulo 5

Conclusões e Desenvolvimento Futuro

Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho desenvolvido, demonstra o nível de realização dos objectivos traçados, e apresenta também algumas sugestões para trabalho e desenvolvimento futuro.

5.1 Conclusões e Síntese dos Resultados Obtidos

Ao longo dos últimos anos tem-se assistido à liberalização do setor elétrico em Portugal, o que possibilitou às empresas aumentar a sua competitividade, especificamente na produção e comercialização da energia elétrica. O processo de reestruturação do setor conduziu à implementação de um mercado grossista, onde operam os produtores que fornecem energia aos retalhistas, e um mercado retalhista, onde os retalhistas são responsáveis pela comercialização da energia e o seu fornecimento aos consumidores finais. Desta forma, nos mercados de energia elétrica (MEE) liberalizados, os consumidores finais têm a possibilidade de escolher livremente o seu fornecedor de energia, e tendem a optar pelas que lhes ofereçam preços mais baixos e maiores garantias de fiabilidade e qualidade de serviço.

A reestruturação do setor elétrico estabeleceu diversos modelos de mercado de energia elétrica, tais como: a bolsa ou *pool*, os contratos bilaterais e o modelo misto. O presente trabalho focou-se especialmente no modelo de contratos bilaterais, que consiste na negociação direta entre duas entidades, um vendedor e um comprador, em que os preços, os termos e as condições dos contratos são negociados livremente.

Através de todas as mudanças que o setor elétrico tem sido alvo, o paradigma de funcionamento do sistema elétrico também sofreu alterações. Atualmente, como foi visível no trabalho desenvolvido, há uma necessidade cada vez maior de serem adoptadas medidas na perspectiva da procura da energia, as quais conduzem à sua conservação, gestão e utilização racional. Nesta conjuntura, têm sido desenvolvidas medidas de eficiência energética e de participação ativa dos consumidores (PAC), que pretendem inculcar nos consumidores uma maior responsabilidade no uso da energia, bem como alterar os seus padrões de consumo.

É neste contexto que surge a presente dissertação, que visa dar resposta aos objetivos apresentados inicialmente, isto é, numa visão global, realizar um estudo detalhado do edifício da biblioteca da FCT, identificar medidas de eficiência energética, e com base nos resultados negociar um novo contrato de energia elétrica, mais vantajoso.

O estudo detalhado da biblioteca da FCT permitiu conhecer o edifício a vários níveis. Por um lado, no tipo de serviço que presta aos seus utilizadores, capacidade de utilizadores e aspetos gerais do seu funcionamento diário. Por outro lado, permitiu ter uma visão técnica aprofundada dos seus equipamentos e características de funcionamento. Com isto, foram alcançados resultados bastante satisfatórios, que dão a perceção do estudo ter sido realizado de forma precisa e competente.

Neste percurso, foram muitos os desafios que tiveram de ser ultrapassados. Exemplo disso foi o desenvolvimento de uma nova estratégia de negociação,

designada por *Resposta do Consumidor a Preços e Volumes (RCPV)*, que foi implementada no simulador de mercados de eletricidade MAN-REM. Esta estratégia tem o objetivo de possibilitar aos consumidores uma participação mais ativa no MEE, e permitir ao agente comprador negociar volumes de energia (obtidos através das técnicas de PAC). A gestão de volumes foi realizada com base nas propostas de preços enviadas pelo agente vendedor. Foram realizadas 4 simulações que envolveram 4 negociações distintas de um novo contrato.

Através dos resultados alcançados nas várias negociações, pode afirmar-se que em todas elas foi conseguido um preço inferior ao que é atualmente pago pela energia por parte da biblioteca, logo com um benefício económico direto. Mais concretamente, com o auxílio das várias combinações realizadas no caso prático, conclui-se que a nível de preços a negociação n.º 3 é a mais vantajosa, com uma poupança diária de 2,14€. Em relação aos volumes negociados, a negociação n.º 4 é a mais benéfica para o consumidor, porque foi onde se conseguiram os maiores volumes (consultar tabela 4.34).

