**Patrícia Pereira Bravo**

Licenciada em Ciências do Ambiente

# Análise Custo-benefício de Medidas de Eficiência Energética na FCT/UNL

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis – Conversão Elétrica e Utilização Sustentáveis

Orientador: Professor Doutor João Joanaz de Melo,
Professor Auxiliar com agregação, FCT/UNL
Co-orientador: Professor Doutor João Martins,
Professor Auxiliar com agregação, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Mário Fernando da Silva Ventim Neves
Arguente: Prof. Doutor Rui Alexandre Nunes Neves da Silva
Vogal: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo
Vogal: Prof. Doutor João Francisco Alves Martins

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro, 2013**

# AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao meu pai, à minha mãe e irmã por todo o apoio incondicional que me têm dado ao longo destes anos.

Ao Professor Doutor João Joanaz de Melo por ter aceitado orientar a minha tese e, principalmente, pela paciência e persistência. Ao Professor Doutor João Martins por nunca ter desistido de mim.

Quero agradecer aos meus colegas do Campus Verde, David Nunes e Adalgiza Fonseca. Um obrigado muito especial ao Filipe Graça por todo o apoio, paciência, motivação e incentivo. E às minhas colegas de mestrado, Bruna Cardoso e Sofia Abelho, que ao longo deste anos continuam presentes.

Às empresas que despenderam tempo e recursos para me facultarem toda a informação necessária. Um especial obrigado à Susana Antunes, representante comercial da empresa Openline.

Aos meus colegas do grupo Capoeira Alto Astral por me ajudarem a aliviar o *stress* nos treinos. Um especial obrigado ao Professor Cogumelo pela motivação e por ter estado ao meu lado nestes anos mais conturbados da minha vida. Um grande obrigado ao meu Mestre, Marco António, pela compreensão relativamente às minhas falhas pontuais no grupo.

E por último, aos meus amigos pelas palavras de incentivo e compreensão pelas minhas faltas de comparência em alguns momentos importantes.

# SUMÁRIO

Desde a crise energética mundial dos anos 70 que a questão da eficiência energética tem vindo a ganhar relevo. Com o aumento do consumo de energia, especialmente nos países mais desenvolvidos, a eficiência energética é vista pela União Europeia como a principal ferramenta no combate ao desperdício de energia. Nos países europeus, o consumo de energia nos edifícios representa uma importante fatia dos consumos. O setor dos edifícios tem uma expressão de cerca de 40% dos consumos finais de energia na Europa e de cerca de 30% em Portugal. Nesta ótica, o governo português transpôs um conjunto de políticas para a energia a nível nacional, que culminou no mais recente programa de eficiência energética na Administração Pública, o Eco.AP, o qual visa a redução da fatura energética do Estado em 30% até 2020.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL) sendo um estabelecimento de ensino superior público, enquadra-se nas medidas nacionais de redução de energia, através do programa Eco.AP. Assim, por intermédio de uma auditoria energética, foi avaliado o desempenho energético da FCT/UNL e do maior edifício consumidor e, desta forma, identificadas áreas de intervenção e oportunidades de melhoria com vista à redução do consumo energético e aumento da eficiência energética no *Campus*. Posteriormente, foi efetuada uma análise custo-benefício das medidas de eficiência energética identificadas.

Este trabalho verifica que o consumo na FCT/UNL é elevado e que o edifício estudado, que reflete a maioria dos edifícios públicos existentes, apresenta patologias típicas no que respeita à envolvente opaca, ao nível da iluminação e climatização. Na totalidade, as medidas identificadas revelam um potencial de poupança de cerca de 17%. A análise custo-benefício permitiu identificar medidas com retorno de investimentos muito satisfatórios, e inferiores a 1 ano. No entanto algumas medidas apresentam retornos de investimento muito elevados e na ordem das décadas inviabilizando os projetos.

Conclui-se assim que FCT/UNL, e o edifício público em estudo, têm elevado potencial de poupança no entanto, as medidas identificadas implicam grandes investimentos, algumas apresentam períodos de retorno interessantes, mas exigem uma taxa de esforço financeiro que atualmente as organizações não conseguem suportar.

**Palavras-Chave:** Eficiência Energética; Análise custo-benefício; Benchmarking; Indicadores Energéticos

# ABSTRACT

Since the global energy crisis in the 70s that energy efficiency has gained importance. With the increase of energy consumption, especially in developed countries, that EU sees energy efficiency as the main tool to combat energy waste. In European countries, the consumption of energy in buildings represents a major share of consumption. Buildings' sector is about 40% of the final energy consumption in Europe and about 30% in Portugal. In this sense, the Portuguese government has implemented a national set of energy's policies, which culminate as the latest energy efficiency program for Public Administration. The Eco.AP program aims to reduce 30% of the state's energy bill by 2020.

As a public institution for higher education The Faculty of Science and Technology, New University of Lisbon (FCT/UNL) fits these national measures to reduce energy through the program Eco.AP. Through an energy audit, we evaluated the energy performance of FCT / UNL and the largest building consumer. This way, we were able to identify intervention areas and opportunities for improvement. After, we performed a cost-benefit analysis of energy efficiency in order to reduce energy consumption and increase energy efficiency in campus.

This work verifies that the consumption at FCT / UNL is high. It also verifies that the studied building, which reflects the majority of existing public buildings, presents typical pathologies regarding the opaque surrounding regarding the level of lighting and air conditioning. In total, the identified measures show a potential savings around 17 %. The cost-benefit analysis was able to identify measures with very satisfactory investment return in less than 1 year. However some measures have high investment returns which unfeasible some projects.

Therefore, FCT / UNL and the public building in this study have high potential savings however, the measures we identified involve large investments. Some have periods of interesting feedback but require a financial outlay rate currently organizations fail bear.

**Key words:** Energy Efficiency, Cost Benefit Analysis, Benchmarking, Energy Indicators

# ÍNDICE DE MATÉRIAS

AGRADECIMENTOS ..... v

SUMÁRIO ..... vii

ABSTRACT ..... ix

ÍNDICE DE MATÉRIAS ..... xi

ÍNDICE DE FIGURAS ..... xiii

ÍNDICE DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURA, SIGLAS E SIMBOLOS

1. Introdução ..... 1

1.1. Enquadramento ..... 1

1.2. Objetivos e âmbito ..... 1

1.3. Organização da dissertação ..... 2

2. Revisão de literatura ..... 3

2.1. Energia ..... 3

2.2. Políticas e Regulamentação do Sector de Energia ..... 8

2.2.1. União Europeia ..... 8

2.2.2. Portugal ..... 9

2.2.3. O Sistema de Certificação Energética ..... 13

2.2.4. Sector Público e Energia ..... 14

2.3. Eficiência Energética ..... 15

2.4. Benchmarking ..... 17

3. Áreas de ação para a eficiência energética ..... 19

3.1. Edifícios ..... 19

3.1.1. Envolvente do edifício ..... 19

3.1.2. Iluminação ..... 23

3.1.3. Equipamentos ..... 24

3.2. Contrato de fornecimento de energia ..... 24

3.3. Energia reativa ..... 27

3.4. Comportamento para a eficiência energética ..... 30

3.5. Gás ..... 32

3.6. Gestão técnica centralizada ... 32
4. Metodologia ... 33
4.1. Apresentação do caso de estudo ... 33
4.1.1. A FCT/UNL ... 33
4.1.2. Edifício Departamental ... 36
4.2. Abordagem geral ... 41
4.3. Estimativa de consumos energéticos ... 42
4.4. Indicadores ... 47
4.5. Análise custo-benefício ... 48
5. Resultados e Discussão de Resultados ... 51
5.1. Consumo de energia na FCT/UNL ... 51
5.2. Consumo de energia no Edifício Departamental ... 59
5.3. Análise da fatura energética ... 65
5.4. Índice de eficiência energética ... 72
5.5. Comportamento para a eficiência energética ... 74
5.6. Analise custo-benefício ... 78
5.6.1. FCT/UNL ... 78
5.6.2. Edifício Departamental ... 82
6. Conclusões ... 87
6.1. Síntese conclusiva ... 87
6.2. Cumprimento dos objetivos ... 88
6.3. Recomendações ... 88
6.4. Desenvolvimentos futuros ... 88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 91

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Dependência Energética da UE-27 (EUROSTAT, 2012) ..... 4

Figura 2.2 - Consumo de energia elétrica pela indústria, transportes, residencial/serviços (EUROSTAT, 2012)..... 4

Figura 2.3. - Consumo de energia primária em Portugal (DGEG, 2012)..... 5

Figura 2.4 - Consumo de energia final em Portugal, por setor (DGEG, 2012) ..... 6

Figura 2.5 - Consumos de energia elétrica por tipo de consumo em 2008. ..... 7

Figura 2.6 - Consumo global de energia em edifícios do Estado (APDC, 2010)..... 7

Figura 2.7 - Programa Portugal Eficiência 2015. ..... 10

Figura 2.8 - Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE de 2008. ..... 11

Figura 2.9 - Áreas e programas do PNAEE 2016. ..... 12

Figura 2.10 - Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa. ..... 12

Figura 2.11 - Curva de oferta de eficiência energética (Mckinsey, 2009)..... 16

Figura 3.1 - Vantagens e desvantagens do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior (Anselmo, 2004)..... 20

Figura 3.2 - Camadas constituintes do sistema ETIC (Guerra, 2010) ..... 20

Figura 3.3 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico ETIC, em relação à situação inicial (sem isolamento térmico) (Anselmo, 2004)..... 22

Figura 3.4 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, em relação à situação inicial (sem isolamento térmico) (Anselmo, 2004) ..... 23

Figura 3.5 - Desagregação dos preços por componente para clientes em MT (EDP, 2013) ..... 25

Figura 3.6 - Tarifas de acesso às redes em 2012 (ERSE, 2013) ..... 26

Figura 3.7 - Tensão, corrente e potência num circuito monofásico ..... 28

Figura 3.8 - Relação entre as potências ativa, reativa e aparente ..... 29

Figura 3.9 - Diagrama vetorial de potências com compensação da reativa ..... 29

Figura 3.12 - Barreiras na adoção de Eficiência Energética (Silva, 2012) ..... 31

Figura 4.1- Planta do Campus FCT/UNL ..... 33

Figura 4.2 – Planta do Edifício Departamental..... 36

Figura 4.3 - Imagens de infravermelhos do Edifício Departamental, capturadas ao final do dia (Marcelino, 2010)..... 38

Figura 4.4 - Distribuição do consumo anual de energia elétrica por áreas (Gaspar, 2002) ..... 41

Figura 4.5 - Analisador Trifásico Chauvin Arnoux C.A 8334B ..... 43

Figura 4.6 - Energy Monitor 3000 ..... 43

Figura 5.1 – Desagregação do consumo energético total na FCT/UNL no ano de 2012 ..... 51

Figura 5.2 – Distribuição mensal do consumo gás na FCT/UNL nos anos de 2010, 2011 e 2012 ..... 52

Figura 5.3 - Distribuição mensal de consumo de energia ativa para os anos de 2010, 2011 e 2012 .. 54

Figura 5.4 - Temperatura média diária nos anos de 2010, 2011 e 2012 (SNIRH, 2013) ..... 55

Figura 5.5 - Temperatura média diária no ano de 2012 no Monte de Caparica (SNIRH, 2013) ..... 56

Figura 5.6 - Consumo de energia elétrica no Edifício Departamental no ano de 2012 ..... 59

Figura 5.7 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Ambiente por tipo de atividade em 2012 ..... 62

Figura 5.8 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Química por tipo de atividade em 2012 ..... 63

Figura 5.9 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Ambiente por tipo de equipamento em 2012 ..... 64

Figura 5.10 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Química por equipamento em 2012 ..... 65

Figura 5.11 - Peso dos custos associados ao consumo de energia elétrica na FCT/UNL em 2012.... 66

Figura 5.12 - Consumo total detalhado por horas de taxação em 2012 ..... 67

Figura 5.13 - Distribuição do consumo anual e respetiva fatura pelos períodos horários para 2012... 68

Figura 5.14 - Diagrama de carga mensal para o ano de 2012 ..... 69

Figura 5.15 - Consumo mensal de energia reativa na FCT/UNL no ano de 2010, 2011 e 2012 ..... 70

Figura 5.16 - Variação mensal do fator de potência na FCT/UNL para 2010, 2011 e 2012 ..... 71

Figura 5.17 - Variação mensal da potência contratada na FCT/UNL em 2010, 2011 e 2012 ..... 72

Figura 5.18 - Número e tipo de ocorrências por edifício ..... 75

Figura 5.19 - Número e tipo de ocorrência por departamento ..... 75

Figura 5.20 - Evolução do número de ocorrências recorrentes em 2012 ..... 77

Figura 5.21 - Número e tipo de ocorrências por tipologia de espaço ..... 78

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dependência energética UE e Portugal (EUROSTAT, 2012) ..... 5

Tabela 2.3 - Índices de performance energética obtidos pelo HEEPI (HEEPI, 2004) ..... 17

Tabela 2.4 – Índices de performance energética obtidos pela Imperial College (Howe, 2005) ..... 17

Tabela 3.1 - Inquérito sobre direitos adquiridos (Silva, 2012) ..... 31

Tabela 4.1 - Indicadores e boas práticas para a energia no Campus (Graça, 2011) ..... 35

Tabela 4.2 - Dados climáticos relativos à zona em estudo (Aelenei, 2010) ..... 37

Tabela 4.3 - Consumos diários de pequenos equipamentos ..... 44

Tabela 5.1 - Consumo e custo total de gás na FCT nos anos de 2010, 2011 e 2012 ..... 52

Tabela 5.2 - Consumo e custo total de gás propano por depósito nos anos 2010, 2011 e 2012 ..... 53

Tabela 5.3 - Consumo e custo total de eletricidade nos anos de 2010, 2011 e 2012 ..... 53

Tabela 5.4 - Temperatura média mensal no ano de 2012 (SNIRH, 2013) ..... 56

Tabela 5.5 - Consumo dos edifícios do Campus da FCT/UNL de 2010 a 2012 ..... 58

Tabela 5.6 - Erro associado às estimativas para o Edifício Departamental Ala Ambiente em 2012 .... 60

Tabela 5.7 - Erro associado às estimativas para o Edifício Departamental Ala Química em 2012 ..... 60

Tabela 5.8 - Consumo elétrico corrigido no Edifício Departamental Ala Ambiente para 2012 ..... 60

Tabela 5.9 - Consumo elétrico corrigido no Edifício Departamental Ala Química para 2012 ..... 60

Tabela 5.10 - Consumo anual de energia ativa na FCT/UNL ..... 67

Tabela 5.11 - Consumo anual de energia reativa na FCT/UNL ..... 69

Tabela 5.12 - Índice de eficiência energética para o Edifício Departamental ..... 72

Tabela 5.13 - Índice de eficiência energética por tipologia de espaço no Edifício Departamental ..... 73

Tabela 5.14 - Índice de eficiência energética por tipologia de espaço no Edifício Departamental ..... 73

Tabela 5.15 - Tabela representativa do número e tipo de ocorrências por edifício em 2012 ..... 74

Tabela 5.16 - Tabela representativa do número e tipo de ocorrências recorrentes por espaço ..... 76

Tabela 5.17 – Cenários base e de redução de 15% e 25 % no consumo em ponta ..... 78

Tabela 5.18 - Análise para substituição de gás propano por gás natural ..... 79

Tabela 5.19 - Análise do VAL e TIR para a substituição de gás ..... 79

Tabela 5.20 – Potência total mensal de compensação de energia reativa no ano de 2012 ..... 80

Tabela 5.21 - Proposta de orçamento para baterias de condensadores por PT ..... 80

Tabela 5.22 - Análise do retorno do investimento para instalação de bateria de condensadores ..... 81

Tabela 5.23 - Análise do VAL e TIR para a compensação da energia reativa ..... 81

Tabela 5.24 - Análise de poupanças geradas por alteração de comportamentos..... 81

Tabela 5.25 – Orçamento para intervenção na fachada do Edifício Departamental ..... 82

Tabela 5.26 - Poupança energética e económica por reabilitação da fachada ..... 82

Tabela 5.31 - Orçamento para substituição de vãos envidraçados no Edifício Departamental ..... 83

Tabela 5.32 - Poupança energética e económica por reabilitação de vãos envidraçados..... 83

Tabela 5.34 - Soluções para substituição de iluminação no Edifício Departamental ..... 84

Tabela 5.35 - Análise do VAL e TIR para as soluções de substituição de iluminação do Edifício Departamental ..... 85

Tabela 6.1 - Resumo das potenciais economias ..... 87

# LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

| | |
|---|---|
| ACB | Análise Custo-benefício |
| ADENE | Agência para a Energia |
| AEA | Agência Europeia do Ambiente |
| AP | Administração Pública |
| APDC | Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações |
| AQS | Águas Quentes Sanitárias |
| AVAC | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado |
| BT | Baixa Tensão |
| CE | Conselho Europeu |
| CIEG | Custos de Interesse Económico Geral |
| CO2 | Dióxido de Carbono |
| CRT | Cathode Ray Tube |
| DAT | Divisão de Apoio Técnico |
| DC | Diagrama de Carga |
| DGEG | Direção Geral de Energia e Geologia |
| ECO.AP | Programa de Eficiência Energética na Administração Pública |
| EDP | Eletricidade de Portugal |
| EPS | Poliesteireno expandido moldado |
| ERSE | Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos |
| ESE | Empresas de Serviços Energéticos |
| ETICS | External Thermal Insulation Composite Systems |
| EU | União Europeia |
| FCT | Faculdade de Ciências e Tecnologia |
| FP | Fator de Potência |
| GEE | Gases com Efeito de Estufa |
| GLE | Gestor Local de Energia |
| GTC | Gestão Técnica Centralizada |
| HEEPI | Higher Education Environmental Performance Improvement |
| ICL | Imperial College of London |
| IEA | International Energy Agency |
| IEEA | Intelligent Energy Europe Agency |
| IVA | Imposto sobre o Valor Acrescentado |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LNEG | Laboratório Nacional de Energia e Geologia |
| ML | Mercado Liberalizado |
| MT | Média Tensão |
| PNAC | Plano Nacional para as Alterações Climáticas |
| PNAEE | Plano Nacional para a Eficiência Energética |
| PT | Posto de Transformação |
| QGBT | Quadro Geral de Baixa Tensão |
| QGP | Quadro Geral de Piso |
| QREN | Quadro de Referência Estratégica Nacional |
| RCCTE | Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios |
| RRC | Regulamento de Relações Comerciais |

| | |
|---|---|
| RSECE | Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios |
| SCE | Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios |
| SGA | Sistema de Gestão Ambiental |
| SNIRH | Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos |
| tep | toneladas equivalentes de petróleo |
| TIR | Taxa Interna de Rentabilidade |
| UNL | Universidade Nova de Lisboa |
| VAL | Valor Atualizado Líquido |

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

A necessidade e a dependência energéticas são cada vez mais alarmantes, qualquer equipamento em nossa casa, escritório, iluminação nas ruas e até as centrais que produzem e distribuem a nossa energia, consomem uma fonte de energia. A utilização das fontes de energia de origem fóssil, como o petróleo (que representa 37% do consumo mundial), o carvão (27% do consumo mundial) e o gás natural, contribuem grandemente para a libertação de dióxido de carbono ($CO_2$) para a atmosfera (OECD/IEA, 2011).

O Protocolo de Quioto impõe um teto nas emissões de $CO_2$ para a atmosfera e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa e que contribuem para o aquecimento global. O $CO_2$ tem uma contribuição relevante no aquecimento global e na redução da camada de ozono e é libertado essencialmente através da queima de combustíveis fósseis, usados na produção de calor e de eletricidade ou nos transportes (Andrade, 2012).

Em 2007, o Conselho Europeu (CE) adotou objetivos para 2020 em matéria de energia e alterações climáticas, nomeadamente uma redução de 20% nas emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), o aumento da quota de energias renováveis para 20% e uma melhoria de 20% na eficiência energética. A nova estratégia incide em cinco prioridades, sendo que a eficiência energética constitui um dos objetivos centrais para 2020, bem como um fator chave para a prossecução dos objetivos a longo prazo em matéria de energia e clima (IEEA, 2008).

A Europa, com índices de dependência energética face ao exterior na ordem dos 50% do consumo energético total, tem assumido uma enorme preocupação, promovendo sucessivas discussões e criando como prioridade estratégica a redução dos consumos e, inerentemente, a menor dependência (IEEA, 2008).