Estes resultados permitem, em traços gerais, retirar duas conclusões. Em primeiro lugar, o simulador MAN-REM possibilita simular a negociação de contratos bilaterais entre dois agentes do mercado, evidenciando-se como uma ferramenta bastante útil, que permite apoiar os intervenientes do MEE a tomarem as melhores decisões. Em segundo lugar, o caso prático permitiu obter resultados reais e convincentes, que após terem sido aplicados no simulador geraram, a partir desse momento, novos resultados (nomeadamente novos preços e volumes), os quais são benéficos para o consumidor, neste caso concreto a biblioteca da FCT (ou seja, a Universidade da Nova de Lisboa).

5.2 Desenvolvimento Futuro

Em termos de trabalho futuro, existem alguns aspetos que podem ser alvo de uma abordagem mais concreta e aprofundada, pois o tempo disponível para desenvolver algumas estratégias no simulador não permitiu abordar todos os detalhes inerentes à sua complexidade. Algumas das diretrizes a seguir são:

- Relativamente ao caso de estudo na biblioteca da FCT, seria extremamente interessante ver implementadas as medidas de eficiência energética e PAC identificadas na dissertação, afim de comprovar a sua mais valia na prática, bem como, todos os benefícios financeiros inerentes;

- Em relação às estratégias de negociação, seria importante o desenvolvimento de novas estratégias relacionadas com as ações de PAC, incluindo outros tipos de programa (descritos no Capítulo 2 do presente trabalho), de forma a permitir ao consumidor final de energia escolher, entre as opções disponíveis, o programa que melhor se adapte ao seu tipo de consumo;
- De modo a tornar o mercado mais competitivo e benéfico, na ótica do consumidor, seria aliciante que os volumes de energia pudessem ser alterados mensalmente, mediante estimativas de consumo e uma perceção real das necessidades da biblioteca;
- Fazendo uso dos dados de consumo da biblioteca, apresentados na dissertação, poderiam realizar-se mais negociações com estratégias diferentes das utilizadas no caso prático, com o intuito de obter um leque mais alargado de resultados, logo mais opções de escolha economicamente vantajosas.

Adicionalmente ao trabalho desenvolvido, foi possível detetar alguns aspetos negativos que podem ser melhorados, no edifício em estudo. Desta forma apresentam-se de seguida algumas sugestões que vão ao encontro da eficiência energética, mais precisamente da poupança de energia elétrica (que, tudo indica, não está a ser usada de forma racional):

- A iluminação, em certas zonas da biblioteca, está ligada permanentemente, nomeadamente em zonas de iluminação natural. Assim sendo, devia ser reagrupada nos quadros elétricos, por zonas de iluminação mínima e iluminação em pleno;
- Em zonas de trabalho onde não há funcionários depois das 20h, bem como na iluminação exterior, poderiam ser usados relógios de modo a evitar alguns desperdícios;
- Nas instalações sanitárias deviam ser instalados sensores de movimento para que a iluminação passe a ser utilizada apenas quando necessária;
- Devia ser considerada a instalação de relógios para as tomadas que servem os computadores de uso público, de modo a evitar que permaneçam ligados durante a noite;

- No âmbito social, poderiam ser desenvolvidas medidas de sensibilização para promover boas práticas no uso da energia, direcionadas a todos os utilizadores dos espaços do edifício da biblioteca, nomeadamente alunos, funcionários e pessoal técnico.