O sector dos edifícios é responsável por 37% de uso final de energia na União Europeia (UE), sendo que 12% é atribuído ao sector dos serviços. Portugal gasta por ano mais de 260 milhões de euros nos edifícios do Estado. Em conjunto, os edifícios do Estado e a iluminação pública, representam cerca de 9% do consumo total nacional de eletricidade em Portugal (APDC, 2010).

No âmbito do Plano Nacional para a Eficiência Energética (PNAEE 2016), e com vista à redução de consumos, foi criado o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública, Eco.AP. Este programa visa promover a eficiência energética na Administração Pública (AP) permitindo a redução da fatura energética em 30% até 2020, nos respetivos serviços e organismos públicos, com consequente redução de emissões de $CO_2$ (ADENE, 2011).

## 1.2. Objetivos e âmbito

A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL) sendo um estabelecimento de ensino superior público, enquadra-se nas medidas nacionais de redução de energia, através do programa Eco.AP. Assim, por intermédio de uma auditoria energética, pretende-

se avaliar o desempenho energético da FCT/UNL e, desta forma, identificar áreas de intervenção e oportunidades de melhoria que contribuam para o aumento da eficiência energética.

Esta dissertação tem como objetivo central a análise custo-benefício das medidas de eficiência energética identificadas, com vista à redução do consumo energético e aumento da eficiência energética no *Campus*.

O âmbito deste estudo incide na totalidade do *Campus* da FCT/UNL, abrangendo todos os seus edifícios de serviços (públicos). A auditoria efetuada ao *Campus* da FCT/UNL foi simples, consistindo numa pequena análise de faturação e do contrato de fornecimento, possibilitando, desta forma, perceber o consumo global da instalação e desagrega-lo por fonte energética e área funcional. Esta desagregação por área funcional permitiu ainda identificar o edifício com maiores consumos logo com elevado potencial de poupança, o Edifício Departamental.

## 1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação apresenta-se organizada em seis capítulos. No primeiro capítulo abordam-se aspetos gerais relativos ao trabalho, nomeadamente o tema escolhido e a definição dos objetivos.

No segundo capítulo é efetuada uma revisão bibliográfica sobre a energia e o enquadramento da regulamentação a nível europeu e nacional. Neste capítulo é ainda abordada a eficiência energética em grandes edifícios públicos e a gestão energética em campus universitários por tipologias de espaços.

No terceiro capítulo são apresentadas medidas de gestão e práticas mais recorrentes para a obtenção de eficiência energética em edifícios públicos, tendo em conta as patologias típicas encontradas nestes edifícios.

No quarto capítulo é feita a descrição e caracterização do caso de estudo identificando-se a origem dos principais constrangimentos. É apresentada a metodologia aplicada, a abordagem que serviu de base ao levantamento e análise dos dados apresentados.

No quinto capítulo são apresentados os resultados e a discussão dos resultados obtidos na auditoria energética. São também explorados os índices de eficiência energética obtidos relevantes ao *benchmarking* universitário. Este capítulo é ainda reservado à análise custo-benefício relativamente às medidas de eficiência energética propostas.

No sexto capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho desenvolvido. É feita uma síntese conclusiva dos resultados obtidos, do potencial de poupança em fatura energética e das medidas mais apelativas e de retorno rápido. É abordado o cumprimento dos objetivos definidos e as recomendações e desenvolvimentos futuros.

# 2. Revisão de literatura

## 2.1. Energia

Segundo a Agência Europeia do Ambiente (AEA), a energia é descrita como sinónimo de conforto pessoal, mobilidade, sendo essencial para a produção da maior parte da riqueza. Sem energia não há desenvolvimento económico nem melhoria da qualidade de vida. Esta pode transformar-se em calor, frio, movimento ou luz (AEA, 2010).

A energia pode ser definida nas suas mais variadas formas: energia primária é a energia tal como entra no sistema energético, isto é, é a energia na sua forma mais pura. Esta sofre transformações para dar origem à energia final (por exemplo, o carvão – energia primária – pode produzir eletricidade – energia final), que é a energia tal como ela é disponibilizada, nas suas várias formas (eletricidade, combustíveis, gás), às atividades económicas e às famílias. A energia útil é a energia que efetivamente produziu o efeito desejado, isto é, tendo como exemplo a iluminação elétrica, a energia elétrica consumida pela lâmpada pode ser considerada como energia final e a energia útil apenas a que se converteu em Lumens.

Neste sentido, a procura de energia tem vindo a aumentar em todo o mundo pois a maior parte dos países depende dos combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) para responder às suas necessidades energéticas, tendo assim aqueles uma relevância inegável na modernidade e no desenvolvimento, por constituírem grande parte da produção. Representam atualmente uma considerável parcela da matriz energética da nossa sociedade, e constituem preocupação, entre outros, por não serem renováveis. Há ainda o problema do aquecimento global, diretamente relacionado com a queima destes combustíveis (IPCC, 2008) .

*União Europeia*

O desenvolvimento económico mundial das últimas décadas caracterizou-se pela utilização intensa de energia, proveniente de recursos de origem fóssil, a um preço acessível e com produção de energia centralizada. Assim, os níveis de dependência energética foram crescendo, verificando-se na Figura 2.1 que em 2011 a UE-27 tinha uma dependência energética na ordem de 53%.

A UE-27 torna-se, assim, cada vez mais dependente das importações de energia primária a fim de satisfazer as necessidades energéticas. Desde 2004 que a importação de energia primária tem sido superior à produção, sendo que mais de metade da energia consumida provem de países fora da UE. A dependência energética sofreu um aumento de cerca de 40% nos anos 80 para 53% em 2011, atingindo as mais elevadas taxas de dependência pelo petróleo (84,9%) e pelo gás natural (67%).

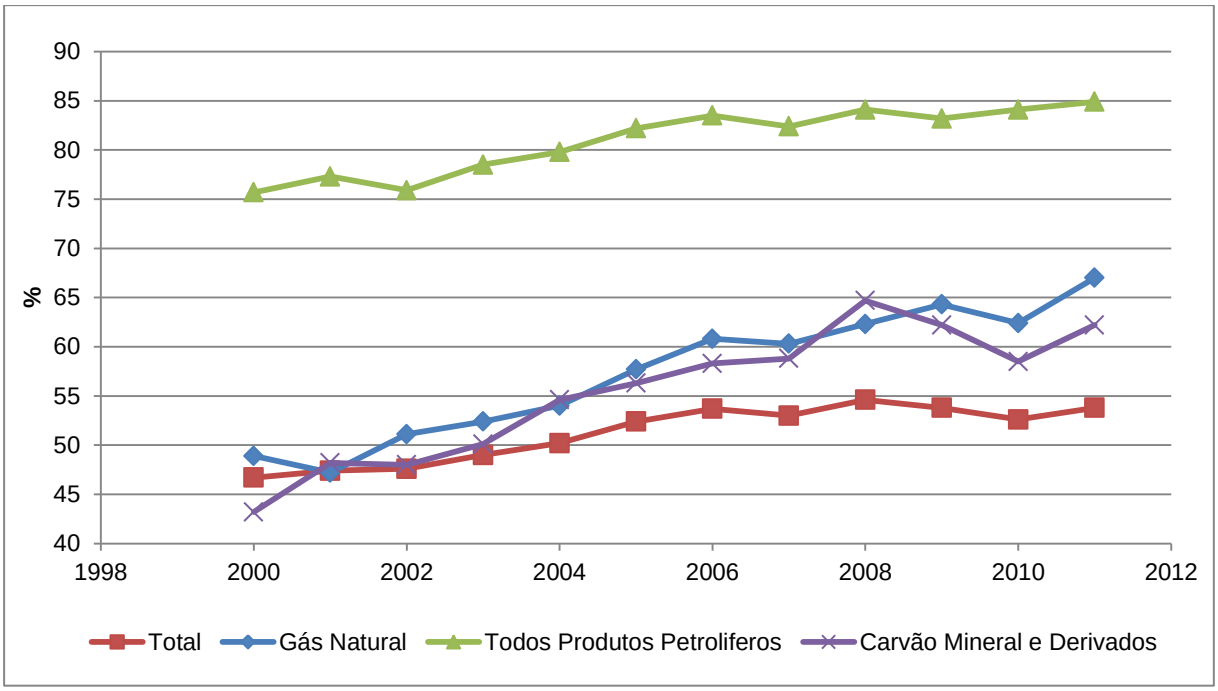


Figura 2.1 – Dependência Energética da UE-27 (EUROSTAT, 2012)

Na Europa tem-se verificado que o sector residencial e serviços têm um papel significativo no consumo de energia elétrica, como se verifica na Figura 2.2. O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 Mt de $CO_2$ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto (AEA, 2010).

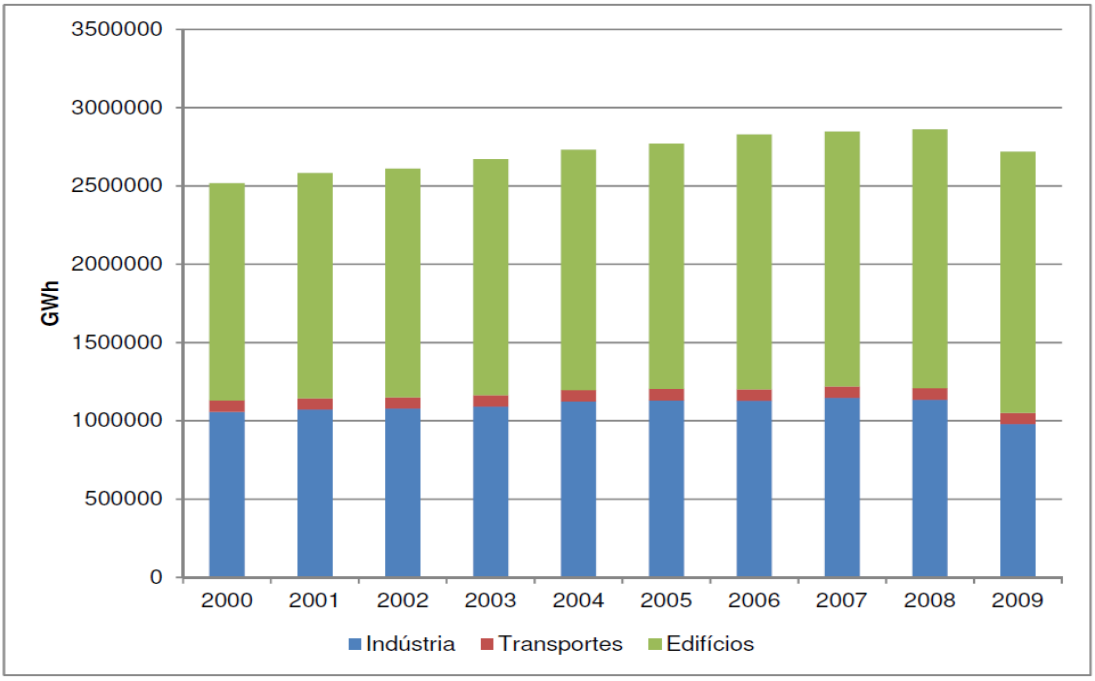


Figura 2.2 - Consumo de energia elétrica pela indústria, transportes, residencial/serviços (EUROSTAT, 2012)

*Portugal*

Um significativo aumento do consumo de energia final provocou uma elevada dependência em termos de importação para Portugal, visto que a produção nacional está limitada às fontes de energia renováveis. O petróleo é a principal fonte de abastecimento energética. O gás natural foi introduzido pela primeira vez em 1997 e ocupa um lugar cada vez mais importante no abastecimento de energia e produção de eletricidade. A produção de eletricidade depende em grande medida da energia hidrológica, que apresenta uma significativa variação anual. A indústria e os transportes são os principais sectores no consumo de energia.

A dependência energética de Portugal (78%) apresenta, como indicado na Tabela 2.1, valores mais elevados que a média da UE-27 (54%). A maior parte da energia importada baseia-se no petróleo, mas inclui também significativas quantidades de importações de gás e combustível sólido.

Tabela 2.1 – Dependência energética UE e Portugal (EUROSTAT, 2012)

| % | EU-27 | Portugal |
|---|---|---|
| Total | 54 | 78 |
| Gás Natural | 67 | 100 |
| Todos Produtos Petrolíferos | 85 | 100 |
| Carvão Mineral e Derivados | 62 | 97 |

No entanto, dados mais recentes, indicam que o consumo de energia primária em Portugal tem diminuído relativamente ao início da década. Contudo, estes valores têm de ser comparados e relacionados entre si, uma vez que não traduzem um menor consumo, muitos menos expressam uma maior eficiência.

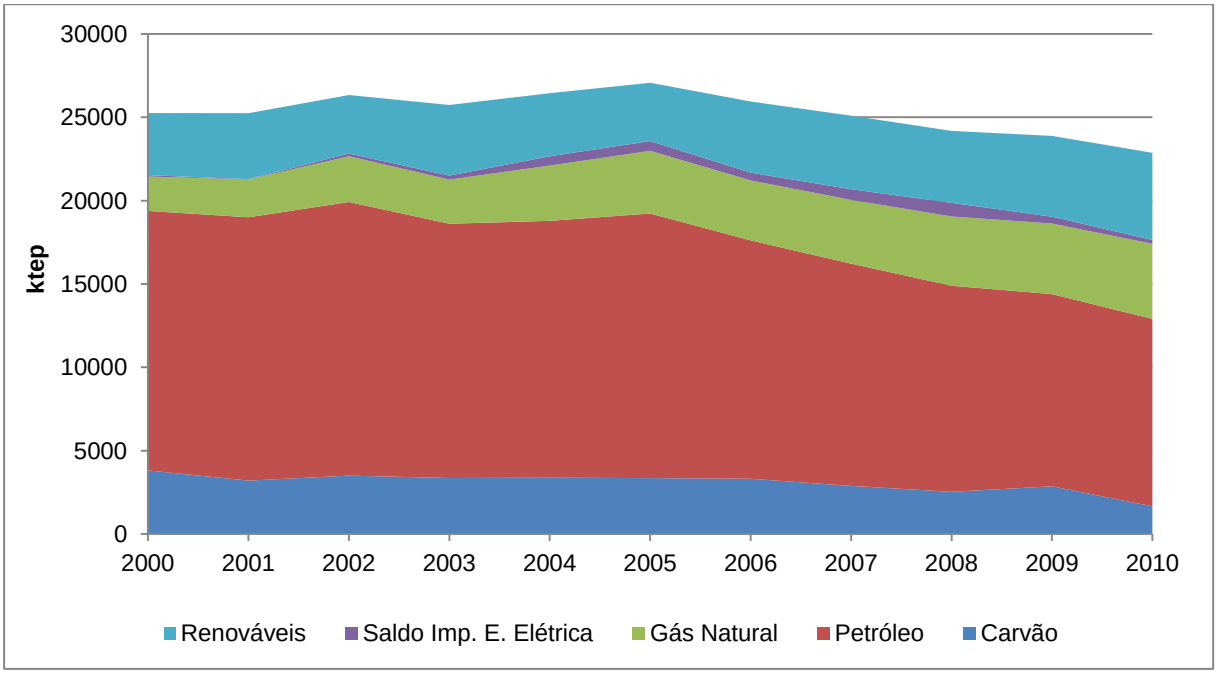


Figura 2.3. - Consumo de energia primária em Portugal (DGEG, 2012)

Registaram-se, dois ciclos distintos no que respeita ao consumo de energia primária: um primeiro ciclo, entre 2000 e 2005, de crescimento do consumo, em que se registou uma taxa de crescimento média anual (tcma) de 1,4%, e um segundo ciclo, entre 2005 e 2010, de decréscimo do consumo, em que se registou um tcma de -3.3%. A contribuir para esta tendência esteve o facto de o consumo de combustíveis fósseis ter decrescido desde 2005, em especial no que respeita ao carvão (-13.1%) e ao petróleo (-6.7%), induzida por uma correlativa forte expansão da produção de energia a partir de fontes renováveis.

Em Portugal, o consumo de energia elétrica equivale a cerca de 20 a 30% da energia primária, conforme se verifica na Figura 2.2. Apesar de 44,7% da eletricidade produzida em 2009 ter sido produzida por fontes renováveis, Portugal é dependente do exterior em cerca de 80%, ao nível da energia primária, como se viu. De forma a analisar os consumos de energia no país é essencial ter uma noção de qual a sua distribuição nos diversos sectores.

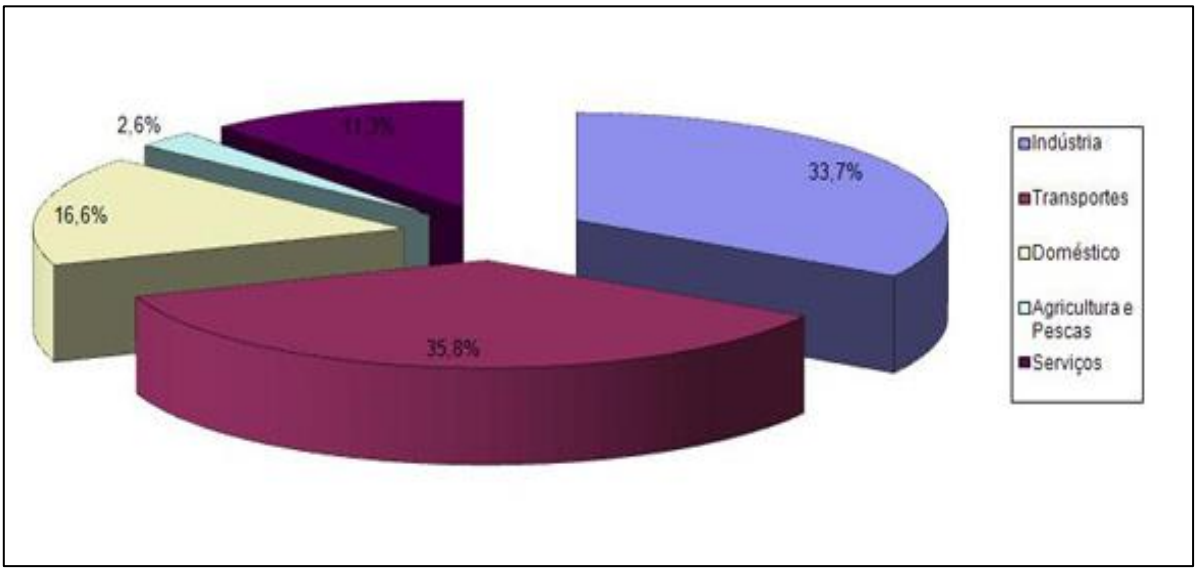


Figura 2.4 - Consumo de energia final em Portugal, por setor (DGEG, 2012)

Conforme se observa na Figura 2.4, a indústria e os transportes têm um peso muito significativo no consumo de energia final em Portugal. No seu conjunto, tanto doméstico como serviços, os edifícios aparecem em seguida como os maiores consumidores de energia, totalizando em energia final cerca de 28% do consumo nacional.

*Sector Público*

A fatura energética da Administração Pública (AP) em Portugal é superior a 500 milhões de euros por ano. Portugal gasta por ano 150 milhões de euros só em iluminação pública e mais de 260 milhões de euros nos edifícios do Estado (APDC, 2010).

O consumo de energia elétrica nacional em 2008 totalizou 49 TWh, sendo que o consumo dos edifícios do Estado, como verificado na Figura 2.5, representa 5,5% deste valor e a iluminação das vias públicas 3,3%. Em conjunto, os edifícios do Estado e a iluminação pública representam cerca de 9% do consumo total nacional de eletricidade. Sendo que as taxas de crescimento do consumo de

eletricidade nos edifícios públicos e na iluminação pública são muito superiores (cerca do dobro) à taxa média nacional (APDC, 2010).

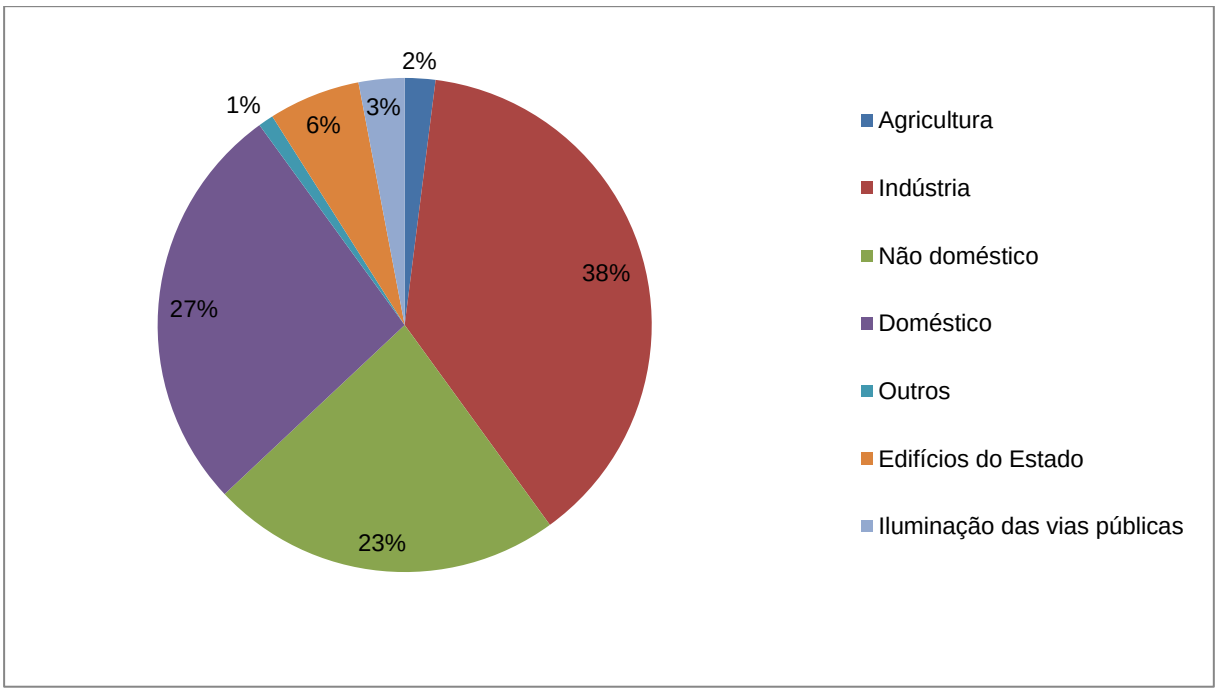


Figura 2.5 - Consumos de energia elétrica por tipo de consumo em 2008.

Observando a Figura 2.6 é possível verificar que o consumo global de eletricidade dos edifícios do Estado é de 1,1 TWh, e mais de 45% do consumo dessa energia elétrica está atribuída às Escolas, Institutos e Hospitais, sendo igualmente uma fatia representativa os serviços administrativos, as Direções, Ministérios e Secretarias de Estado. Analisando em detalhe os dados apresentados na Figura 2.6 verificamos que é a área da Educação que apresenta um maior consumo total de energia, cerca de 16%.

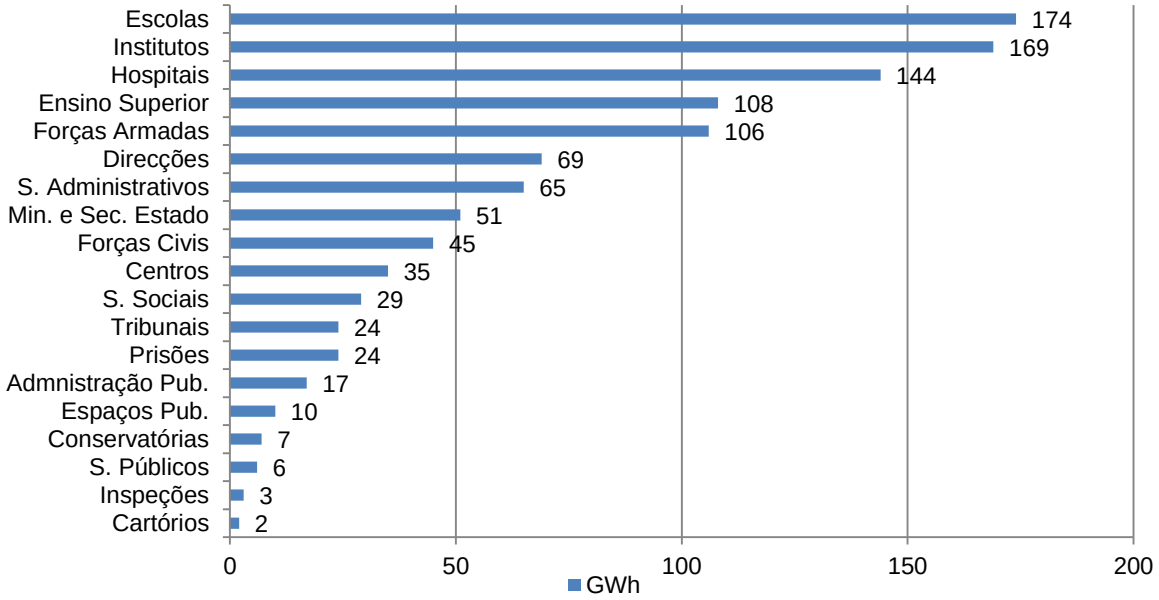


Figura 2.6 - Consumo global de energia em edifícios do Estado (APDC, 2010)

## 2.2. Políticas e Regulamentação do Sector de Energia

### 2.2.1. União Europeia

*Energia 2020: Estratégia para uma energia competitiva, sustentável e segura*

A energia é vital na nossa sociedade. No entanto, esta é também responsável por cerca de 80% das emissões totais de gases com efeito de estufa da UE, tornando-se, por isso, num dos maiores desafios da atualidade. A prosperidade da UE depende de uma energia segura, sustentável e a preço comportável.

Em 2007, o Conselho Europeu adotou objetivos ambiciosos para 2020 em matéria de energia e alterações climáticas, nomeadamente uma redução de 20% nas emissões de gases com efeito de estufa, a aumentar para 30% caso estivessem reunidas as devidas condições, o aumento da quota-parte de energias renováveis para 20% e uma melhoria da 20% na eficiência energética.

A qualidade dos Planos de Acção Nacionais para a Eficiência Energética, elaborados pelos Estados-Membros a partir de 2008, é dececionante, uma vez que deixa um vasto potencial inexplorado. Embora a EU esteja, em geral, na boa via para atingir a meta de 20% de energias renováveis, está todavia muito longe de atingir o objetivo definido para a eficiência energética.

A Estratégia Energia 2020, define assim como primeira prioridade a utilização eficiente da energia que se traduz numa poupança de 20% até 2020. Esta primeira prioridade, traduz-se num conjunto de ações que passam pela exploração dos sectores com maior potencial de poupança de energia (edifícios e transportes), pelo reforço da competitividade industrial tornando a indústria mais eficiente, pelo reforço da eficiência e do aprovisionamento energético e pelo aproveitamento ao máximo os Planos de Acção Nacionais para a eficiência energética. Os esforços concentram-se em toda a cadeia energética, desde a produção de energia, passando pelo transporte e pela distribuição, até ao consumo final. A eficiência energética é assim integrada em todos os domínios políticos pertinentes, incluindo a educação e a formação, a fim de permitir uma mudança dos actuais padrões de comportamento.

A nova estratégia incide em cinco prioridades principais:

1. Realização de uma Europa energeticamente eficiente
2. Construção de um mercado da energia verdadeiramente pan-europeu e integrado;
3. Capacitação dos consumidores e garantia do mais elevado nível de segurança intrínseca e extrínseca;
4. Alargamento da liderança da Europa no domínio das tecnologias energéticas e da inovação;
5. Reforço da dimensão externa do mercado da energia da UE.

.Constituindo um dos objetivos centrais para 2020, bem como um fator-chave para a prossecução dos objetivos a longo prazo em matéria de energia e clima, a eficiência energética é o modo economicamente mais eficaz para reduzir as emissões, melhorar a segurança energética e a competitividade, tornar o consumo de energia economicamente mais comportável para os consumidores, proporcionado benefícios palpáveis (CE, 2010)

As projeções das potencias poupanças poderão ir até os 1 474 Mtep de consumo de energia primária, representando uma poupança de 20% em relação ao valor atual (1 676 Mtep). Por comparação, se nada se fizer, prevê-se que em 2020 a Europa consumo 1 842 Mtep de energia primária.

Desta estratégia, Energia 2020, surgem assim duas directivas mais objectivas para os Estados Membros e de elevada importância. A Directiva n.º 2010/31/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios. E a Directiva n.º 2012/27/UE, que estabelece um conjunto comum de medidas para a promoção da eficiência energética dentro da União Europeia, de forma a garantir o objectivo de 20% em eficiência energética em 2020 e abrir caminho para maiores melhorias em datas posteriores.

### 2.2.2. Portugal

Baseado nas orientações estratégias da UE para a energia, Portugal tem vindo a implementar um modelo energético baseado na racionalidade económica e na sustentabilidade através da adoção de medidas de eficiência energética com vista à redução dos sobre-custos que oneram os preços da energia, reduzindo assim a dependência energética do país.

**Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE de 2008)**

Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, surge o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) que estabelece como meta a alcançar, até 2015, a implementação de medidas de melhoria de eficiência energética equivalentes a 10% do consumo final de energia por intermédio de um conjunto de programas e medidas. Estas contemplam quatro áreas específicas de atuação – Transportes, Residencial e Serviços, Industria e Estado – e três áreas transversais – Comportamentos, Fiscalidade e Incentivos e Financiamentos, como esquematizado na Figura 2.7.

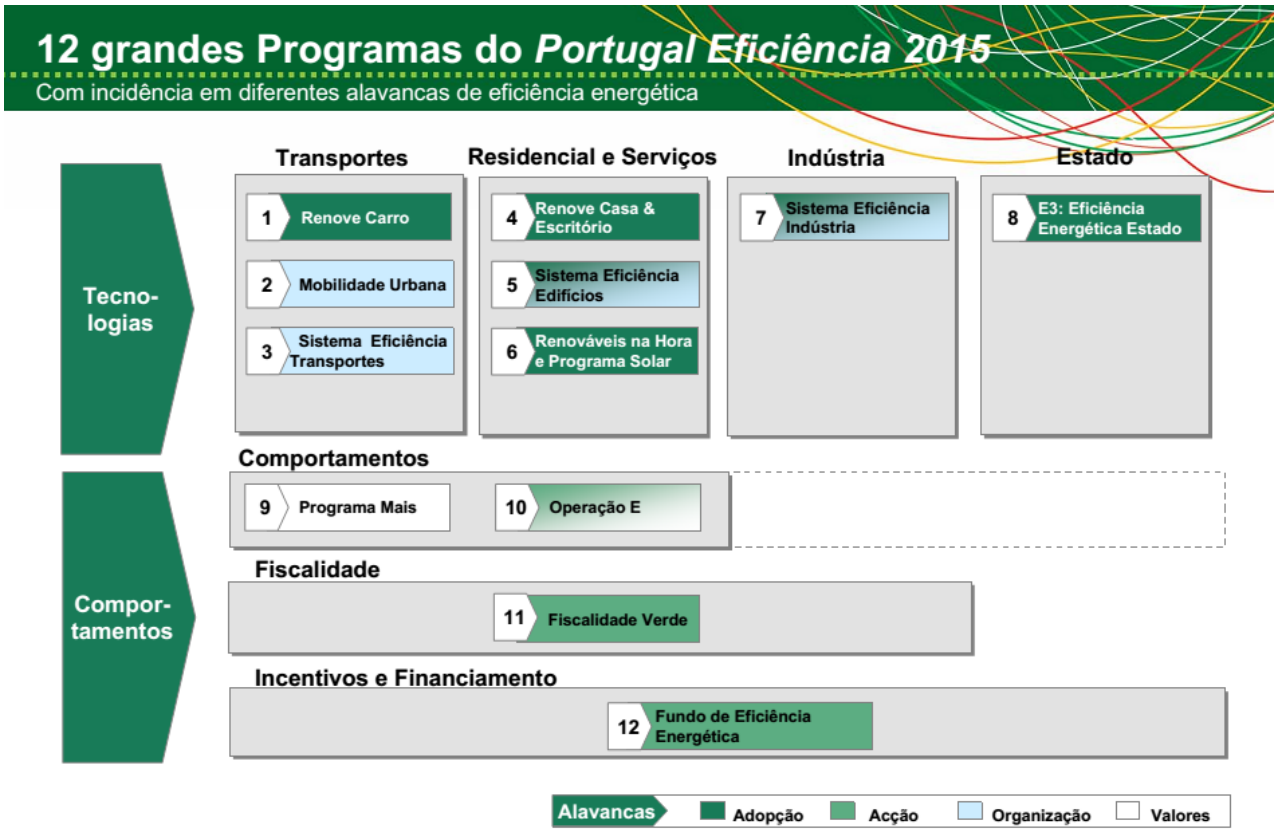


Figura 2.7 - Programa Portugal Eficiência 2015.

O PNAEE de 2008 proporciona assim meios que permitem que Portugal alcance os objetivos fixados pela Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, a qual designou a obrigação de os Estados Membros estabelecerem metas de, pelo menos, 1% de poupança de energia por ano até 2016.

O PNAEE aparece assim como um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de eficiência energética, reduzindo a dependência energética do país e garantindo a segurança de abastecimento, através da promoção de um mix energético equilibrado.

A poupança energética das medidas constantes no PNAEE de 2008, tem como cenário de referência a média do consumo energético final nacional nos anos de 2001 a 2005, de acordo com o definido na Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, tal como ilustrado na Figura 2.8:

| Área | Energia poupada (tep) | Meta 2016 (tep) | Execução em relação à meta de 2016 |
|---|---|---|---|
| Transportes | 252.959 | 1.501.305 | 49% |
| Residencial e Serviços | 267.008 | | |
| Indústria | 177.895 | | |
| Estado | 9.902 | | |
| Comportamentos | 21.313 | | |
| Total PNAEE | 729.077 | | |

Figura 2.8 - Resumo das poupanças totais alcançadas com o PNAEE de 2008.

Tendo em conta que a nova meta em 2016 é de 1 501 305 tep, a implementação do PNAEE de 2008 permitiu atingir, em termos acumulados até 2010, 49% do objetivo.

**Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE de 2016)**

Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de Abril, surge o novo Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética, que revoga assim o anterior PNAEE de 2008 com medidas para o período de 2008-2015. O novo plano surge assim renovado e adaptado à nova situação fiscal e financeira do país, estabelecendo para Portugal novas metas para o horizonte de 2020, com um objectivo geral de redução no consumo de energia primária de 25% e um objectivo especifico para a Administração pública de redução de 30%.

O objectivo inicial dos planos de acção de eficiência energética era reduzir anualmente, até 2016, o equivalente a 1% do consumo médio de energia final em 2001-2005. À luz da Directiva n.º 2012/27/EU relativa à eficiência energética, os objetivos foram redefinidos para um limite máximo ao consumo de energia primária em 2020 equivalente a uma redução de 20%. Tendo em vista a adequação aos novos objectivos definidos, considerou-se necessário adequar os objectivos do PNAEE de 2008 à realidade nacional. Assim, partiu-se da análise do impacto potencial e exequibilidade económica do PNAEE de 2008 para a concretização da meta geral de redução de 25% e da meta específica para o Estado de redução de 30% do consumo de energia primária até 2020. Entendeu-se dar continuidade no PNAEE 2016 à maioria das medidas previstas no PNAEE 2008, ainda que algumas sofram alterações.

Tendo por base as áreas, programas e medidas do PNAEE de 2008, o PNAEE 2016 passa a abranger seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. Estas áreas, como indicado na Figura 2.9, agregam um total de 10 programas, que integram um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos.

| | ÁREAS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Transportes | Residencial e Serviços | Indústria | Estado | Comportamentos | Agricultura |
| PROGRAMAS | Eco Carro | Renove Casa & Escritório | Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia | Eficiência Energética no Estado | Comunicar Eficiência Energética | Eficiência no setor Agrário. |
| | Mobilidade Urbana | Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios | | | | |
| | Sistema de Eficiência Energética nos Transportes | Solar Térmico | | | | |

Figura 2.9 - Áreas e programas do PNAEE 2016.

O PNAEE prevê uma poupança induzida de 8,2%, próxima da meta indicativa definida pela União Europeia de 9% de poupança de energia até 2016, com os contributos na redução dos consumos energéticos distribuídos pelos vários sectores de atividade, como indicado na Figura 2.10:

| Programa | Potenciais Economias (tep) | % | Meta 2016 (tep) |
|---|---|---|---|
| Transportes | 344.038 | 23% | 1.501.305 |
| Residencial e Serviços | 634.265 | 42% | |
| Indústria | 365.309 | 24% | |
| Estado | 106.380 | 7% | |
| Comportamentos | 21.313 | 1% | |
| Agricultura | 30.000 | 2% | |

Figura 2.10 - Resumo dos impactos do PNAEE 2016 por programa.

- **Residencial e Serviços**

Na área Residencial e Serviços, em análise ao PNAEE de 2008, foram contabilizadas na totalidade reduções de consumo energético de cerca de 267 008 tep, entre 2008 e 2010, o que permitiu atingir em termos acumulados, 42% do objectivo previsto.

A área Residencial e Serviços integra três programas de melhoria de eficiência energética, nomeadamente o programa Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios (RSp2), que, entre 2008 e 2010, representa 81 170 tep, cerca de 50% de execução em relação à meta de 160 745 tep para 2016. Este programa visa melhorar o desempenho energético dos edifícios, através da melhoria da classe de eficiência energética em termos de parque médio edificado, mediante a implementação das orientações que regulam o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior nos Edifícios (SCE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que transpõe parcialmente a Directiva n.º 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Trata-se de uma área muito sensível para o sucesso da implementação do PNAEE 2016, uma vez que representa, em 2011, cerca de 28% do consumo de energia final em Portugal, da qual 16,6% no sector Residencial e 11,4% no sector dos Serviços. O peso da componente elétrica é muito elevado, sobretudo nos Serviços (verificando-se que, em 2011, mais de 73% correspondia a consumos elétricos), sendo também bastante significativa no sector Residencial (cerca de 43% em 2011).

Uma das medidas integrantes no programa Eficiência Energética nos Edifícios (RSp2) é a SCE Edifícios de Serviços (RSp2m2). O SCE obriga a que as novas edificações ou grandes reabilitações, alcancem quotas mínimas por classes eficientes (B- a A+). O objectivo é o de certificar, até 2020, cerca de metade dos edifícios de serviços como classe energética B- ou superior.

- **Estado**

A área do Estado, no PNAEE de 2008 abrange, o programa Eficiência Energética no Estado. Nesta área foram contabilizadas reduções de consumo energético de cerca de 9 902 tep, entre 2008 e 2010, o que permitiu atingir, em termos acumulados, 9% do objectivo previsto.

No programa Eficiência Energética no Estado (Ep1) prevêem-se economias de energia através de quatro medidas, nomeadamente através das medidas de Certificação Energética dos Edifícios e Contratos de Gestão de Eficiência Energética (Ep1m1) e Planos de Ação de Eficiência Energética (Ep1m2), que, entre 2008 e 2010, representam 5 785 tep, cerca de 5% de execução em relação à meta de 84 370 tep para 2016. Este programa visa criar condições para o desenvolvimento de uma política de eficiência energética no sector do Estado, prevendo-se alcançar um aumento da eficiência energética de 30% até 2020 face aos valores actuais de consumo dos edifícios e equipamentos.

A execução das medidas encontra suporte no mercado das empresas de serviços energéticos (ESE). Serão estas empresas que, no âmbito do Programa ECO.AP, irão celebrar com o Estado contratos de gestão de eficiência energética relativamente aos edifícios que vierem a integrar este programa, promovendo intervenção e os investimentos necessários para assegurar a melhoria do seu desempenho energético.

A medida Ep1m1, Certificação Energética dos Edifícios do Estado e Contratos de Gestão de Eficiência Energética, é traduzida pelo Programa ECO.AP

### 2.2.3. O Sistema de Certificação Energética

Em transposição parcial da Directiva n.º 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, surge o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, é um dos três pilares sobre os quais assenta a legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal.

O SCE assume como principais objetivos assegurar a aplicação das exigências e disposições contidas no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, e do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Visa ainda certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios e identificar medidas correctivas ou de melhoria de desempenho energético. Impõe, assim, aos Estados membros

a emissão de Certificados Energéticos a edifícios para as diversas situações de transacção e remodelação de edifícios de habitação, bem como para todos os edifícios de serviços com mais de 1 000 $m^2$.

O Sistema Nacional de Certificação Energética e Ar Interior nos Edifícios (SCE) vem assim:

- Transpor a Directiva Europeia;
- Criar uma Classificação de Desempenho Energético uniforme para os edifícios;
- Enumerar medidas de melhoria de desempenho energético;
- Potenciar economias de energia de 20% a 40% nos edifícios e consequentes reduções de emissões de CO2;
- Monitorizar e aumentar a Qualidade do Ar Interior em Edifícios

O RSECE destina-se a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização e com elevados consumos de energia onde é imposta a obrigatoriedade de parâmetros de qualidade da envolvente, de eficiência e manutenção dos sistemas de climatização, de auditorias e inspecções periódicas e de qualidade do ar interior.

O RCCTE é orientado para os edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados.