Referências

- [1] S. Paiva e L. F. Coelho, «*Redes de Energia Eléctrica: uma análise sistémica*», IST Press, Lisboa, 2005.
- [2] F. M. T. de Azevedo, «Apoio à decisão para o estabelecimento de contratos no mercado competitivo da electricidade», *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*, 2012.
- [3] ERSE, «Informação Mensal do MIBEL - Março de 2015.»
- [4] F. Lopes, N. Mamede, A. Q. Novais, e H. Coelho, «A negotiation model for autonomous computational agents: Formal description and empirical evaluation», *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 12, n. 3, pp. 195–212, 2002.
- [5] F. Lopes e H. Coelho, «Strategic and Tactical Behaviour in Automated Negotiation», *Int. J. Artif. Intell.*, vol. 4, n. 10 S, pp. 35–63, 2010.
- [6] F. Lopes, C. Ilco, e J. Sousa, «Bilateral Negotiation in Energy Markets: Strategies for Promoting Demand Response», In: *Int. Conf. European Energy Market (EEM13)*, pp. 1-6, 2013.
- [7] F. Lopes e H. Algarvio, «Customer Load Strategies for Demand Response in Bilateral Contracting of Electricity», In: *E-commerce and Web Technologies (15th)*, pp. 153-164, Springer Verlag (LNBIP 188), 2014.
- [8] H. Algarvio, J. Viegas, F. Lopes, D. Amaro, A. Pronto, e S. M. Vieira, «Electricity Usage Efficiency in Large Buildings: DSM Measures and Preliminary Simulations of DR Programs in a Public Library», In: *Highlights of Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Sustainability-The PAAMS Collection*, pp. 249-259, Springer International Publishing (CCIS 524), 2015.
- [9] J. P. T. Saraiva, J. L. P. P. da Silva, M. T. P. de Leão, J. L. P. P. da Silva, M. T. C. P. da Silva, e P. de Leão, *Mercados de electricidade: regulação e tarifação de uso das redes*. FEUP Edições, 2012.
- [10] F. M. T. de Azevedo, «Gestão do Risco em Mercados Competitivos de Electricidade: Previsão de Preços e Optimização do Portfolio de Contratos», *Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharias, Área de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real*, 2007.

- [11] M. H. R. Gomes, «Novos mecanismos de mercado de energia eléctrica e de serviços auxiliares em sistemas eléctricos.», *Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*, 2007.
- [12] Conselho de Reguladores do MIBEL, «Descrição do Funcionamento do MIBEL.»
- [13] F. Moreira, «Avaliação do Impacto da Elasticidade da Carga no Preço de Mercado, Considerando a Presença de PRE», *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*, 2014.
- [14] ERSE, «Liberalização do Sector», *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/liberalizacaodosector/Paginas/default.aspx>. [Acedido: 25-Jun-2015].
- [15] ERSE, «Preços de Eletricidade em 2014 - Escolha de comercializador de eletricidade», *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/precosdeelectricidade/Paginas/default.aspx>. [Acedido: 26-Mai-2015].
- [16] MIBEL, «Mercado Ibérico de Eletricidade». Disponível em: <http://www.mibel.com/index.php?mod=pags&mem=detalle&relmenu=9&relcategoria=1026&idpag=67>. [Acedido: 27-Mai-2015].
- [17] OMIP, «MIBEL - Mercado Ibérico de Eletricidade». Disponível em: <http://www.omip.pt/OMIP/MIBEL/tabid/72/language/pt-PT/Default.aspx>. [Acedido: 27-Jun-2015].
- [18] L. B. Cruz, «A liberalização do sector da energia, o MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidade) e o OMIP (Operador do Mercado Ibérico de Energia - pólo português)», *Cent. Informação Eur. Jacques Delors*, 2008.
- [19] ERSE, «Mercado Grossista de Eletricidade», *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos*. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/Paginas/default.aspx>. [Acedido: 27-Mai-2015].
- [20] ERSE, «Mercado Retalista de Eletricidade». Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/MercadoRetalhista/Paginas/default.aspx>. [Acedido: 01-Jul-2015].
- [21] ERSE, «Mercado Diário.» Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/supervisaodemercados/mercadodeelectricidade/mercadodiario/Paginas/default.aspx>. [Acedido: 03-Jul-2015].
- [22] I. Pereira, «Sistema Multi-Agente para Apoio à Negociação em Mercados de Electricidade», *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharias, Área de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real*, 2004.
- [23] S. E. Khatib e F. D. Galiana, «Negotiating bilateral contracts in electricity markets», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, n. 2, pp. 553–562, 2007.