### 2.2.4. Sector Público e Energia

De entre os objetivos traçados para a política energética nacional, foi dada prioridade à eficiência energética, designadamente através da aplicação de programas de redução do consumo de energia nos edifícios públicos e da promoção de comportamentos e escolhas com menor consumo energético.

Neste sentido, aprovado pelo Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de Janeiro, surge o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP), o qual constitui um instrumento de execução do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), que visa alterar comportamentos de consumo energético e promover uma gestão racional do mesmo, nomeadamente através da contratação de empresas de serviços energéticos (ESE) para implementar e gerir medidas de melhoria da eficiência energética nos edifícios e equipamentos públicos.

Este programa visa criar condições para o desenvolvimento de uma política de eficiência energética na Administração Pública, designadamente nos seus serviços, edifícios e equipamentos, de forma a alcançar um aumento da eficiência energética de 30% até 2020. Os benefícios do ECP.AP são:

- Redução da fatura energética nos serviços e organismos públicos;
- Redução da emissão de gases com efeitos de estufa;
- Estímulo da economia através da criação do quadro legal das empresas de serviços energéticos (ESE) e da contratação pública de gestão de serviços energéticos;
- Contribuição para a concretização dos objectivos estabelecidos no programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

O programa ECO.AP passa ainda pela:

- Criação da figura do gestor local de energia (GLE) responsável pela dinamização e verificação das medidas comportamentais de eficiência energética em cada serviço ou organismo da Administração pública:
- Implementação do barómetro da eficiência energética destinado a monitorizar e divulgar os consumos energéticos dos edifícios e serviços.

Prevê-se que a execução deste Programa vai permitir uma poupança de 50 milhões de euros por ano e evitar a emissão de 1 milhão de toneladas de $CO_2$.

## 2.3. Eficiência Energética

A eficiência energética é uma questão importante para o futuro da humanidade, pois é insustentável manter os atuais níveis de desperdício de energia. A má utilização da energia elétrica proporciona um desperdício das fontes primárias implicando um consumo desnecessário de combustíveis fósseis.

O potencial de economias de energia no sector público para o parque de edifícios existente, por vezes de idade avançada e com necessidades de reparação é bastante avultado (Brandão, 2011).

Na Figura 2.11 podemos observar uma curva de oferta de eficiência energética, onde é possível observar a quantidade de energia que pode ser poupada com as diferentes medidas de eficiência energética, em função do respectivo custo de implementação. O gráfico representa 3 sectores, os sectores residencial, comercial e industrial, no entanto as medidas a implementar são facilmente extrapoladas a qualquer cenário em estudo.

É possível observar que as medidas mais baratas são as medidas que no geral têm mais potencial, isto é, podem trazer mais eficiência e mais poupança energética. A linha a tracejado representa o custo médio da energia, pelo que é possível observar que todas as medidas do gráfico tem retorno positivo na sua implementação, isto é, é mais barato implementar as medidas do que realmente estar a pagar o custo médio da energia.

A maior parte das medidas são economicamente interessantes para implementar e muitas são de índole comportamental. Para gerir eficientemente um espaço do ponto de vista energético é fundamental começar por conhecer tão bem quanto possível a quantidade de energia consumida e de que forma esta é consumida. O levantamento energético é a primeira fase de um processo conducente à tomada de consciência da situação energética do espaço e consequente decisão sobre as alterações a efetuar para uma melhor e mais racional utilização da energia e ainda uma redução de consumos (Isolani, 2008).

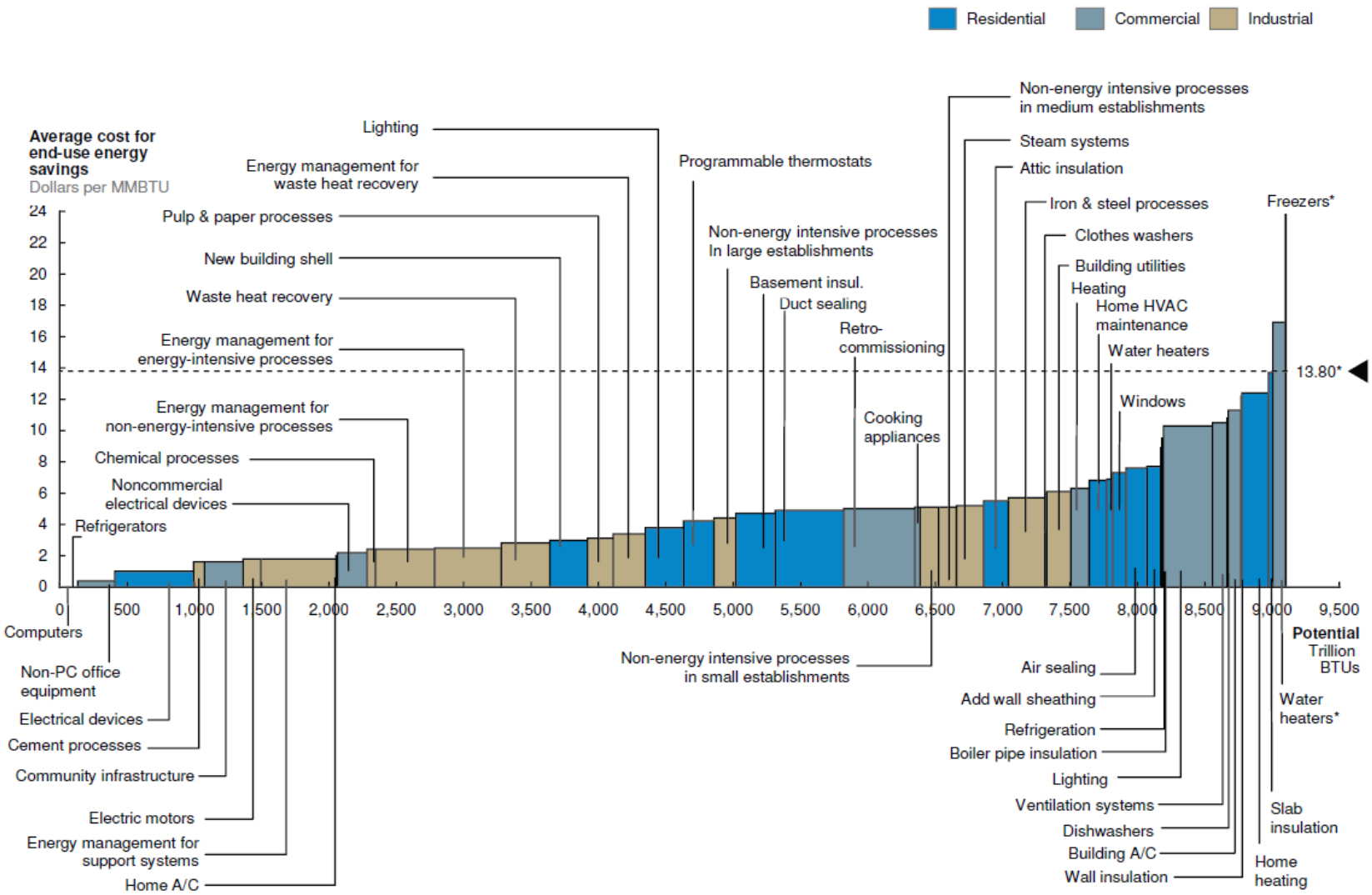


Figura 2.11 - Curva de oferta de eficiência energética (Mckinsey, 2009)

## 2.4. Benchmarking

Nos últimos anos, em resposta à necessidade de estabelecer metas nacionais de redução de emissões de $CO_2$, tem sido direcionado um esforço considerável para a análise de potencial de eficiência energética nos vários setores nacionais. A credibilidade de tais esforços é questionável uma vez que os dados para cada sector individual são ainda bastante escassos ou mesmo inexistentes. É exatamente o que acontece na administração local, onde os dados referentes aos consumos energéticos dos edifícios públicos são muitas vezes escassos, não são recolhidos de forma apropriada ou estão dispersos por vários departamentos e locais (Brandão, 2011).

*Benchmarking* e análise de indicadores desempenham um papel importante neste processo e podem fornecer dados valiosos sobre os potenciais de eficiência energética. São usados para comparar a performance individual de um edifício com outro edifício mais eficiente e que tenha o mesmo fim de utilização baseado numa análise por sector. Assim, *benchmarking* de energia pode ser definido como uma ferramenta de gestão de energia que constitui uma base de dados rica de comparação (Brandão, 2011).

Foi feita, em 2004, uma análise de performance energética dos edifícios do HEEPI. Os valores relativos ao estudo de *benchmarking* permitem perceber os consumos energéticos por tipologia de espaço, como é possível observar na Tabela 2.3.

Tabela 2.2 - Índices de performance energética obtidos pelo HEEPI (HEEPI, 2004)

| **Índice Eficiência Energética (kWh/m$^2$/ano)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Tipologia de Espaço** | **Típico** | **Bom** | **Excelente** | **Intervalo** |
| Gabinetes e Serviços | 90 | 46 | 28 | 17-331 |
| Salas de Aulas | 118 | 41 | 31 | 22-518 |
| Laboratórios Biociências | 325 | 250 | 177 | 75-606 |
| Laboratórios Engenharia | 130 | 93 | 66 | 58-259 |
| Laboratórios Química | 287 | - | 156 | 156-408 |
| Laboratórios Computadores | 106 | - | 114 | 27-217 |

Em 2005 foi igualmente realizado, pelo Imperial College of London (ICL), uma análise de performance energética por forma a estabeleceram um guia para os arquitetos envolvidos na construção dos novos edifícios da Instituição. Na Tabela 2.4 são apresentados alguns valores de referência apurados.

Tabela 2.3 – Índices de performance energética obtidos pela Imperial College (Howe, 2005)

| **Tipologia de Espaço** | **Índice Eficiência Energética (kWh/m$^2$/ano)** |
|---|---|
| Laboratórios | 110 |
| Gabinetes climatizados | 128 |
| Gabinetes não climatizados | 33 |
| Salas de Aulas | 119 |

# 3. Áreas de ação para a eficiência energética

## 3.1. Edifícios

### 3.1.1. Envolvente do edifício

O peso do consumo de energia dos edifícios existentes no consumo energético global do sector da construção é cada vez mais relevante. Isto deve-se cada vez mais à maior qualidade da envolvente dos novos edifícios, conseguida principalmente através do uso generalizado de isolamento, de janelas mais eficientes e de melhores técnicas de conservação de energia, o que resulta em edifícios com cada vez menores necessidades de aquecimento e de arrefecimento quando comparadas com as necessidades energéticas dos edifícios existentes.

*Envolvente opaca: paredes exteriores e cobertura*

A envolvente vertical opaca contribui largamente para o comportamento térmico de um edifício, pois é através da envolvente que há transmissão de calor por condução, quer sejam perdas de calor no Inverno, ou ganhos de calor no Verão. Para responder às crescentes exigências de conforto térmico, que estão intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e proteção ambiental, é necessário isolar termicamente a envolvente dos edifícios (Patrocínio, 2007).

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui assim uma das vias mais promissoras para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionado a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo também para o objetivo estratégico de redução de necessidades energéticas do nosso país e possibilitando, em muitas situações, a correção de certas patologias ligadas à presença de humidade e à degradação do aspeto nos edifícios (Anselmo, 2004).

São vários os aspetos de um edifício que podem afetar o seu desempenho energético, no entanto destaca-se o isolamento térmico insuficiente, a existência de pontes térmicas e condensações nos elementos opacos da envolvente, como os mais relevantes. O reforço do isolamento térmico das paredes exteriores tem como principais vantagens a diminuição do consumo de energia e o aumento do conforto térmico, e pode ser aplicado pelo exterior, pelo interior ou, no caso de paredes duplas, em caixa-de-ar (Anselmo, 2004).

No caso de paredes constituídas apenas por um só pano (parede simples), o reforço do isolamento térmico pode ser realizado pelo exterior ou pelo interior. No entanto, nas intervenções de reabilitação de edifícios, é normal a necessidade de refazer o reboco das paredes exteriores, pelo que o isolamento térmico pelo exterior é em geral a melhor solução, dado também as vantagens em comparação com a solução de isolamento pelo interior, como é possível observar pela Figura 3.1.

| VANTAGENS | INCONVENIENTES |
|---|---|
| — Isolamento térmico mais eficiente<br>— Protecção das paredes contra agentes atmosféricos<br>— Ausência de descontinuidade na camada isolante<br>— Supressão de "pontes térmicas" e redução dos riscos de condensação<br>— Conservação da inércia térmica das paredes<br>— Manutenção das dimensões dos espaços interiores<br>— Menores riscos de incêndio e de toxicidade<br>— Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras<br>— Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos<br>— Eventual melhoria do aspecto exterior dos edifícios | — Constrangimentos arquitectónicos<br>— Constrangimentos de ordem técnica<br>— Maior vulnerabilidade da parede ao choque, sobretudo no rés-do-chão<br>— Custo em regra mais elevado (aproximadamente o dobro).<br>— Condicionamento dos trabalhos pelo estado do tempo<br>— Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos) |

Figura 3.1 - Vantagens e desvantagens do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior (Anselmo, 2004)

O sistema ETICS é um dos casos particulares de soluções de isolamento térmico aplicáveis em paramentos exteriores de paredes. Este tipo de sistema pode ser aplicado em paredes de alvenaria ou em paredes de betão. Integram uma camada de isolante térmico aplicado na face exterior da parede, fixada por um produto de colagem ou por fixação mecânica, ou por ambos os métodos. As placas podem possuir uma espessura variável de acordo com a resistência térmica que se pretende obter. Em Portugal as espessuras mais comuns dão da ordem de 40 mm a 60 mm, e o isolante térmico mais utilizado é o EPS (poliesteireno expandido moldado) (LNEG, 2010). As placas de EPS são depois revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro, tal como esquematizado na Figura 3.2.

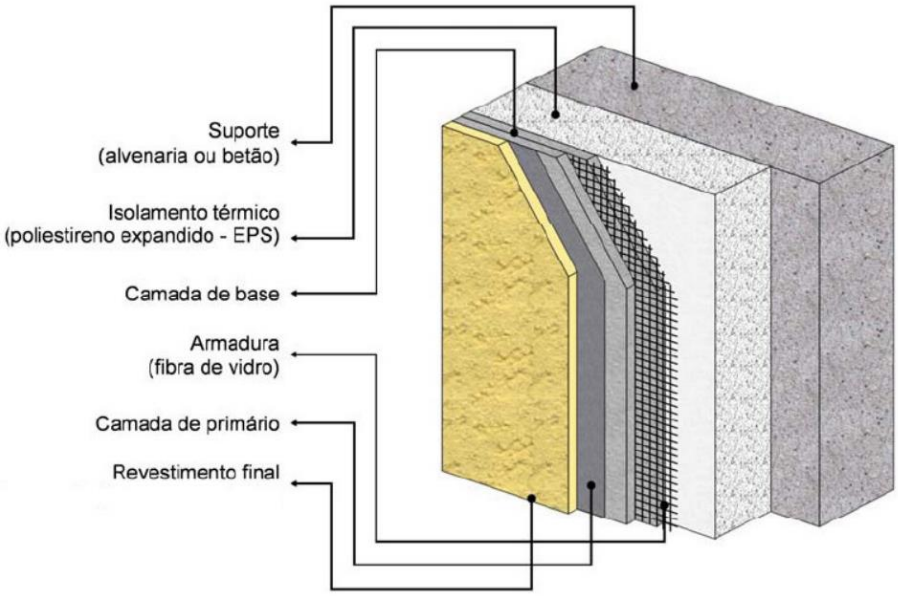


Figura 3.2 - Camadas constituintes do sistema ETIC (Guerra, 2010)

O sistema ETICS apresenta vantagens no caso de edifícios com isolamento térmico insuficiente, infiltrações ou aspeto degradado. Além disto, pode diminuir o risco de ocorrência de condensações, tratando de certo modo as pontes térmicas.

O isolamento térmico pelo exterior é hoje reconhecido como uma solução técnica de alta qualidade, pois permite nomeadamente a:

- Redução das pontes térmicas, o que se traduz por uma espessura de isolamento térmico mais reduzido para a obtenção de um mesmo coeficiente de transmissão térmica global da envolvente;
- Diminuição do risco de condensações;
- Aumento da inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior do isolamento térmico. Este facto traduz-se na melhoria do conforto térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de Verão devido à capacidade de regulação da temperatura interior;
- Economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior;
- Diminuição da espessura das paredes exteriores, aumentando a área habitável;
- Melhoria da impermeabilidade das paredes;
- Possibilidade de mutação do aspeto das fachadas e colocação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios, o que torna esta técnica de isolamento particularmente adequada na reabilitação de fachadas degradadas;
- Poupança energética e conforto interior

Por forma a poder ter-se uma melhor perceção sobre o custo-benefício deste tipo de medida de reabilitação energética, é apresentado na Figura 3.3, o exemplo de uma aplicação num edifício, pelo exterior, de paredes simples de tijolo furado, em poliestireno expandido moldado (EPS), em placas do tipo ETICS e com revestimento delgado para 3 concelhos distintos relativamente ao tipologia climática, admitindo ainda que tem apenas aquecimento ambiente.

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia** [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 40 | 34,19 | **179,93** | 243,43 | 430,92 |
| 50 | 34,93 | 189,01 | **255,72** | 452,67 |
| 60 | 35,67 | 195,35 | 264,30 | **467,86** |
| 70 | 36,41 | 199,25 | 269,58 | 477,21 |
| 80 | 37,15 | 202,80 | 274,37 | 485,69 |
| 90 | 37,89 | 205,7 | 278,30 | 492,64 |
| 100 | 38,63 | 208,14 | 281,6 | 498,48 |

* Incluindo andaime para a sua aplicação.
** Utilizando a metodologia dos graus-dias, para a temperatura base de 20°C e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100 %.

Figura 3.3 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico ETIC, em relação à situação inicial (sem isolamento térmico) (Anselmo, 2004)

Em determinadas situações a renovação e reabilitação da envolvente, conseguindo-se ter envolventes otimizadas, pode tornar-se desnecessária a utilização de sistemas ativos de climatização. Dependendo da performance da envolvente, a reabilitação de um edifício pode permitir economias de energia até 30% (Isolani, 2008).

A cobertura é o elemento construtivo do edifício que está sujeito às maiores amplitudes térmicas, sendo o isolamento térmico, nesta situação, considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, face aos benefícios imediatos em termos de diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de umas das medidas mais simples e menos dispendiosa (Anselmo, 2004)

Para o isolamento térmico das coberturas horizontais, a opção mais aconselhável é aquela em que o isolamento é aplicado em posição superior, acima da camada de forma, sendo que para esta opção se deverá optar pela solução de cobertura invertida, pois permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protege-la de amplitudes térmicas significativas e permite aproveitar a impermeabilização já existente, caso esta se encontre em bom estado.

Por forma a poder ter-se uma melhor perceção sobre o custo-benefício deste tipo de medida de reabilitação energética, é apresentado na Figura 3.5, o exemplo de uma aplicação num edifício de isolamento térmico numa cobertura horizontal, em poliestireno expandido moldado (EPS) em placas e impermeabilização para 3 concelhos distintos relativamente à tipologia climática, admitindo ainda que tem apenas aquecimento ambiente.

| Espessura do isolante térmico [mm] | Custo total * [Euro/m²] | Economia de Energia* [MJ/m².ano] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Lisboa ($I_1$) | Porto ($I_2$) | Bragança ($I_3$) |
| 50 | 19,01 | **257,37** | 348,2 | 616,39 |
| 60 | 19,75 | 262,18 | **354,72** | 627,91 |
| 70 | 20,49 | 267,82 | 362,34 | **641,41** |
| 80 | 21,23 | 271,34 | 367,11 | 649,86 |
| 90 | 21,97 | 274,2 | 370,98 | 656,70 |
| 100 | 22,71 | 277,6 | 375,58 | 664,85 |
| 110 | 23,45 | 278,57 | 376,89 | 667,16 |

* Utilizando a metodologia dos graus-dias, para a temperatura base de 20ºC e considerando o rendimento do sistema de aquecimento de 100 %.

Figura 3.4 - Custo e economia de energia da aplicação de diversas espessuras do isolante térmico, em relação à situação inicial (sem isolamento térmico) (Anselmo, 2004)

*Envolvente vertical não opaca: vãos envidraçados*

A reabilitação térmica nos vãos envidraçados visa por um lado reforçar o isolamento térmico do edifício, a redução das infiltrações de ar não controladas e a melhoria da ventilação natural, e por outro, o aumento da captação de ganhos solares no Inverno e o reforço da proteção da radiação solar durante o Verão. Todas estas medidas contribuirão não só para a redução das necessidades de consumo de energia como também para a melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar no interior dos edifícios (Anselmo, 2004).

### 3.1.2. Iluminação

A iluminação constitui uma das utilizações finais de energia onde a introdução de soluções de poupança energética se revela mais vantajosa em termos de economia de energia e/ou conforto. Ao nível da iluminação interior a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas ou tubulares pode representar economias de energia na ordem dos 75 % (Insolani, 2008).

A substituição de balastros convencionais por balastros electrónicos na iluminação fluorescente tubular permite obter poupança energética na ordem dos 20 %. Na remodelação de lâmpadas fluorescentes a utilização de lâmpadas T5 revela-se mais eficiente que as lâmpadas do tipo T8 (Isolani, 2008).

Existem ainda outras medidas que permitem poupanças energéticas consideráveis. A utilização de luminárias com reflectores permite aumentar o rendimento das lâmpadas em 25 %. A utilização de sensores de movimento em corredores e casas de banho permite poupar energia sempre que não se encontra ninguém no edifício. A utilização de equipamentos de regulação do fluxo luminoso permite recorrer sempre que possível à iluminação natural, assim como manter as entradas de luz natural devidamente desobstruídas (Isolani, 2008).

### 3.1.3. Equipamentos

O consumo de energia associado à utilização de equipamentos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, representando uma parcela significativa do consumo energético dos edifícios. Por outro lado, o potencial de economias de energia existente é bastante elevado (ADENE, 2012).

**Equipamentos de escritório**

O consumo de energia dos equipamentos de escritório é responsável por 12% do consumo total e a dissipação do calor produzido é responsável por parte das necessidades de ar condicionado. No entanto, o potencial de poupança pode ser superior a 50% (Santos, 2010).

O aproveitamento integral do potencial de economia de energia pode ser concretizado em alguns equipamentos informáticos através da selecção e aquisição de equipamentos energeticamente eficientes, pela introdução de sistemas adequados de gestão de energia e pela adoção de boas-práticas na utilização dos equipamentos (Isolani, 2008).

A substituição de computadores de secretária por computadores portáteis pode conduzir a economias de energia até 80%, a substituição de monitores CRT convencionais por monitores LCD conduz a economias de energia de cerca de 50% e a substituição de dispositivos monofunção por dispositivos centralizados multifunções pode conduzir a economias de energia de 50%. A selecção adequada dos equipamentos a adquirir tendo presente os critérios de eficiência energética, a gestão de energia em todos os dispositivos informáticos e a redução dos consumos *standby* constituem algumas medidas de poupança energética (Isolani, 2008).

**Equipamentos de laboratório**

Os laboratórios registam também o consumo de grandes quantidades de energia (até dez vezes mais do que escritórios por metro quadrado). A principal razão é elevada carga de ventilação, representando 40% a 50% do seu consumo total de eletricidade. A estes valores acrescem 10% a 30% do consumo de energia para refrigerar o ar ou a água para arrefecer os espaços ou equipamentos (Santos, 2010).

Esta tendência está associada à realização de cada vez mais trabalhos com recurso a condições de confinamento, ao aumento dos níveis de automação em equipamentos de laboratório e sistemas de informação mais complexos, a funcionar 24 horas por dia, sete dias por semana (Santos, 2010).

## 3.2. Contrato de fornecimento de energia

Os termos dos contratos de fornecimento de energia, se inadequados, podem levar a um aumento significativo da fatura energética e, consequentemente, nos gastos totais com a energia. Num contexto liberalizado, existe a necessidade constante de verificar se os contratos satisfazem as necessidades específicas de consumo, sendo necessário uma verificação e monitorização dos termos dos contratos, seleccionando as tarifas mais convenientes de entre as opções disponíveis, e adaptando os termos dos contratos quando as condições tarifárias se alteram. Deste modo é possível obter poupanças financeiras consideráveis (Isolani, 2008).

Com a entrada no mercado liberalizado, e de acordo com o Regulamento de Relações Comerciais (RRC), os preços de energia elétrica são determinados em cada ano pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), e têm como principais componentes:

- a Energia, que inclui os custos de produção e de comercialização e resulta dos preços formados no mercado de eletricidade;
- as Redes, necessárias à veiculação da energia desde os centros electroprodutores até aos consumidores, sujeitas a regulação, sendo as tarifas de uso das Redes aprovadas pela ERSE e englobadas nas tarifas de acesso às redes;
- os Custos de Interesse Económico Geral (CIEG), associados aos custos de politica energética e de interesse económico geral, integrados também nas tarifas de acesso às redes, suportados por todos os consumidores (EDP, 2013).

A desagregação dos preços, por cada um dos componentes, depende do tipo de cliente e do seu nível de tensão fornecida. Na Figura 3.5 apresenta-se a desagregação dos preços para consumidores em Média Tensão (MT), evidenciando-se a composição dos CIEG.

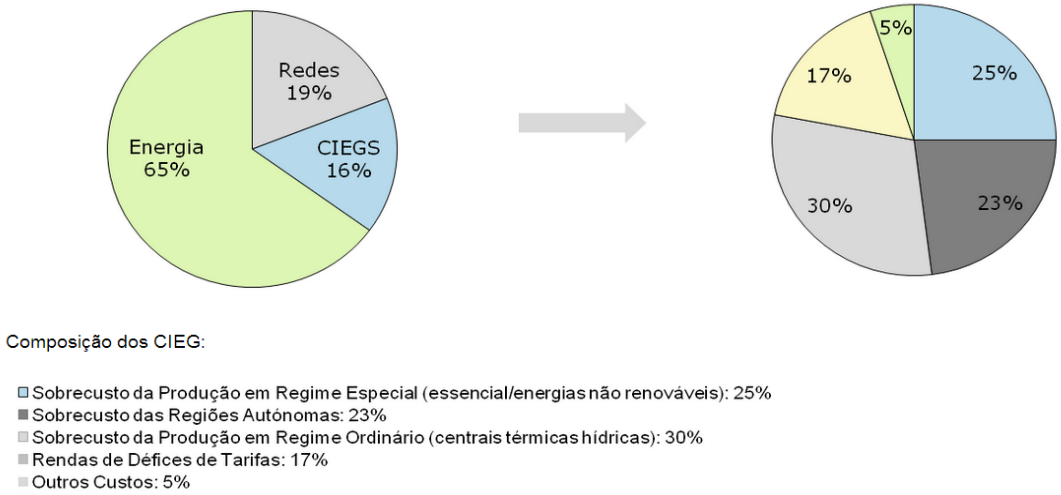


Figura 3.5 - Desagregação dos preços por componente para clientes em MT (EDP, 2013)

Os preços da energia, praticados pelos comercializadores aos seus clientes, são livres, sendo acordados entres as partes. Assim, o preço contratual, em regime de Mercado Liberalizado (ML), é estimado de acordo com os consumos da instalação, disponibilizados pelo cliente, com a valorização da energia de acordo com os preços unitários propostos e aplicados aos diferentes períodos horários, e com a valorização do acesso às redes.

As tarifas de acesso às redes são pagas por todos os consumidores pelo uso das redes (transporte e distribuição) e pelo uso global do sistema (gestão técnica do sistema, regulação e custos de politica energética, ambiental e de interesse económico geral). Esta tarifa, sujeita a regulação, é definida pela ERSE tendo em conta o disposto no Regulamento Tarifário. Na Figura 3.6 são apresentadas as tarifas de acesso às redes em MT aplicáveis em 2012:

| TARIFA DE ACESSO ÀS REDES EM MT | | | PREÇOS | |
|---|---|---|---|---|
| **Potência** | | | **(EUR/kW.mês)** | **(EUR/kW.dia)*** |
| | | Horas de ponta | 7,553 | 0,2476 |
| | | Contratada | 0,877 | 0,0288 |
| **Energia ativa** | | | **(EUR/kWh)** | |
| | Períodos I, IV | Horas de ponta | 0,0281 | |
| | | Horas cheias | 0,0264 | |
| | | Horas de vazio normal | 0,0235 | |
| | | Horas de super vazio | 0,0228 | |
| | Períodos II, III | Horas de ponta | 0,0279 | |
| | | Horas cheias | 0,0265 | |
| | | Horas de vazio normal | 0,0236 | |
| | | Horas de super vazio | 0,0232 | |
| **Energia reativa** | | | **(EUR/kvarh)** | |
| | | Indutiva | 0,0226 | |
| | | Capacitiva | 0,0169 | |

* RRC art. 203.º, n.º 3

Figura 3.6 - Tarifas de acesso às redes em 2012 (ERSE, 2011)

As tarifas de acesso à rede comportam 3 parcelas de elevada importância na fatura energética final:

- Energia ativa

O preço unitário desta parcela depende de 2 opções contratuais, a opção tarifária que pode ser curta, média ou de longa utilização, e do ciclo de contagem que pode ser diário, semanal ou semanal opcional. Nesta parcela os preços da energia mudam todos os trimestres e a contagem é tetra-horária (ponta, cheia, vazio normal e super vazio) (Águas, 2009).

- Energia reativa

É a poluição da rede elétrica resultante do funcionamento de certos equipamentos. É faturado quando excede uma certa proporção face à energia consumida.

É necessário uma análise das faturas elétricas a fim de perceber se a opção tarifária é adequada, perceber a distribuição dos consumos por horas de cheias, vazio e pontas, perceber o consumo de energia reativa, e a evolução da potência em horas de ponta e da potência contratada para, desta forma, ajustar os termos de contrato de fornecimento às reais necessidades da instalação. Conhecendo os consumos energéticos e as necessidades da instalação é possível constatar medidas tendo em vista a economia de energia e/ou redução da fatura elétrica.

- Potência

Potência tomada - é o maior valor da potência ativa média, registado em qualquer período ininterrupto de 15 minutos, durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita.

Potência contratada – depende a potência tomada (máxima potência do mês medida em 15 minutos), e é a potência que os operadores das redes colocam à disposição no ponto de entrega, não podendo ser superior à potência requisitada. Esta potência é atualizada para a máxima potência tomada, registada nos 12 meses anteriores, incluindo o mês a que a fatura respeita.

Potência das horas de ponta - é a potência ativa média calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Pp = \frac{Ep}{Hp}$$

Ep - energia ativa no ponto de medição em horas de ponta, durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita;

Hp - número de horas de ponta durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita (ERSE, 2011)

**Diagrama de Carga**

A energia elétrica não é um produto simples, mensurável através de um único parâmetro. As características do consumo impõem a modulação da energia consumida no tempo através de uma função – o diagrama de carga (DC) – que traduz a variação desse consumo ao longo do tempo (horas do dia e dos dias do ano) (Barbosa, 2005). Através do diagrama de carga é possível efetuar um estudo da carga. Este estudo permite avaliar a base de cliente, tarifas, perfil de carga, numa base horária, e ainda identificar os sectores que contribuem para a forma do digrama de carga.

Existem várias condições que influenciam a forma do diagrama de cargas tais como: época do ano, dia da semana, hora do dia, condições atmosféricas, acontecimentos especiais.

## 3.3. Energia reativa

As redes de energia elétrica atualmente existentes funcionam, na sua quase totalidade, em corrente alternada. Considerando-se um sistema de corrente alternada monofásica constituída por um gerador e uma carga representada por uma impedância constante. Admita-se que os valores instantâneos da tensão v e da corrente i são sinusoidais, onde V e I são os valores eficazes, ϕ é o ângulo de desfasagem entre a tensão e a corrente, considerado positivo quando a carga é indutiva.

$$v = \sqrt{2}\ V \text{ sen } \omega t \tag{1}$$

$$i = \sqrt{2}\ I \text{ sen } (\omega t - \phi) \tag{2}$$

A potência instantânea p transferida do gerador para a carga é o produto da tensão pela corrente:

$$\begin{aligned} p = v\,i &= 2\ V\ I \text{ sen}\,\omega t \text{ sen } (\omega t - \phi) \\ &= V\ I \cos\phi - V\ I \cos(2\omega t - \phi) \end{aligned} \tag{3}$$

Esta equação pode ser transformada em:

$$p = \underbrace{V\ I \cos\phi\,(1 - \cos 2\omega t)}_{I} - \underbrace{V\ I \text{ sen}\,\phi \text{ sen } 2\omega t}_{II} \tag{4}$$

A representação gráfica das últimas duas equações (3) e (4) consta na Figura 3.7:

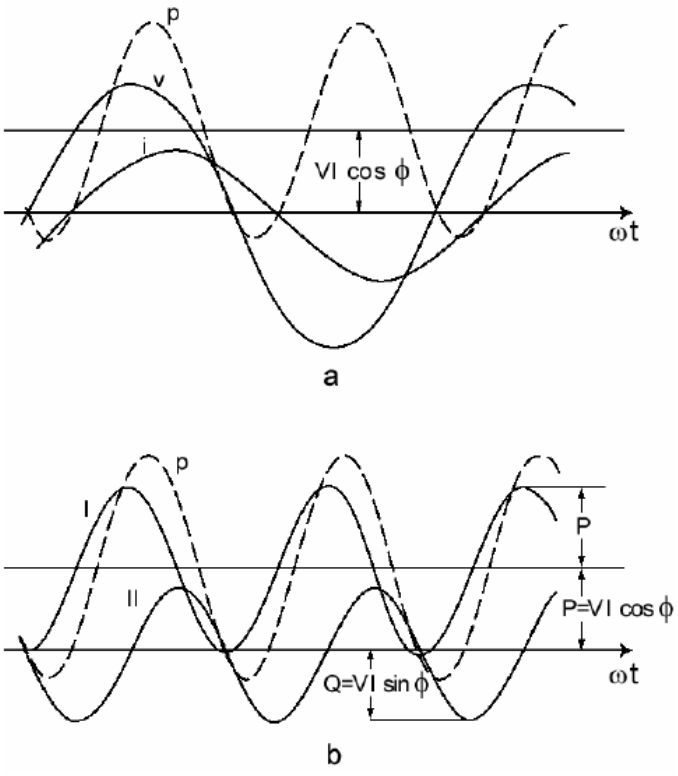


Figura 3.7 - Tensão, corrente e potência num circuito monofásico

A componente I da equação (4) oscila em torno do valor médio VI cos ϕ com pulsação 2ω, nunca mudando de sinal. A componente II oscila igualmente com pulsação 2ω, possui um valor médio nulo e um valor máximo VI sen ϕ. Assim, definindo agora as grandezas:

Potência ativa:

$$P = V\,I\cos\phi \tag{5}$$

Potência reativa:

$$Q = V\,I\,\mathrm{sen}\,\phi \tag{6}$$

A equação (4) escreve-se:

$$p = P\left(1 - \cos 2\omega t\right) - Q\,\mathrm{sen}\,2\omega t \tag{7}$$

A grandeza cos ϕ designa-se por fator de potência. A potência ativa P é o valor médio da potência instantânea e corresponde por conseguinte à potência que é efetivamente transferida. A potência reativa Q é o valor máximo da componente da potência que oscila entre o gerador e a carga, cujo valor médio é nulo, resultante da variação da energia magnética ou elétrica armazenada nos elementos indutivos ou capacitivos, respetivamente, da impedância de carga (Sucena-Paiva, 2005).

Os fluxos de potência ativa vêm acompanhados de potência reativa, devida ao estabelecimento do campo electromagnético necessário à conversão electromecânica da energia, bem como à

transmissão de energia ou alteração do nível de tensão. A potência reativa circula dentro das fronteiras do sistema elétrico entre a geração e a carga, oscilando com uma frequência dupla da frequência nominal do sistema e um valor médio nulo, como já se referiu.

O trânsito de potência reativa é inconveniente, porque eleva a intensidade de corrente nos elementos do sistema – geradores, linhas e transformadores – resultando numa redução de capacidade útil dos mesmos e em perdas adicionais de potência ativa. Também dá origem a quedas de tensão, pelo que se procura minimizar os trânsitos de potência reativa (Sucena-Paiva, 2005).

A compensação da energia reativa é feita através da redução ou eliminação deste trânsito, já que o seu consumo é inevitável. Existem, então, três conceitos de potência que é necessário ter em conta: ativa (P), reativa (Q) e aparente (S), que se relacionam da seguinte forma: $S^2=P^2+Q^2$, sendo representadas como indicado na Figura 3.8:

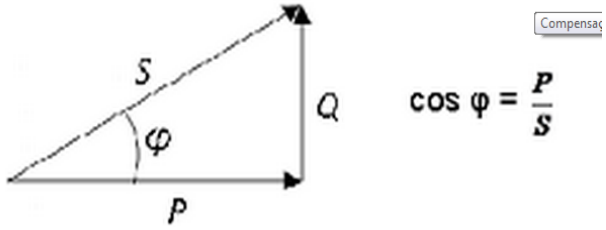


Figura 3.8 - Relação entre as potências ativa, reativa e aparente

Compensar a energia reativa é, então, reduzir o ângulo ϕ, tal como indicado na Figura 3.9, aumentado o seu co-seno. Quanto maior for o cos ϕ, ou seja, quanto mais este se aproxima da unidade, maior será a potência ativa que poderá ser transportada pela rede, cuja capacidade máxima é a potência aparente (Pmáx=S). A Figura 3.9 apresenta um diagrama vetorial de potências com compensação da reativa.

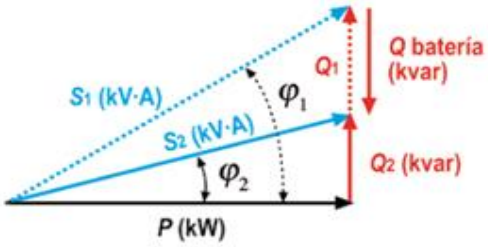


Figura 3.9 - Diagrama vetorial de potências com compensação da reativa

Existem tecnologias de compensação da energia reativa no local de consumo: o condensador elétrico. O condensador é um dispositivo que, depois de dimensionado à potência mais adequada, fornece energia reativa sem recorrer a uma central elétrica. Graças à sua simplicidade e rendimento o condensador, ou bateria de condensadores, é um método utilizado universalmente para melhorar o cos ϕ. Se o condensador fornecer a potência reativa necessária para o funcionamento do motor, a central elétrica apenas fornece a potência ativa P ( (Energia, 2013)

A compensação da energia reativa traz ainda outras vantagens como a redução de perdas na linha. Ao compensar a energia reativa, evitamos que parte desta energia, ou a sua totalidade, circule pela

rede, pelo que a compensação leva a uma redução da corrente eléctrica circulante. Sendo as perdas de energia proporcionais ao quadrado da corrente, podemos facilmente ver a importância desta redução.

A compensação ajuda no aumento da capacidade elétrica da instalação, pois as linhas elétricas e os transformadores estão limitados pela corrente que circula, e sendo a tensão virtualmente constante, também o estão pelo produto U.I. (potência aparente). Mas para apenas uma potência aparente podemos ter uma potência útil ou ativa P=S.cos ϕ, como podemos verificar pela Figura 3.8.

A compensação da reativa leva também à poupança na fatura de eletricidade, por supressão da faturação dos consumos excessivos de energia reativa – as centrais elétricas fornecem energia reativa, o que sobrecarrega as linhas e os transformadores.

Melhora a tensão da rede, pois ao compensar uma instalação elétrica reduz-se a queda de tensão e aumenta-se a tensão disponível. Se a compensação é automática, mantém-se um bom cos ϕ para qualquer valor de carga e conseguir-se-á, assim, manter uma tensão com variações mínimas por quedas de tensão. As quedas de tensão numa rede acontecem principalmente nos transformadores de potência, e com menos frequência nas linhas, pelo que ao compensar a redução das quedas são muito significativas.

A compensação da energia reativa ajuda ainda na diminuição dos gases com efeito de estufa, pois por cada kVAr instalados em condensadores, evita-se a emissão, em central elétrica, de 25 kg de $CO_2$ no período de um ano.

## 3.4. Comportamento para a eficiência energética

A eficiência energética e a poupança de energia, não se esgotam nas soluções tecnológicas. A implementação e evolução de tecnologias e produtos eficientes devem ser complementadas com a evolução dos comportamentos, de modo a que possa existir uma utilização de energia racionalizada (Browne & Frame, 2001).

É necessário compreender que, por mais eficiente que os sistemas elétricos sejam, as alterações comportamentais são o maior contribuidor para a utilização racional de energia. É necessário trabalhar novos comportamentos em vez de esperar por novas tecnologias (Silva, 2012).