- [24] J. Sousa, «Os serviços de sistema no MIBEL - Regras de fornecimento e de contratação e resultados obtidos de 2010 a 2012», *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*, 2013.
- [25] P. Faria, «Demand Response in future power systems management – A conceptual framework and simulation tool», *Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior de Engenharia do Porto*, 2011.
- [26] US Department of Energy (USDE), «Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them», A Report to the United States Congress, 2006.
- [27] Federal Energy Regulatory Commission (FERC), «Assessment of demand response and advanced metering», USA, 2008.
- [28] M. H. Albadi e E. F. El-Saadany, «Demand response in electricity markets: An overview», *IEEE power engineering society general meeting*, vol. 2007, pp. 1–5, 2007.
- [29] C. Ilco, «Negociação Bilateral em Mercados de Energia Eléctrica Multi-Agente com Participação Activa dos Consumidores», *Dissertação de Mestrado, Engenharia Electrotécnica, Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa*, 2012.
- [30] F. Lopes e H. Coelho, «Concession Strategies for Negotiating Bilateral Contracts in Multi-agent Electricity Markets», *Database Expert Systems Application (DEXA)*, pp. 321–325, 2012.
- [31] M. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009.
- [32] S. Russell e P. Norvig, «Artificial Intelligence: A Modern Approach», Prentice Hall, Inc, 2003.
- [33] N. R. Jennings, K. Sycara, e M. Wooldridge, «A Roadmap of Agent Research and Development», *Auton. Agent. Multi. Agent. Syst.*, vol. 1, n. 1, pp. 7–38, 1998.
- [34] T. Rodrigues, «Estratégias para Negociação de Contratos Bilaterais em Mercados Multi-Agente de Energia Eléctrica», *Dissertação de Mestrado, Engenharia Electrotécnica, Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa* 2012.
- [35] F. Lopes, J. Sousa, e H. Coelho, «Negotiation and Risk Management in Multi-Agent Energy Markets», *Relatório Interno, LNEG*, 2010.
- [36] F. Lopes, M. Wooldridge, e A. Q. Novais, «Negotiation among autonomous computational agents: principles, analysis and challenges», *Artif. Intell. Rev.*, vol. 29, n. 1, pp. 1–44, 2008.
- [37] F. Lopes, «Negociação entre Agentes Computacionais Autónomos.» PhD Thesis, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

- [38] F. Lopes, H. Algarvio, e H. Coelho, «Negotiating Hour-wise Tariffs in Multi-Agent Electricity Markets», *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing 13*, vol. 8062 LNAI, pp. 246–256, Springer Verlag (LNAI 8062), 2013.
- [39] H. G. L. Lopes, «Prenegotiation and Actual Negotiation in Electricity Markets», Tese de Mestrado, Engenharia Informática, Escola de Tecnologias e Arquitectura, Lisboa: ISCTE IUL, 2012.
- [40] N. N. A. Bakar, M. Y. Hassan, H. Abdullah, H. A. Rahman, M. P. Abdullah, F. Hussin, e M. Bandi, «Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 1–11, 2015.

Anexo A

Tabelas do Cenário Base

Tabela A.1 – Consumos por hora do piso -1 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	3,66
8	0,05	0,00	5,31
9	1,53	0,15	6,00
10	1,85	0,26	7,76
11	1,85	0,26	9,48
12	1,85	0,26	10,69
13	1,53	0,15	11,86
14	1,85	0,26	12,38
15	1,85	0,26	12,63
16	1,85	0,26	12,45
17	1,85	0,26	10,65
18	1,85	0,26	8,75
19	1,53	0,15	6,11
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Totais	20,04	2,56	117,75
Total [kWh]		140,35	

Tabela A.2 - Consumos por hora do piso -1 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	25,33
8	0,05	0,00	25,21
9	1,38	0,14	18,79
10	1,85	0,25	11,50
11	1,85	0,25	9,12
12	1,85	0,25	8,31
13	1,53	0,31	7,76
14	1,85	0,22	7,52
15	1,85	0,25	7,32
16	1,85	0,25	6,97
17	1,85	0,25	8,45
18	1,85	0,25	10,34
19	1,96	0,14	2,64
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Totais	20,33	2,56	149,27
Total [kWh]		172,15	

Tabela A.3 - Consumos por hora do piso 0 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,94	0,60	0,00
1	0,94	0,60	0,00
2	0,94	0,60	0,00
3	0,94	0,60	0,00
4	0,94	0,60	0,00
5	0,94	0,60	0,00
6	0,94	0,60	0,00
7	0,94	0,60	3,22
8	0,94	0,60	4,66
9	5,02	2,54	5,28
10	5,02	2,54	6,82
11	5,02	2,54	8,33
12	5,02	2,54	9,39
13	5,02	2,54	10,42
14	5,02	2,54	10,87
15	5,02	2,54	11,10
16	5,02	2,54	10,94
17	5,02	2,54	9,36
18	5,02	2,54	7,69
19	5,02	2,54	5,37
20	0,94	0,60	0,00
21	0,94	0,60	0,00
22	0,94	0,60	0,00
23	0,94	0,60	0,00
Totais	67,46	35,78	103,46
Total [kWh]		206,71	

Tabela A.4 - Consumos por hora do piso 0 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,94	0,60	0,00
1	0,94	0,60	0,00
2	0,94	0,60	0,00
3	0,94	0,60	0,00
4	0,94	0,60	0,00
5	0,94	0,60	0,00
6	0,94	0,60	0,00
7	0,94	0,60	32,07
8	0,94	0,60	31,93
9	5,03	2,39	23,80
10	5,03	2,39	14,57
11	5,03	2,39	11,55
12	5,03	2,39	10,52
13	5,03	2,39	9,82
14	5,03	2,39	9,53
15	5,03	2,39	9,27
16	5,03	2,39	8,83
17	5,03	2,39	10,70
18	5,03	2,39	13,09
19	5,03	2,39	3,35
20	0,94	0,60	0,00
21	0,94	0,60	0,00
22	0,94	0,60	0,00
23	0,94	0,60	0,00
Totais	67,63	34,14	189,02
Total [kWh]		290,79	

Tabela A.5 - Consumos por hora do piso 1 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,06	0,00	0,00
1	0,06	0,00	0,00
2	0,06	0,00	0,00
3	0,06	0,00	0,00
4	0,06	0,00	0,00
5	0,06	0,00	0,00
6	0,06	0,00	0,00
7	0,06	0,00	3,65
8	0,06	0,00	5,30
9	9,59	10,39	5,99
10	9,59	10,39	7,74
11	9,59	10,39	9,46
12	9,59	10,39	10,67
13	9,59	10,39	11,84
14	9,59	10,39	12,35
15	9,59	10,39	12,60
16	9,59	10,39	12,42
17	9,59	10,39	10,63
18	9,59	10,39	8,73
19	9,59	10,39	6,10
20	0,06	0,00	0,00
21	0,06	0,00	0,00
22	0,06	0,00	0,00
23	0,06	0,00	0,00
Totais	106,34	114,25	117,48
Total [kWh]		338,08	

Tabela A.6 - Consumos por hora do piso 1 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,06	0,00	0,00
1	0,06	0,00	0,00
2	0,06	0,00	0,00
3	0,06	0,00	0,00
4	0,06	0,00	0,00
5	0,06	0,00	0,00
6	0,06	0,00	0,00
7	0,06	0,00	22,73
8	0,06	0,00	22,63
9	9,59	10,39	16,87
10	9,59	10,39	10,32
11	9,59	10,39	8,18
12	9,59	10,39	7,46
13	9,59	10,39	6,96
14	9,59	10,39	6,75
15	9,59	10,39	6,57
16	9,59	10,39	6,26
17	9,59	10,39	7,59
18	9,59	10,39	9,28
19	9,59	10,39	2,37
20	0,06	0,00	0,00
21	0,06	0,00	0,00
22	0,06	0,00	0,00
23	0,06	0,00	0,00
Totais	106,34	114,25	133,96
Total [kWh]		354,55	

Tabela A.7 - Consumos por hora do piso 3 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	0,01
8	0,05	0,00	0,01
9	2,00	0,44	0,01
10	2,00	0,44	0,02
11	2,00	0,44	0,02
12	2,00	0,44	0,02
13	2,00	0,44	0,03
14	2,00	0,44	0,03
15	2,00	0,44	0,03
16	2,00	0,44	0,03
17	2,00	0,44	0,02
18	2,00	0,44	0,02
19	2,00	0,44	0,01
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Totais	22,65	4,80	0,27
Total [kWh]		27,71	

Tabela A.8 - Consumos por hora do piso 3 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	0,06
8	0,05	0,00	0,06
9	2,00	0,44	0,05
10	2,00	0,44	0,03
11	2,00	0,44	0,02
12	2,00	0,44	0,02
13	2,00	0,44	0,02
14	2,00	0,44	0,02
15	2,00	0,44	0,02
16	2,00	0,44	0,02
17	2,00	0,44	0,02
18	2,00	0,44	0,03
19	2,00	0,44	0,01
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Totais	22,65	4,80	0,37
Total [kWh]		27,82	

Tabela A.9 - Ventiladores de Extração.