Em 2011 a ADENE realizou um estudo intitulado “Mudança de comportamento no âmbito da Eficiência Energética” para avaliar a evolução a nível comportamental do consumidor português, no âmbito da eficiência energética. Verifica-se que os eventos e a informação sobre energia e eficiência energética têm influência no comportamento dos portugueses, pelo que os seus comportamentos eficientes têm vindo a aumentar, a par da crescente preocupação com a temática da eficiência energética (ADENE, 2011)

No entanto, e apesar da generalidade dos portugueses apresentar uma atitude positiva e elevado sentido de responsabilidade, apresentam baixos indicadores de conhecimento face à temática da eficiência energética, conservação da energia e comportamento ecológico. Ao avaliar as motivações

para a poupança de energia, observa-se que a cerca de 87 % dos consumidores poupa energia por razões económicas (ADENE, 2011).

Paralelamente à falta de conhecimento, existem algumas barreiras comportamentais que dificultam a adopção à eficiência energética:

- Resistência à mudança
- Insensibilidade aos custos,
- Impactos
- Direitos adquiridos
- Impacto visível, períodos de retorno muito rápidos

Tabela 3.1 - Inquérito sobre direitos adquiridos (Silva, 2012)

| Acção | Casa | Escola |
|---|---|---|
| Fechar portas e janelas quando AC está ligado | 3,16 | 2,84 |
| Desligar equipamentos escritório | 2,61 | 2,59 |
| Fechar estores nas horas mais quentes do dia | 2,55 | 2,58 |

Nota: Sendo a escala de resposta: 1 – quase nunca e 4 – quase sempre

Práticas de eficiência energética no ambiente escolar. Foi feito um inquérito a todos as pessoas sobre quais as barreiras 1200 alunos.

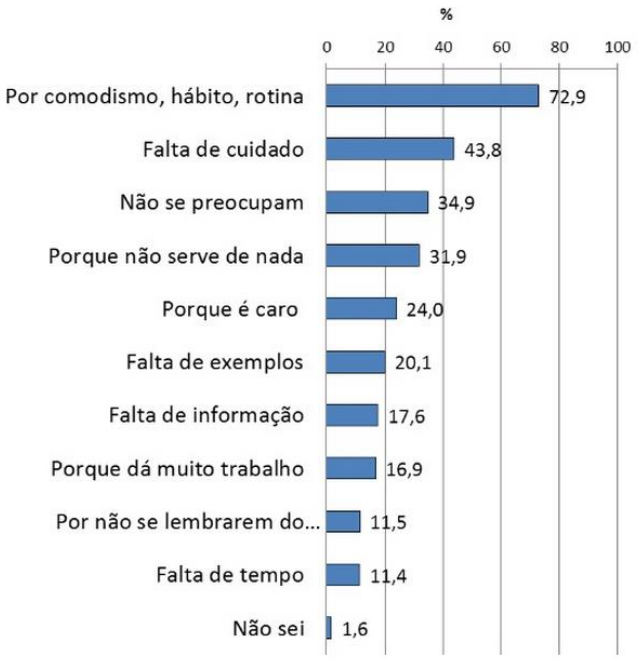


Figura 3.10 - Barreiras na adoção de Eficiência Energética (Silva, 2012)

Influenciar os comportamentos de consumo eficiente em edifícios públicos requer ações de sensibilização e medidas de responsabilização. As ações de sensibilização devem ser pensadas para cada classe de utilizadores (alunos, professores e funcionários) (Felizes, 2010)

Segundo o projeto “Energy Savings from Intelligent Metering and Behavioural Change”, fundado pela UE em 2005, a poupança de energia que se pode obter através da alteração dos comportamentos e medição inteligente é em média 20 %, podendo atingir os 30 %, com recurso a pouco ou nenhum investimento (IE, 2007).

## 3.5. Gás

A utilização do tipo de gás no abastecimento dos edifícios é de elevada importância.

O gás natural, também conhecido como metano, é incolor, inodoro, um dos combustíveis mais ecológicos que muitos outros combustíveis fósseis tradicionais. É hoje uma das formas mais populares de energia. É usado para aquecer, produzir eletricidade e para uso diverso na indústria .

Vantagens da utilização do gás natural:

- maior rendimento na combustão

- ausência de corrosão nas instalações

- ausência da necessidade de armazenagem

- redução de perdas no transporte devido ao avanço das técnicas de canalização

- combustão isenta de agentes contaminantes

- aumento da qualidade da produção

## 3.6. Gestão técnica centralizada

Garantir a eficiência energética de um edifício não passa apenas por ter equipamentos eficientes, mas depende também da forma como é feita a gestão dos consumos de energia. Os sistemas de Gestão Técnica Centralizada (GTC) existem para assegurar uma gestão adequada, permitindo monitorizar, controlar, comandar e gerir, de forma integrada, as várias instalações existente no edifício, tais como climatização, águas quentes sanitárias (AQS), contadores de energia, iluminação, segurança, entre outros. O sistema permite automatizar a um nível ótimo o funcionamento dos equipamentos de acordo com as necessidades de conforto de cada utilizador. Com a ligação da GTC ao contador de energia elétrica do distribuidor e a instalação de contadores parciais é também possível controlar a fatura energética do edifício, diminuindo a ponta de potência elétrica e identificando os principais consumidores do edifício (Ascenso, 2010).

Os resultados são uma redução dos consumos e, em consequência, da fatura energética, menos emissões de $CO_2$ e, também, uma melhoria no nível de conforto. Os GTC, para além da obrigatoriedade regulamentar (SCE), são essenciais nos grandes edifícios de serviços pelo que têm de ser encarados hoje como um elemento essencial na estratégia de eficiência energética de um edifício. Estima-se que estes sistemas permitam poupanças na ordem dos 15 a 20% e, para além disso, no caso de anomalia ou avaria, estes enviam avisos e alertas a serviço de manutenção, para que sejam tomadas as devidas medidas (Ascenso, 2010).

# 4. Metodologia

## 4.1. Apresentação do caso de estudo

### 4.1.1. A FCT/UNL

*Caracterização da FCT/UNL*

A Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), uma das nove unidades orgânicas da Universidade Nova de Lisboa (UNL), situa-se no Monte de Caparica, conselho de Almada, num *Campus* universitário com uma área de 30 ha, com capacidade de expansão até 60 ha. Foi criada em 1977 com especial foco no ensino de engenharia, ciências e investigação, sendo na atualidade uma das escolas portuguesas mais prestigiadas. A FCT/UNL é atualmente frequentada por cerca de 7500 alunos nos vários níveis de ensino: licenciatura, pós-graduação, mestrado, doutoramento, estudos avançados, e por cerca de 500 funcionários docentes e 250 funcionários não docentes. Estrutura-se em 14 sectores departamentais e 14 serviços de apoio.

O *Campus* universitário em que a FCT/UNL se insere dispõe de modernas infra-estruturas pedagógicas e de investigação, instaladas em 20 edifícios, tal como é possível verificar na Figura 4.1. Inclui ainda outras infra-estruturas, nomeadamente: residência de estudantes, campos desportivos, creche, posto de enfermagem, livraria, agência bancária, agência de viagens, loja de conveniência, cantina e diversos serviços de restauração (FCT/UNL, 2013).


Figura 4.1- Planta do *Campus* FCT/UNL

Com uma cultura de relacionamento com o exterior, a FCT/UNL mantém ligações estreitas com diversas universidades, tanto a nível nacional como internacional, quer por intercâmbios de docentes e estudantes, quer no âmbito de inúmeros projetos de investigação promovidos pelos 18 centros de investigação reconhecidos pela Fundação para a Ciência e Tecnologia. Através dos seus sectores departamentais, a FCT/UNL presta ainda serviços a entidades do Estado, autarquias e empresas, no âmbito de protocolo de colaboração para o desenvolvimento de estudos em áreas do conhecimento nas quais dispõe de competências específicas (FCT/UNL, 2013).

*Planos para a energia*

A Faculdade tem implementado, desde 2000, o projeto *Campus* Verde, o qual tem como objetivo a melhoria do desempenho ambiental da FCT/UNL por intermédio da implementação e certificação de um Sistema de Cestão Ambiental (SGA), de acordo com a norma NP EN ISSO 14001:2004. Atualmente o Projeto *Campus* Verde tem como principais motivações a melhoria do desempenho ambiental, na garantia do cumprimento legal, na redução do consumo de recursos e das emissões ambientais, na redução de custos e aumento de receitas, na comunicação, melhoria da imagem e influência junto da sociedade (Santos, 2009)

Para além dos aspetos ambientais, o elevado consumo de energia no *Campus* tem sido motivo de preocupação pelo que foram desenvolvidas estratégias conjuntas de ações para a energia no *Campus*, com o objetivo de tornar o *Campus* eficiente e reduzir os consumos. A FCT/UNL tem sido caso de estudo de vários trabalhos académicos que têm desenvolvido diversos diagnósticos, auditorias e estimativas que têm sido consideradas na estratégia de ação para a energia. Os trabalhos realizados centram-se sobretudo sobre os edifícios da FCT/UNL, identificando oportunidades de melhoria para o seu desempenho energético (Marcelino, 2010).

Estes trabalhos têm permitido saber quais os edifícios que consomem mais energia, as ineficiências nos edifícios, bem como as atividades realizadas consideradas de consumo intensivo (Santos, 2010).

Presentemente os trabalhos relacionados com a energia debruçam-se sobre o estudo pormenorizado dos edifícios, dos consumos, das medidas e das metas a alcançar sob o ponto de vista da eficiência e da certificação (Graça, 2011).

Na Tabela 4.1 apresentam-se os principais indicadores de desempenho e de boas práticas consideradas na estratégia para a energia no *Campus*.

Tabela 4.1 - Indicadores e boas práticas para a energia no *Campus* (Graça, 2011)

| | |
|---|---|
| **Indicadores** | • Consumo direto de energia por fonte, total e *per capita*<br>• Consumo indireto de energia, total<br>• Poupança de energia por melhorias na conservação e eficiência do uso de energia, total e em percentagem<br>• Iniciativas para fornecer produtos e serviços baseados na eficiência energética ou nas energias renováveis, e reduções no consumo de energia como resultado<br>• Iniciativas para reduzir o consumo de energia pelos membros do *Campus*<br>• Energia elétrica proveniente de fontes renováveis, total e em percentagem<br>• Instalação de fontes renováveis de energia<br>• Certificação energética de edifícios<br>• Iniciativas para reduzir o consumo indireto de energia e reduções alcançadas |
| **Boas práticas** | • Instalação de equipamento que permita monitorizar os consumos de energia<br>• Monitorizar o consumo de energia por edifício / departamento / secção<br>• Ter conhecimento do tipo de utilização de energia e tendências futuras<br>• Promover a eficiência energética entre funcionários e estudantes<br>• Na aquisição de novos equipamentos optar por equipamentos com classe energética A, A+ ou A++ ou declarados com a etiqueta Energy Star<br>• Otimizar os sistemas de climatização e definir temperaturas de conforto adequadas<br>• Ajustar os sistemas de climatização com redução da temperatura durante o período de férias de inverno e aumento da temperatura no período de férias de verão<br>• Utilização de lâmpadas de baixo consumo, por exemplo, substituição das lâmpadas fluorescentes T-12 por lâmpadas mais eficientes da variedade T-8<br>• Preferir, sempre que possível, o uso de iluminação natural<br>• Instalação de interruptores com reguladores de intensidade<br>• Eficaz isolamento de portas e janelas<br>• Instalação de vidros duplos, estores e/ou cortinados<br>• Promover do uso de transporte coletivos e de modos suaves de deslocação<br>• Instalação de energias alternativas<br>• Contínuo processo de inspeção detalhada e avaliação dos edifícios para melhorar o conforto, e consequentemente, aumentar a eficiência na utilização de energia<br>• Avaliação do uso de energia, no caso de novos edifícios, realizada através de uma rede de construção de sensores conectados a um sistema central, que permita monitorizar o uso de energia no edifício minuto a minuto e que detete zonas de desperdício de energia |

Ao longo dos anos foram tomadas medidas com o objetivo de reduzir o consumo de energia na FCT/UNL, e as melhorias implementadas na eficiência energética permitiram que a FCT/UNL crescesse sem aumentar significativamente o seu consumo de energia. Algumas medidas, nomeadamente de imputação de custos, indiretamente, incentivaram a redução dos consumos por via da diminuição dos custos, disponibilizando-se essas verbas para outras áreas (Graça, 2011).

### 4.1.2. Edifício Departamental

O Edifício Departamental, situado a noroeste no *Campus* da Faculdade de Ciências e Tecnologia, é constituído por 2 edifícios interligados, designados na Figura 4.2 por edifício A (blocos 1, 2 e 3) e edifício B (blocos 4, 5 e 6).

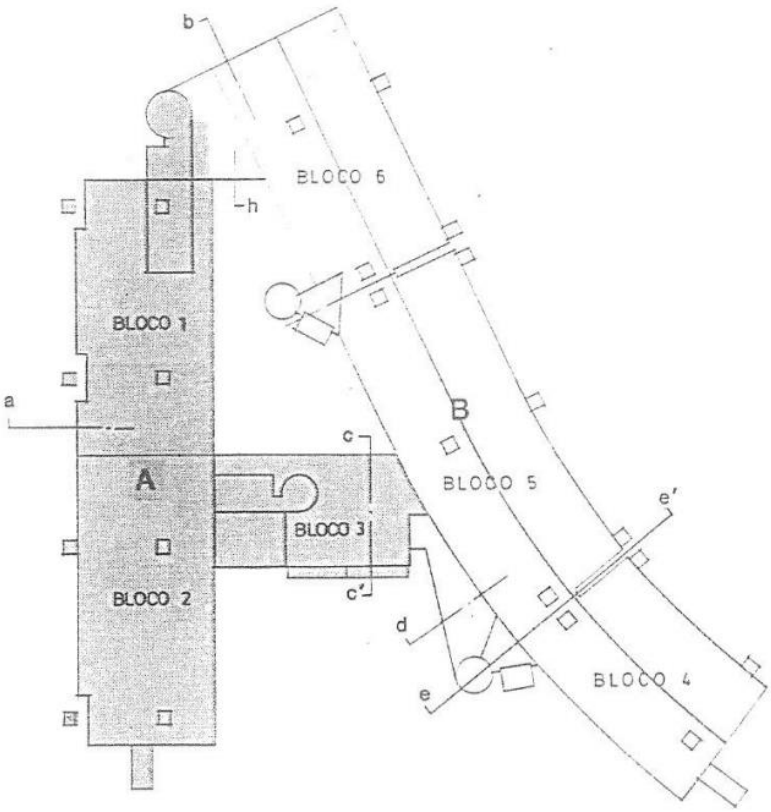


Figura 4.2 – Planta do Edifício Departamental

A ala situada a poente (edifício A) engloba o Departamento de Química com cerca de 11 135 $m^2$ de área útil, e a ala situada a nascente (edifício B) engloba os Departamentos de Ciências e Engenharia do Ambiente, Conservação e Restauro, Ciências da Vida e Ciências e Tecnologia da Biomassa com cerca de 10 705 $m^2$ de área útil. No total, o edifício perfaz uma área útil de 21 840 $m^2$ e uma área bruta de 25 441 $m^2$.

Com áreas superiores a 1 000 $m^2$ este edifício enquadra-se no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), o qual divide o país em zonas climáticas de Inverno e de Verão, de acordo com o já estabelecido no Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Na Tabela 4.2 podem ser observados os dados climáticos de referência para o concelho de Almada.

Tabela 4.2 - Dados climáticos relativos à zona em estudo (Aelenei, 2010)

| Parâmetros | Dados |
|---|---|
| Concelho | Almada |
| Zona Climática Inverno | I1 |
| Nº Graus-dias (˚C.dias) | 1160 |
| Duração Estação (meses) | 5,3 |
| Zona Climática Verão | V1 |
| Temperatura Exterior (˚C) | 21 |
| Amplitude Térmica (˚C) | 10 |

A ala poente (blocos 1 e 2), é constituída por 7 pisos de configuração rectangular, orientado longitudinalmente segundo o eixo nordeste-sudoeste. O bloco 3, constituído por 4 pisos, está localizado no centro do complexo, configurando um pátio interior com os restantes blocos. A ala nascente (blocos 4, 5 e 6) é constituída por 4 pisos descrevendo um arco de círculo, orientado longitudinalmente segundo o eixo norte-sul. O acesso ao interior do edifício é feito por duas grandes entradas, uma a norte situada no bloco 6 e outra a sul situada na fachada sudoeste do bloco 3.

O edifício é constituído na sua maioria por laboratórios de ensino e investigação, sendo que em alguns casos estes funcionam em dinâmica de ensino/investigação, salas de apoio laboratorial, salas de aulas, gabinetes, secretarias e serviços de apoio, armazéns, zonas técnicas e zonas de circulação.

*Caracterização das envolventes: envolvente opaca e vãos envidraçados*

A envolvente opaca vertical exterior é constituída por 2 panos de tijolo furado de 0,15+0,15 m assente com argamassa de cimento e areia, com 0,36 m no limpo (11+6+15). O revestimento exterior é de reboco de argamassa de cimento e areia hidrofugado, incluindo alhetas de remate. A envolvente opaca exterior, no piso 0, faz ligação com o pavimento térreo (ponte térmica linear). As restantes envolventes opacas situam-se em zona de ponte térmica plana (viga em betão armado) (Duarte, 1989).

A envolvente opaca vertical interior, no geral e salvo algumas exceções, é constituída por paredes simples de alvenaria de tijolo furado de 0,15 m assente com argamassa de cimento e areia, com dimensões no tosco de 0,11 m. O revestimento interior é de reboco de argamassa de cimento e areia baritado, incluindo alhetas de remate; e, no caso dos laboratórios, por azulejo branco de 15x15 cm de arestas semi-boleadas (Duarte, 1989).

Os vãos envidraçados, situados na envolvente opaca exterior, são constituídos, na sua maioria, por elementos fixos, basculantes e deslizantes de alumínio lacado do tipo “Technal”, com peito em pedra lioz baturdada a pico fino, de disposição horizontal. O vidro é simples e translúcido, com uma espessura de 4 mm. Os vãos envidraçados são complementados por estores venezianos, de montagem exterior, de lâminas de alumínio termolacadas, tipo “Luxaflex”, pintadas a tinta de estufa de cor clara (Duarte, 1989).

Na Figura 4.3 são apresentadas imagens infravermelhos recolhidas ao final do dia, as quais permitem identificar problemas de isolamento que originam perdas de calor indesejáveis. As imagens das fachadas Sudoeste e Oeste mostram que as maiores trocas de calor ocorrem através das envolventes das janelas, vigas e dos pilares. Na imagem da fachada Este observa-se que a zona do portão é uma zona onde existem temperaturas elevadas. Na zona superior esquerda do portão existe uma brecha onde a temperatura é maior, o que implica maiores perdas de calor neste local.