Caracterização dos Ventiladores de Extração								
Identificação	VEH	VE 0.1	VE 0.2	VE 0.3	VE 1.1	VE 1.2	VE 2.1	VE 2.2
Marca	S&P	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P Mixvent	S&P	S&P Mixvent	S&P Mixvent
Modelo	CK - 60F	TD - 160/100	TD - 160/101	TD - 160/102	TD - 500/160	EDM 100 S	TD - 1300/2 50	TD - 500/150
Potência [W]	160	23	23	23	68	13	110	68
Caudal Máximo [m ³ /h]	625	130	130	130	535	95	950	535
Caudal Nominal [m ³ /h]	570	60	60	60	350	50	400	300
Caudal Real Extraído [m ³ /h]	570	60	60	60	50	1100	110	120
Função	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração	Extração
UTA	4,5,6 e 7	3	8	6 e 8	6	1,3,4 e 6	6	4
Piso Tratado	P-1, P2	P0,P1 e P2	P0, P1, P2	P1, P2 e P3	P2 e P3	P0, P1, P2	P2 e P3	Auditório

Anexo B

Tabelas do Cenário Eficiente

Tabela B.1 - Consumos por hora do piso -1 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	0,00
8	0,05	0,00	0,00
9	1,53	0,15	3,37
10	1,85	0,26	6,85
11	1,85	0,26	7,54
12	1,85	0,26	8,71
13	1,53	0,15	8,71
14	1,85	0,26	9,45
15	1,85	0,26	9,74
16	1,85	0,26	9,15
17	1,85	0,26	9,19
18	1,85	0,26	8,35
19	1,53	0,15	3,99
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Σ [kWh]	20,04	2,56	85,06
Total [kWh]		107,66	

Tabela B.2 - Consumos por hora do piso -1 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	14,09
8	0,05	0,00	26,84
9	1,38	0,14	20,86
10	1,85	0,25	13,71
11	1,85	0,25	10,43
12	1,85	0,25	6,27
13	1,53	0,31	2,70
14	1,85	0,22	2,47
15	1,85	0,25	2,29
16	1,85	0,25	4,68
17	1,85	0,25	8,98
18	1,85	0,25	11,01
19	1,96	0,14	2,80
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Σ [kWh]	20,33	2,56	127,12
Total [kWh]		150,01	

Tabela B.3 - Consumos por hora do piso 0 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,94	0,60	0,00
1	0,94	0,60	0,00
2	0,94	0,60	0,00
3	0,94	0,60	0,00
4	0,94	0,60	0,00
5	0,94	0,60	0,00
6	0,94	0,60	0,00
7	0,94	0,60	0,00
8	0,94	0,60	0,00
9	5,02	2,54	2,96
10	5,02	2,54	6,02
11	5,02	2,54	6,63
12	5,02	2,54	7,66
13	5,02	2,54	7,66
14	5,02	2,54	8,30
15	5,02	2,54	8,56
16	5,02	2,54	8,04
17	5,02	2,54	8,08
18	5,02	2,54	7,34
19	5,02	2,54	3,51
20	0,94	0,60	0,00
21	0,94	0,60	0,00
22	0,94	0,60	0,00
23	0,94	0,60	0,00
Σ [kWh]	67,46	35,78	74,74
Total [kWh]		177,98	