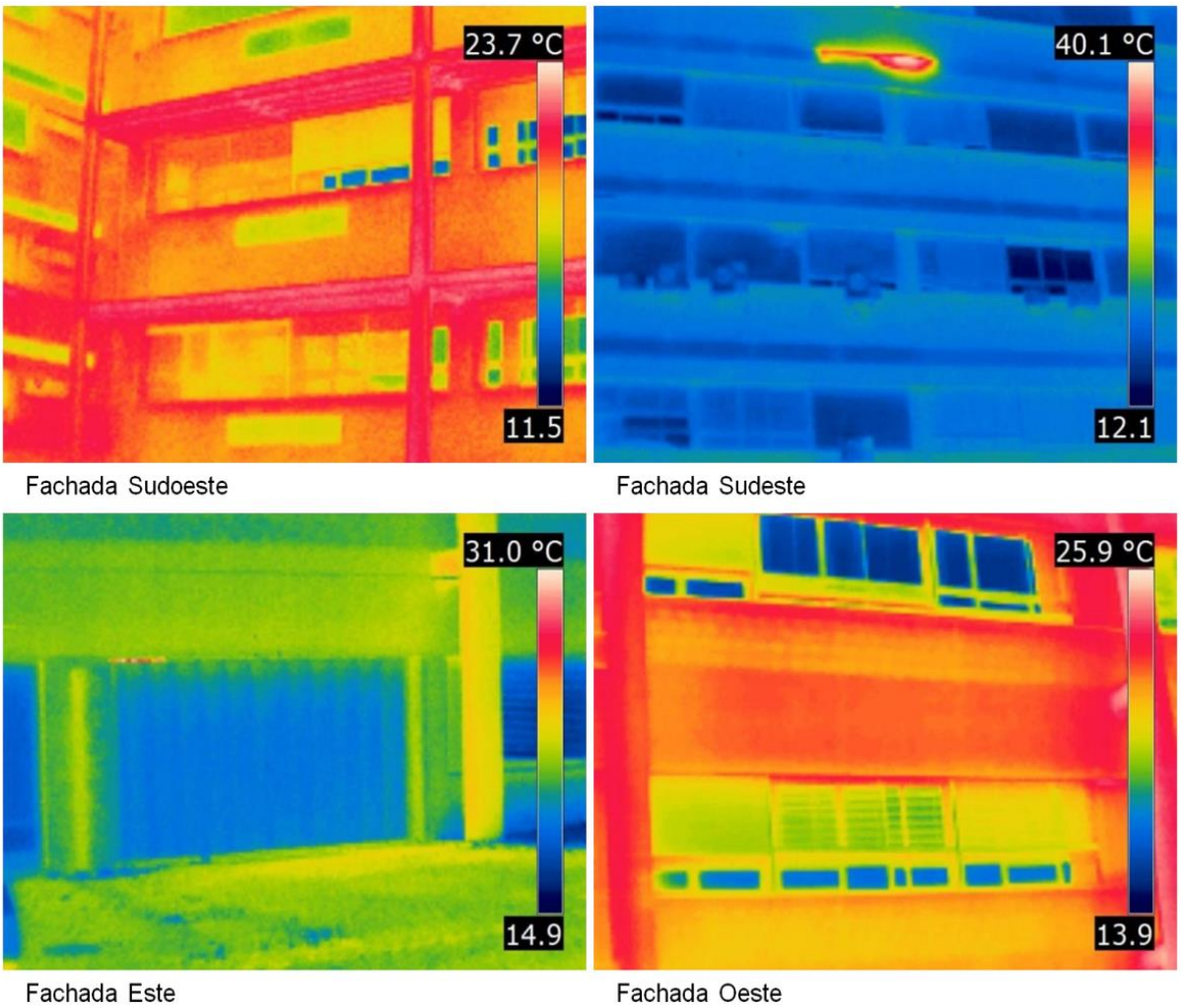


Figura 4.3 - Imagens de infravermelhos do Edifício Departamental, capturadas ao final do dia (Marcelino, 2010)

*Caracterização do aquecimento, ventilação e ar condicionado*

Foi projetado, para o Edifício Departamental, um sistema centralizado de aquecimento, ventilação e ar condicionado. O sistema de aquecimento existente é do tipo B a 2 tubos de água-água, destinado à climatização de laboratórios, salas de aulas, salas de convívio e zonas de circulação. Este sistema é assegurado pelas instalações de termo-ventilação, formadas por unidades terminais de tratamento de ar constituídos por um ventilador centrífugo e um permutador de calor água-ar. Estás máquinas estariam preparadas para receber água quente proveniente da central térmica, permitindo deste modo o controle da temperatura do ar insuflado. O sistema de arrefecimento existente é do tipo bomba de calor ar-ar e é assegurado pela instalação de unidades de condicionamento de ar

montadas em split, destinadas à climatização de laboratórios especiais, gabinetes, biblioteca e sala de computadores.

O sistema de ventilação, que permite a insuflação e retorno/extração do ar, funciona através de redes de condutas, difusores e simples tomadas de ar. A captação de ar exterior é efetuado através de grelhas continuas que se desenvolvem ao longo do edifício (uma por cada piso) e que comunicam diretamente com os espaços técnicos localizados acima dos tetos falsos.

No entanto, o sistema central de climatização encontra-se obsoleto, estando apenas em funcionamento o sistema central de ventilação, garantido a ventilação dos espaços com insuflação de ar novo e extração de ar viciado. O aquecimento e arrefecimento dos espaços é atualmente efetuado por intermédio de splitters individuais, com capacidade instalada adequada ao respectivo espaço. O gasto energético realizado por um splitters individual por espaço é largamente superior ao gasto energético de um sistema centralizado, revelando-se esta área, neste edifício, com um elevado potencial de redução.

*Caracterização das instalações elétricas*

O edifício é alimentado em Média Tensão (MT) sendo transformada em Baixa Tensão (BT) no Posto de Transformação (PT) existente. Cada Ala está equipada com um Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) que faz a distribuição vertical para os quadros gerais de piso (QGP). A distribuição, em cada piso, é feita em 3 circuitos: Iluminação e força motriz (iluminação e tomadas), serviços comuns/emergência (circuito de serviços comuns, iluminação zonas de circulação, câmaras frigorificas, iluminação de courettes e elevadores) e condicionamento ambiente (AVAC). Os quadros gerais alimentam os circuitos horizontais em cada piso, sendo que no caso dos laboratórios alimentam os respectivos quadros parciais onde está centralizada a proteção e o corte de toda a aparelhagem instalada nesse espaço.

Dividido em 2 alas: Ala Ambiente e Ala Química, este edifício possui 2 contadores de consumo elétrico, um para cada ala. Em 2012, o consumo anual da Ala Ambiente foi de 723 MWh e o da Ala Química de 1 910 MWh, totalizando um consumo de 2 633 MWh. O Edifício Departamental representa cerca de 39,4% de consumo total de eletricidade no *Campus* da FCT, revelando-se o edifício com maior potencial de redução.

*Caracterização da iluminação*

De projeto, foi previsto a instalação de iluminação predominantemente de luz fluorescente, considerada com os melhores rendimentos de potência versus fluxo de iluminação. O nível de iluminação instalada, que varia consoante a tipologia do espaço, procurou obter níveis de iluminação adequados (Duarte, 1989). O nível de iluminação instalada foi a seguinte:

- Laboratórios – 500 Lux
- Salas de aula – 400 lux
- Gabinetes – 250 lux
- Instalações técnicas – 180 lux

- Zonas de Circulação – 180 lux

- I.S. – 150 lux

Em 2010 a intensidade luminosa foi medida, com e sem luz natural disponíveis, em vários locais das zonas de circulação e em salas de aula das Alas Ambiente e Química do Edifício Departamental. Foi possível verificar que nas zonas de circulação, e em situação de ausência de luz natural, a iluminação não é suficiente para respeitar a norma EN 12464-1, que indica o 100 lux como sendo a intensidade luminosa adequada a zonas de circulação. Por outro lado, os valores medidos durante o dia, que correspondem à intensidade luminosa proveniente da soma da iluminação artificial e da luz natural existente, revelam que na maioria dos locais os valores medidos são superiores ao estabelecido pela norma supracitada, o que demonstra excesso de iluminação nos locais em questão e para a atividade a desenvolver no local. Nas salas de aulas, os valores registados durante a noite (sem luz natural), são claramente superiores ao exigido na norma EN 12464-1, de 300 lux em salas de aulas e de estudo (Marcelino, 2010).

Assim, os valores de iluminância registados mostram que a iluminação, ou não é suficiente em algumas zonas do edifício, ou, noutras zonas, tanto de noite como de dia está claramente em excesso, aumentando os consumos de energia elétrica de forma desnecessária. Rapidamente se conclui que a iluminação, neste edifício, não está instalada de forma coerente e os níveis de iluminação foram, em alguns locais, claramente sobredimensionados relativamente ao aprovado pela norma EN 12464-1, revelando um elevado potencial de poupança.

*Caracterização energética*

Em 2002, o Edifício Departamental foi alvo de uma auditoria energética realizada pela Agência para a Energia (ADENE). Esta auditoria detectou um potencial de poupança de 514 MWh, cerca de 140 tep em energia primária e de 249 t de $CO_2$, com uma redução na fatura energética de 40 192€. Para tal, seria apenas necessário efetuar um investimento de 91 202€ com um período de retorno de 2,3 anos (Gaspar, 2002).

Os consumos de energia no edifício foram desagregados, por forma a compreender a origem dos elevados consumos e assim perceber os potencias de redução, obtendo-se a informação esquematizada na Figura 4.4.

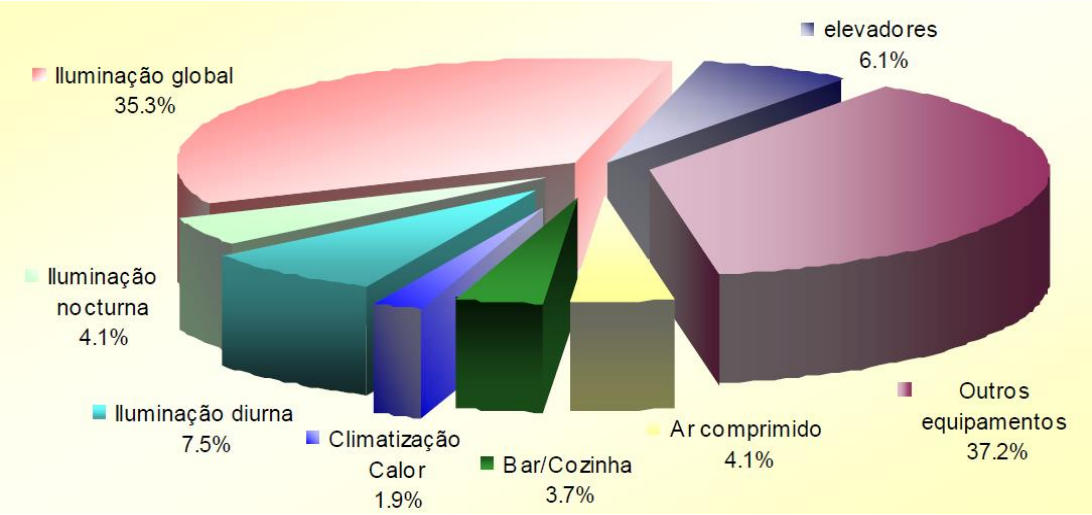


Figura 4.4 - Distribuição do consumo anual de energia elétrica por áreas (Gaspar, 2002)

Com a auditoria de 2002 verificou-se que os maiores consumos neste edifício são efetuados pela iluminação das zonas de circulação, contabilizadas nas parcelas de iluminação diurna e noturna, como pela iluminação dos gabinetes, salas de aulas, laboratórios e instalações sanitárias, contabilizadas na parcela da iluminação global. Outro consumo com bastante peso, representado na parcela outros equipamentos, é realizado pela climatização (splits individuais) e por equipamentos laboratoriais e outros equipamentos não contabilizados.

## 4.2. Abordagem geral

Para determinar medidas de eficiência energética a implementar foi necessário, em primeiro lugar, quantificar a energia e compreender de que forma esta é consumida no *Campus*. Por forma a decompor e analisar os consumos energéticos realizados nos edifícios do *Campus* foi realizada uma auditoria energética com base nos princípios apresentados por Wayne Turner (Turner, 2005).

A auditoria energética consiste no estudo das condições de utilização de energia na instalação e na identificação de oportunidade de melhoria do desempenho energético da mesma, com o objetivo de reduzir o peso da fatura energética na estrutura de custos globais. A realização da auditoria energética contribui para a redução de custos por permitir caracterizar a estrutura de consumo da instalação, identificar e caracterizar os sectores e/ou equipamentos com potencial de redução de consumo e ainda, identificar e quantificar medidas de utilização racional de energia.

Os trabalhos iniciaram com a identificação das fontes de energia utilizadas no *Campus* e o respectivo peso na despesa total da Faculdade, tendo por base a faturação anual das respectivas fontes. Desta forma foi possível perceber qual a fonte de energia mais utilizada no *Campus*. Com base nos contadores de eletricidade instalados foi possível desagregar os consumos energéticos por edifício, nos últimos 3 anos: 2010, 2011 e 2012. Esta informação permitiu, quando cruzada com o tipo de atividade desenvolvida, ter uma visão geral de como a energia é usada e possivelmente

desperdiçada e ainda, identificar os edifícios com maiores consumos logo com maior potencial de poupança.

A faturação foi analisada de forma detalhada desagregando-a em todos os componentes faturados, permitindo assim perceber de que forma é taxado o consumo energético e o peso de cada componente no total faturado. Os diagramas de carga foram igualmente analisados ao detalhe permitindo perceber a distribuição do consumo de energia ao longo do tempo, picos de consumo, horas de ponta e pontas máximas no ano.

O consumo energético de um edifício está também intrinsecamente relacionado com as condições climatéricas que se fazem sentir na região, pois influenciam a temperatura de conforto dentro do edifício, pelo que foi importante perceber a média de dias de aquecimento e arrefecimento para o período de tempo em estudo. Assim, foram recolhidos valores de temperatura média diária, medidos na estação do Monte de Caparica, disponível no site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2013).

Para contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considerou-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é igual a 0,47 $kgCO_2/kWh$, de acordo com o estabelecido na Portaria n.º 63/2008, de 21 de Janeiro, 1.ª série.

Quanto á desagregação do consumo energético dos edifícios, e não existindo informação a esse nível de detalhe, foi necessário efetuar medições e, em algumas situações, estimar valores de consumo. Os valores de energia medidos e estimados foram organizados por tipo de equipamento e por atividade.

## 4.3. Estimativa de consumos energéticos

A desagregação dos consumos por edifício permitiu perceber qual o edifício com maior consumo no *Campus*, logo com maior potencial de poupança, pelo que as estimativas foram trabalhadas apenas para esse edifício: o Edifício Departamental.

Este edifício está dividido em duas zonas distintas, designadas por Ala de Ambiente e Ala de Química. Ambas as zonas são constituídas maioritariamente por gabinetes, salas de aulas e secretarias que se comportam, no geral, de forma semelhante, e por laboratórios de ensino e investigação, sendo que em alguns casos estes funcionam em dinâmica de ensino/investigação. Relativamente aos laboratórios é ainda feita uma diferenciação no caso de serem laboratórios húmidos com atividade laboratorial normal, ou secos no caso dos laboratórios de computadores.

As medições de consumo energético foram efetuadas por sector utilizando o analisador trifásico da Chauvin Arnoux, modelo C.A 8334B tal como indicado na Figura 4.5.

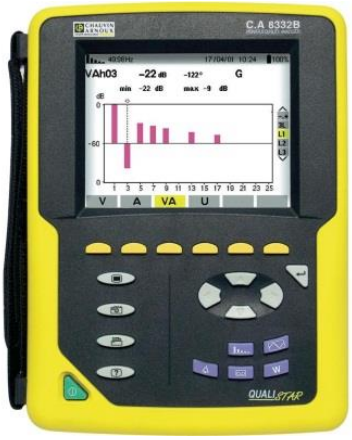


Figura 4.5 - Analisador Trifásico Chauvin Arnoux C.A 8334B

As medições foram feitas por um período de 7 dias representativos de uma semana típica.

O horário de funcionamento do edifício foi obtido através dos serviços da Divisão de Apoio Técnico (DAT), responsável pelo seu funcionamento.

Considerou-se que a ocupação de espaços usados pelos utentes em 2012 foi de 264 dias úteis, sendo que esta ocupação exclui fins de semana, férias e feriados. Em casos especiais, tal como equipamentos ou iluminação que deve permanecer ligada 24 horas por dia, consideraram-se os 365 dias por ano.

Verificou-se ainda a necessidade de perceber o consumo individual de alguns equipamentos que se verificaram de utilização recorrente na generalidade dos espaços, tais como: arcas, frigoríficos, computador portátil, computador de secretária, datashow, impressoras multifunções. As medições destes pequenos equipamentos foram feitas recorrendo ao Energy Monitor 3000, representado na Figura 4.6.


Figura 4.6 - Energy Monitor 3000

As medições foram de 24h captando assim a utilização diária típica do equipamento no respectivo espaço. Esta medição permitiu ainda apurar o consumo por hora do equipamento. Na Tabela 4.3 apresentam-se os valores medidos utilizados na metodologia.

Tabela 4.3 - Consumos diários de pequenos equipamentos

| Equipamento | kWh/dia |
|---|---|
| Arca Frigorifica | 5,171 |
| Frigorifico | 3,176 |
| Computador Portátil | 0,204 |
| Computador Secretária | 0,436 |
| Impressora Multifunções | 1,112 |
| Impressora Laser | 0,375 |
| Datashow (2 horas) | 0,493 |

Tal referido anteriormente, os valores de energia medidos e estimados para o Edifício Departamental foram organizados por tipo de atividade: laboratórios, gabinetes, salas de aulas, secretarias, zonas de circulação e zonas comuns, e ainda por tipo de equipamento: iluminação, climatização, equipamentos de informática, equipamentos de laboratório, hotes e equipamentos de frio. É importante referir que, e relativamente aos equipamentos, o levantamento da iluminação foi efetuada espaço a espaço, com base nas telas finais de projeto do edifício, por contagem direta do número de lâmpadas e da respectiva potência, pelo que não ouve necessidade de extrapolar estimativas. Na climatização apenas se consideram os consumos efetuados pelos ar condicionados, habitualmente designados por splitters, à exceção dos laboratórios, onde os consumos medidos incluem a climatização e a ventilação do respetivo espaço. Nos equipamentos de frio apenas se consideram os consumos efetuados pelas arcas e frigoríficos combinados utilizados nos laboratórios, sendo as câmaras frigoríficas contabilizadas como equipamentos de laboratório. As hotes, por possuírem ventiladores de extração foram tratadas à parte, tanto dos equipamentos de laboratório como de climatização, por possuírem elevada expressão nos consumos finais do edifício. Assim, de seguida apresenta-se a metodologia utilizada no levantamento do consumo para os vários tipos de equipamentos dentro de cada tipo de atividade.

*Laboratórios*

Na Ala de Ambiente o levantamento de consumos laboratoriais foi efetuado no laboratório 227, designado como Laboratório de Ecologia Marinha. Este laboratório, com uma área útil de 94,59 $m^2$, destina-se à prática investigação dispondo de 2 salas anexas, a sala 227A, com 3,95 m2 de área, preenchida com uma câmara frigorífica, e a sala 227B, com 32,69 $m^2$, usada como sala de apoio ao laboratório principal. Este laboratório foi seleccionado para amostragem pois representa a generalidade dos laboratórios existentes no edifício, na medida em que dispõe de todos os equipamentos tipicamente utilizados, possuindo ainda uma atividade típica e representativa.

Este laboratório, tal como todos os laboratórios do edifício, dispõe de um quadro elétrico parcial que alimenta e comanda toda a rede elétrica do respectivo espaço. Este quadro elétrico parcial está equipado com um disjuntor geral que comanda todas as secções, iluminação, hotes e tomadas. As medições foram efetuadas no disjuntor geral durante 7 dias contínuos por forma a registar uma semana típica de utilização do espaço. Foi-nos indicado, pelo responsável de laboratório, que o

espaço tem um período de funcionamento médio diário de 10 horas em 264 dias por ano. No entanto alguns equipamentos ficam ligados 24 horas por dia como é o caso das hotes e equipamentos de frio (arcas e frigoríficos combinados).

O levantamento da potência instalada em iluminação foi efetuado com base nas telas finais de projeto, onde é possível contabilizar diretamente as lâmpadas e as respectivas potências instaladas. Considerou-se uma utilização média da iluminação de 10 horas para laboratórios de investigação de 8 horas por dia para laboratórios de ensino/investigação, em 264 dias por ano.

Quanto à climatização, a qual inclui aquecimento, ventilação e arrefecimento do espaço, não foi possível individualizar as medições neste laboratório. No entanto, sendo o funcionamento da climatização muito semelhante em ambas as alas, foram assumidos os consumos medidos no laboratório da Ala de Química.

Foi ainda realizada uma visita a todos os laboratórios e efetuado um levantamento de todos os equipamentos informáticos.

Foi efetuado um levantamento, espaço a espaço, dos equipamentos de frio: arcas e frigoríficos combinados existentes, e desta forma perceber o consumo total efetuado pelos equipamentos de frio. Existem algumas câmaras frigorificas no entanto esse consumo é contabilizado no total de equipamentos laboratoriais. A leitura dos equipamentos de frio foi efetuada por um período de 24 horas, por forma a contabilizar um dia típico de utilização dos equipamentos. São equipamentos que devem estar permanentemente ligados 24 horas por dia e 365 dias de utilização por ano.

Feitas as medições gerais do consumo do laboratório, foi subtraído o consumo de iluminação, dos equipamentos de frio e dos equipamentos informáticos, sendo possível obter assim o consumo apenas de tomadas, consumo este correspondente apenas aos equipamentos laboratoriais. As medições foram extrapoladas aos restantes laboratórios com ajuste proporcional à área.

Apesar de ambas as alas terem, no geral, um funcionamento muito semelhante optou-se por se realizar medições distintas, nomeadamente nos laboratoriais pois existem diferenças relativamente ao tipo e quantidade de equipamentos utilizados. Por outro lado, e dependendo da individualização de circuitos que existe no quadro parcial, em alguns laboratórios foi possível efectuar medições sectorizadas.

Na ala de Química a configuração e o tipo de atividade exercida nestes espaços são representativos dos restantes laboratórios existentes no edifício Departamental, sendo possível extrapolar a amostragem com baixo erro de precisão.