Tabela B.4 - Consumos por hora do piso 0 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,94	0,60	0,00
1	0,94	0,60	0,00
2	0,94	0,60	0,00
3	0,94	0,60	0,00
4	0,94	0,60	0,00
5	0,94	0,60	0,00
6	0,94	0,60	0,00
7	0,94	0,60	17,84
8	0,94	0,60	33,99
9	5,03	2,39	26,41
10	5,03	2,39	17,36
11	5,03	2,39	13,20
12	5,03	2,39	7,94
13	5,03	2,39	3,42
14	5,03	2,39	3,13
15	5,03	2,39	2,91
16	5,03	2,39	5,92
17	5,03	2,39	11,37
18	5,03	2,39	13,94
19	5,03	2,39	3,55
20	0,94	0,60	0,00
21	0,94	0,60	0,00
22	0,94	0,60	0,00
23	0,94	0,60	0,00
Σ [kWh]	67,63	34,14	160,98
Total [kWh]		262,75	

Tabela B.5 - Consumos por hora do piso 1 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,06	0,00	0,00
1	0,06	0,00	0,00
2	0,06	0,00	0,00
3	0,06	0,00	0,00
4	0,06	0,00	0,00
5	0,06	0,00	0,00
6	0,06	0,00	0,00
7	0,06	0,00	0,00
8	0,06	0,00	0,00
9	9,59	10,39	3,31
10	9,59	10,39	6,72
11	9,59	10,39	7,40
12	9,59	10,39	8,55
13	9,59	10,39	8,55
14	9,59	10,39	9,27
15	9,59	10,39	9,56
16	9,59	10,39	8,98
17	9,59	10,39	9,02
18	9,59	10,39	8,19
19	9,59	10,39	3,92
20	0,06	0,00	0,00
21	0,06	0,00	0,00
22	0,06	0,00	0,00
23	0,06	0,00	0,00
Σ [kWh]	106,34	114,25	83,46
Total [kWh]		304,05	

Tabela B.6 - Consumos por hora do piso 1 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,06	0,00	0,00
1	0,06	0,00	0,00
2	0,06	0,00	0,00
3	0,06	0,00	0,00
4	0,06	0,00	0,00
5	0,06	0,00	0,00
6	0,06	0,00	0,00
7	0,06	0,00	12,29
8	0,06	0,00	23,42
9	9,59	10,39	18,20
10	9,59	10,39	11,96
11	9,59	10,39	9,10
12	9,59	10,39	5,47
13	9,59	10,39	2,36
14	9,59	10,39	2,15
15	9,59	10,39	2,00
16	9,59	10,39	4,08
17	9,59	10,39	7,83
18	9,59	10,39	9,61
19	9,59	10,39	2,45
20	0,06	0,00	0,00
21	0,06	0,00	0,00
22	0,06	0,00	0,00
23	0,06	0,00	0,00
Σ [kWh]	106,34	114,25	110,92
Total [kWh]		331,51	

Tabela B.7 - Consumos por hora do piso 3 num dia de verão.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	0,00
8	0,05	0,00	0,00
9	2,00	0,44	0,01
10	2,00	0,44	0,02
11	2,00	0,44	0,02
12	2,00	0,44	0,02
13	2,00	0,44	0,02
14	2,00	0,44	0,02
15	2,00	0,44	0,02
16	2,00	0,44	0,02
17	2,00	0,44	0,02
18	2,00	0,44	0,02
19	2,00	0,44	0,01
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Σ [kWh]	22,65	4,80	0,19
Total [kWh]		27,64	

Tabela B.8 - Consumos por hora do piso 3 num dia de inverno.

Horas/dia	Iluminação	Equipamentos	UTA's
0	0,05	0,00	0,00
1	0,05	0,00	0,00
2	0,05	0,00	0,00
3	0,05	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,00
5	0,05	0,00	0,00
6	0,05	0,00	0,00
7	0,05	0,00	0,00
8	0,05	0,00	0,00
9	2,00	0,44	0,01
10	2,00	0,44	0,02
11	2,00	0,44	0,02
12	2,00	0,44	0,02
13	2,00	0,44	0,02
14	2,00	0,44	0,02
15	2,00	0,44	0,02
16	2,00	0,44	0,02
17	2,00	0,44	0,02
18	2,00	0,44	0,02
19	2,00	0,44	0,01
20	0,05	0,00	0,00
21	0,05	0,00	0,00
22	0,05	0,00	0,00
23	0,05	0,00	0,00
Σ [kWh]	22,65	4,80	0,19
Total [kWh]		27,64	