*Gabinetes*

O consumo nos gabinetes foi obtido por amostragem, na Ala de Ambiente foram recolhidas amostras com o analisador em 12 gabinetes e na Ala de Química, devido à dificuldade em individualizar os circuitos nos quadros de piso, apenas foi possível recolher amostras em 3 gabinetes. No entanto, foi possível individualizar as medições para a climatização e para as tomadas, assumindo-se as medições das tomadas o equivalente ao consumo dos equipamentos informáticos utilizados no

espaço. Os gabinetes são semelhantes entre sim, e assumiu-se uma utilização idêntica, pelo que os valores médios obtidos, tanto para a climatização como para os equipamentos informáticos, foram extrapolados em proporção à área de cada gabinete.

O levantamento da potência instalada em iluminação para cada gabinete foi efetuado com base nas telas finais de projeto, por contagem direta do número de lâmpadas e da respetiva potência. Considerou-se uma utilização média de 6 horas por dia. Considerou-se nos gabinetes uma utilização de todos os equipamentos de 264 dias por ano.

*Salas de Aulas*

Para as salas de aulas, devido à dificuldade em sectorizar os circuitos nos quadros de piso, não foi possível efetuar medições com o analisador, pelo que os consumos foram estimados com base no levantamento de iluminação, equipamentos informáticos e nas respetivas horas de funcionamento diário e anual. Os consumos apurados para as salas de aulas estendem-se a outras zonas, consideradas de utilização semelhante, tais como salas de estudo e salas de reuniões.

Nestes espaços o levantamento da potência instalada em iluminação foi efetuado com base nas telas finais de projeto, onde é possível contabilizar diretamente as lâmpadas e as respectivas potências instaladas. Relativamente ao equipamento informático foi considerado a utilização mínima de um portátil e de um datashow necessários á realização de uma aula ou reunião.

Todas as salas dispõem de equipamento de climatização assumindo-se o consumo energético igual ao de um gabinete, ajustado pela proporção de área. Assim, foram utilizados os consumos medidos com o analisador para a climatização nos gabinetes.

Para as salas de aulas o número de horas de funcionamento foi obtido através dos horários aplicados aos espaços, disponíveis em CLIP. Assim, e para todos os espaços, considerou-se uma utilização média de 6 horas por dia de 264 dias por ano.

*Secretarias*

Devido à dificuldade em sectorizar especificamente os circuitos para as secretarias nos quadros de piso, tanto na Ala de Ambiente como na de Química, não foi possível efetuar medições nestes espaços com o analisador. Assim, os consumos das secretarias foram estimados com base no levantamento de iluminação, equipamentos informáticos e nas respetivas horas de funcionamento diário e anual.

O levantamento da potência instalada em iluminação foi efetuado com base nas telas finais de projeto, onde é possível contabilizar diretamente as lâmpadas e as respectivas potências instaladas. Foram ainda contabilizados todos os equipamentos informáticos (portátil, computador secretária, impressoras) e calculado o consumo com base nas medições individuais de cada equipamento.

Todas as secretarias dispõem de equipamento de climatização assumindo-se o consumo energético semelhante ao de um gabinete, ajustado pela proporção de área. Assim, foram utilizados os consumos medidos com o analisador na climatização dos gabinetes da respetiva ala. Com base na

informação disponibilizada em cada secretaria verificou-se que estes espaços funcionam cerca de 8 horas por dia, 264 dias por ano.

*Zonas de Circulação*

Nas zonas de circulação contabilizaram-se todos os consumos efetuados em corredores, halls, escadas, elevadores. Nestas zonas apenas existe consumo de iluminação pelo que a potência instalada foi obtida com base nas telas finais de projeto, onde é possível contabilizar diretamente o número de lâmpadas e as respetivas potências. O funcionamento da iluminação nas zonas de circulação é de 24h diárias nos 365 dias por ano.

No início do ano de 2012 foi implementada uma campanha de redução de consumos energéticos em todos os edifícios, sendo que na primeira fase as zonas de circulação sofreram redução de 70% da iluminação nestas zonas. Assim, ao consumo de iluminação estimado para as zonas de circulação foram retirados 70% por forma a representar a realidade atual no ano em estudo

*Zonas Comuns*

Consideraram-se como zonas comuns as zonas de utilização diária e de acesso a todos os utentes do edifício tais como instalações sanitárias, bibliotecas e salas de convívio e/ou refeições, e ainda outras zonas de utilização esporádica tais como zonas técnicas, arquivos, armazéns, depósitos de lixos, arrumos, isto é, todas as zonas que não se encaixavam em termos de atividade nas restantes tipologias estabelecidas.

O levantamento da potência de iluminação instalada nas zonas comuns foi efetuado com base nas telas finais de projeto disponibilizadas pela DAT, por contagem direta do número de lâmpadas e da respetiva potência. As instalações sanitárias dispõem de sensores crepusculares e de presença pelo que se considerou uma utilização média de 3 horas por dia. Todas as restantes zonas, de utilização esporádica, considerou-se uma média de 1 hora diária.

As estimativas de consumo realizadas foram validadas por comparação com os consumos medidos nos contadores dos edifícios, e pelo cálculo do erro associado a cada estimativa realizada.

## 4.4. Indicadores

Por forma a comparar o desempenho energético interno, entre edifícios, ou externos, entre instituições revelou-se de extrema importância a construção de um índice de eficiência energética. Este índice revela-se de extrema utilidade quando se pretende comparar edifícios ou instituições com diferenças significativas ao nível de dimensão e atividade desenvolvida, pois permitem quantificar alterações na eficiência energética de um edifício (Marcelino, 2010).

Assim, optou-se pela construção de um indicador físico, consumo anual de energia por área útil de edifício (kWh/m$^2$/ano) possibilitando comparar o consumo anual por cada m$^2$ de edifício, independentemente da sua dimensão. Foi ainda criado um outro indicador físico, consumo anual de energia por área útil por tipologia de espaço (kWh/ano/m$^2$/espaço) permitindo assim identificar o consumo por m$^2$ de cada tipo de espaço utilizado nos edifícios: laboratórios, gabinete, secretaria e sala de aulas.

O levantamento dimensional dos edifícios do *Campus* foi realizado através das plantas de arquitetura em formato digital através das quais foi possível medir a respectiva área bruta e útil. O consumo anual dos edifícios foi obtido através da leitura dos contadores elétricos instalados no local.

O levantamento dimensional dos espaços de cada edifício foi apurado por intermédio das mesmas plantas de arquitetura, disponíveis em formato digital, através das quais foi possível medir a área de todos os espaços. A tipologia de cada espaço estava designada de projeto, no entanto, foi feito um levantamento espaço a espaço por forma a atualizar a informação. O consumo para cada tipologia foi apurado de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

A utilização de indicadores energéticos (valores de referência) numa perspetiva de *benchmarking*, poderá constituir um mecanismo válido na definição de metas e políticas de gestão de energia.

## 4.5. Análise custo-benefício

A análise custo-benefício (ACB) consiste num método para avaliar o impacto económico líquido de um projeto. O objetivo é determinar se um projeto é viável do ponto de vista do bem-estar social, através da soma algébrica dos seus custos e benefícios, descontados ao longo do tempo. A técnica em causa trata de prever os efeitos económicos de um projeto, quantifica-los, transformá-los em unidade monetárias e calcular a sua rentabilidade económica, por via de um indicador preciso, que permita formular uma opinião concreta em relação ao desempenho esperado do projecto (QREN, 2012).

A principal vantagem da ACB, em comparação a outras técnicas contabilísticas de avaliação tradicionais, consiste no fato dos efeitos externos e das distorções nos preços observadas serem igualmente considerados. Desta forma, as imperfeições do mercado são explicitamente tidas em conta (QREN, 2012).

A análise custo-benefício baseia-se na análise de dois indicadores de desempenho financeiros e económicos. Os indicadores utilizados são o valor actualizado líquido (VAL) e a taxa interna de rentabilidade financeira (TIR). O VAL é definido pela fórmula (8), em que $S_t$ é o saldo do *cash-flow* do ano t, $a_t$ é o fator de actualização financeira escolhido e i a taxa de juro (CE, Manual de Análise de Custos e Benefícios dos Projetos de Investimento, 2003).

$$\mathrm{VAL}\ (S) = \sum_{t=0}^{n} a_t\, S_t = \frac{S_0}{(1+i)^0} + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_n}{(1+i)^n} \tag{8}$$

Trata-se de um indicador de desempenho de investimento muito conciso. É a soma actual de todos os fluxos líquidos gerados pelo investimento. É importante referir que o saldo dos primeiros anos do investimento é geralmente negativo e que se torna positivo ao fim de alguns anos. Este indicador poderá ser um critério de avaliação de um investimento muito simples e preciso: VAL>0 significa que o projeto gera um benefício líquido e esta situação é geralmente desejável (CE, 2003).

Para actualizar os fluxos financeiros e calcular o valor actual líquido é necessário definir a taxa de actualização. A taxa de actualização é a taxa à qual são actualizados os valores futuros, permitindo

comparar custos e benefícios que ocorram em diferentes períodos de tempo. A taxa de actualização mais praticada é de 3,5% (Ravara, 2012).

A taxa interna de rentabilidade financeira (TIR) é definida como a taxa de juro que anula o valor actual líquido do investimento. O TIR é definido pela fórmula (9), em que $S_t$ é o saldo do *cash-flow* do ano t e IRR a taxa interna de rentabilidade.

$$\mathrm{VAL}\ (S) = \sum_{t=0}^{n} S_t / (1+\mathrm{IRR})^t = 0 \tag{9}$$

Tal como resulta claramente da definição da TIR e da sua fórmula, não é necessária qualquer taxa de actualização para o cálculo deste indicador. De fato, o valor da TIR constitui o valor máximo que esta pode atingir sem fazer do investimento uma perda líquida. A TIR pode ser um critério de avaliação de projeto: abaixo de um determinado valor de TIR, considera-se o investimento inadequado (CE, 2003).

A análise custo-benefício está dividida em medidas de aplicação geral no *Campus* e medidas de aplicação ao edifício mais consumidor, o Edifício Departamental. Para cada medida de eficiência energética em análise foi solicitado orçamento à respetiva empresa especializada na área, obtendo-se assim o valor de investimento para a medida. No geral, são inicialmente apresentadas as características gerais da situação actual: área útil, consumo e o custo. É apresentada uma economia anual por implementação da medida identificada a qual gera poupanças em termos de consumo e custos. É depois feita uma análise custo-benefício baseada nos indicadores já referenciados.

# 5. Resultados e Discussão de Resultados

## 5.1. Consumo de energia na FCT/UNL

Na FCT/UNL, em 2012, o orçamento para a energia foi de 1 103 749 € (sem IVA). Desprezando o consumo do combustível, utilizado na frota e nos equipamentos de jardinagem, o grande consumo energético reparte-se em 3 formas de energia: eletricidade, gás propano e gás natural, tal como indicado na Figura 5.1.

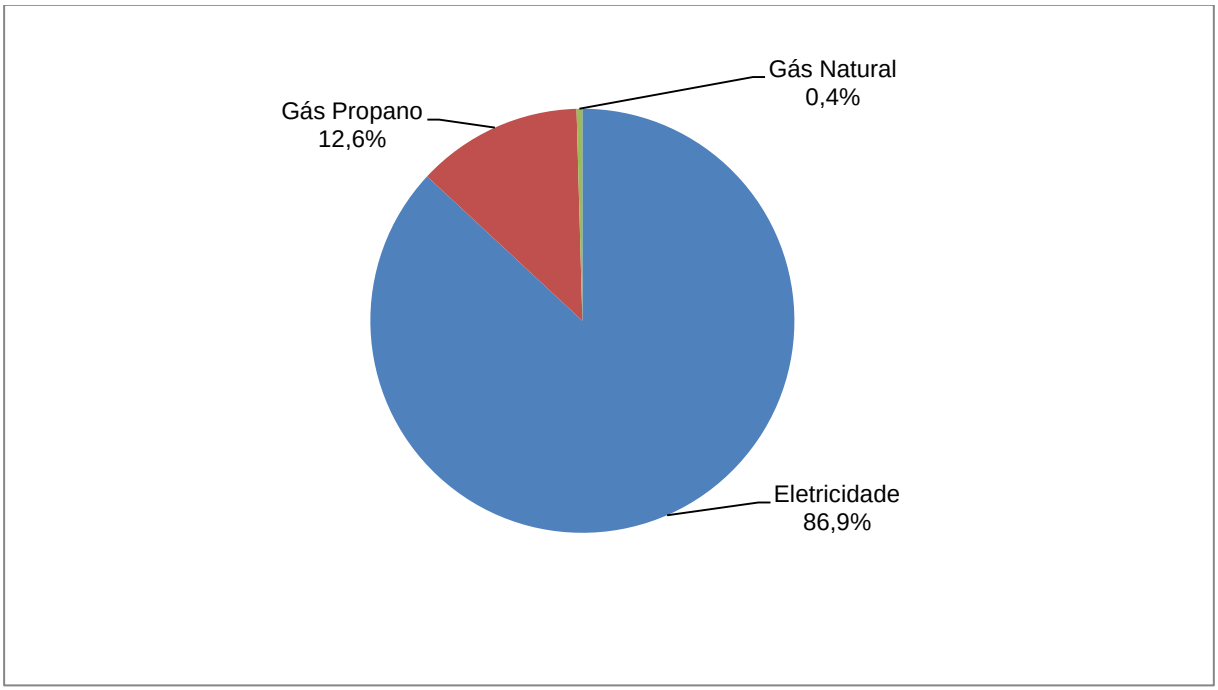


Figura 5.1 – Desagregação do consumo energético total na FCT/UNL no ano de 2012

Do orçamento total para a energia, 1 010 203 € foram gastos em eletricidade e 85 892 € em gás (propano e natural), totalizando um gasto energético anual nesse ano de 1 096 095 €. Facilmente se percebe o elevado consumo em eletricidade e, possivelmente, desperdício na Instituição.

*Gás*

O gás propano é usado maioritariamente na produção de calor para aquecimento dos edifícios, no entanto, é também usado em atividade laboratorial sendo o abastecimento efetuado em 3 depósitos. Um dos depósitos permite o funcionamento das caldeiras instaladas nos edifícios VII, VIII e IX, abastecendo também os laboratórios e o bar do Edifício Departamental. Um segundo depósito permite o aquecimento das águas quentes sanitárias dos balneários do campo de jogos e abastece a caldeira instalada no edifício X. O terceiro depósito abastece um forno, no Hangar III, onde se situa a Vicarte – Unidade de Investigação de Vidro e Cerâmica para as Artes. Tal como o gás propano, o gás natural é utlizado na produção de calor para aquecimento central da Biblioteca.

Na Tabela 5.1 apresentam-se os consumos efetuados em gás propano e gás natural, nos últimos 3 anos, 2010, 2011 e 2012. No ano de 2012 foram consumidos cerca de 1,2 GWh com um gasto de 125 903 mil euros em fatura.

Tabela 5.1 - Consumo e custo total de gás na FCT nos anos de 2010, 2011 e 2012

| Ano | GWh | € c/IVA |
|---|---|---|
| 2010 | 0,85 | 74 606 |
| 2011 | 0,98 | 99 614 |
| 2012 | 1,15 | 125 903 |

É possível verificar que o consumo de gás tem vindo a aumentar de ano para ano levando ao aumento da fatura energética. É importante referir que os gastos de gás propano efetuados pela Vicarte, no depósito do Hangar III, são pagos com verbas de investigação, logo não estão contabilizados na rubrica da FCT em gastos com gás.

Na Figura 5.2 é possível observar a distribuição mensal dos consumos ao longo do respetivo ano. Verifica-se que os maiores consumos energéticos, em qualquer um dos anos, se realizam nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, meses correspondentes à estação fria com maiores necessidades de aquecimento. Por sua vez os menores consumos realizam-se em Agosto e Setembro, como seria esperado, não só por não existirem necessidades de aquecimento, pois são os meses mais quentes, como correspondem ao período de férias escolares onde a atividade laboratorial é menor.

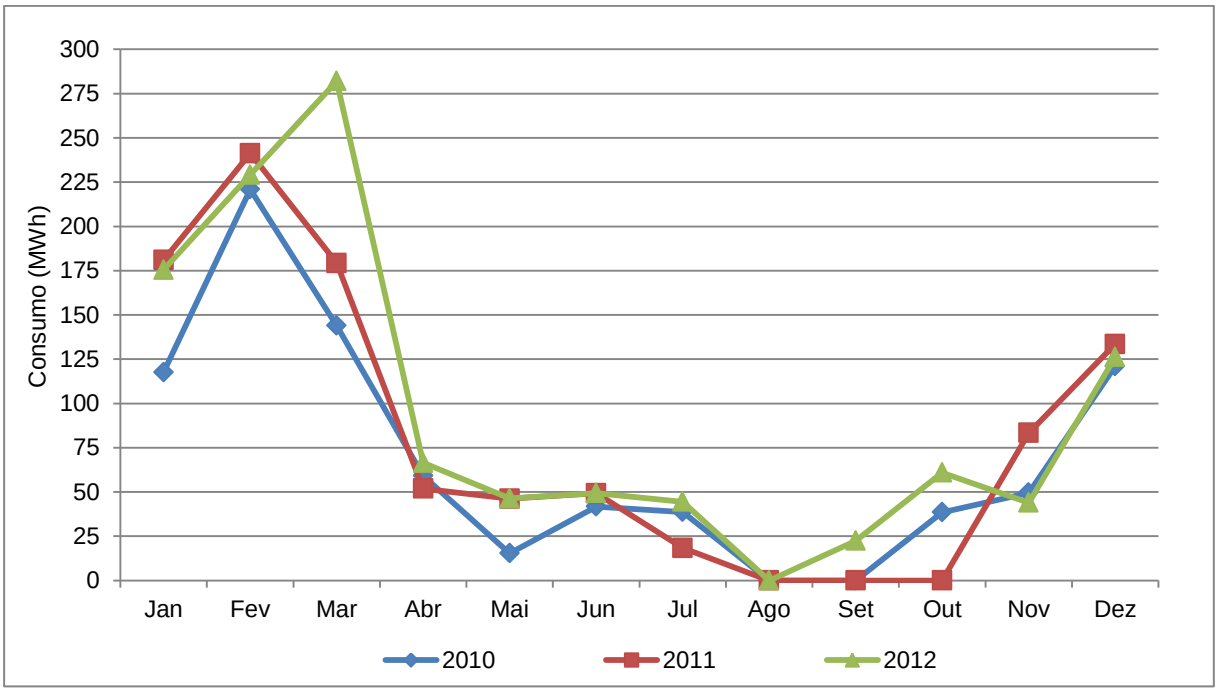


Figura 5.2 – Distribuição mensal do consumo gás na FCT/UNL nos anos de 2010, 2011 e 2012

Na Tabela 5.2 apresentam-se o consumo e custo de gás propano nos depósitos do Edifício Departamental, Edifício X e Hangar III e de gás natural na Biblioteca.

Tabela 5.2 - Consumo e custo total de gás propano por depósito nos anos 2010, 2011 e 2012

| Depósito | 2010 | | 2011 | | 2012 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | GWh | € c/ Iva | GWh | € c/ Iva | GWh | € c/ Iva |
| Ed. Departamental | 0,41 | 36 657 | 0,46 | 49 230 | 0,54 | 60 121 |
| Ed. X | 0,08 | 7 682 | 0,09 | 9 236 | 0,09 | 9 848 |
| Hangar III | 0,30 | 27 860 | 0,34 | 35 751 | 0,48 | 53 424 |
| Biblioteca | 0,05 | 2 407 | 0,10 | 5 397 | 0,04 | 2 510 |
| **Total** | **0,85** | **74 606** | **0,98** | **99 614** | **1,15** | **125 903** |

Os maiores consumos de gás propano, como seria de esperar, são realizados pelo depósito do Edifício Departamental pois este depósito alimenta as caldeiras de 3 dos maiores edifícios do *Campus*: Edifícios VII, VIII, IX e, ainda, todas as atividades laboratoriais do próprio Edifício Departamental e o Bar a funcionar neste mesmo edifício. Estamos no entanto a falar de aquecimento de uma área útil elevada e atividade intensa relacionada com o bar e com os laboratórios. Verificamos ainda que o Hangar III é o maior consumidor de gás propano. Este edifício tem uma área útil de cerca de 500 $m^2$ e todo o consumo é realizado por um forno, necessário às atividades laboratoriais da Vicarte. Imediatamente se verifica que este único Centro de Investigação consome quase tanto como 3 edifícios de cerca de 6 000 $m^2$ cada e alguma atividade laboratorial, no conjunto de 9 Departamentos. Com estes elevados consumos em gás a alteração de gás propano para gás natural poderá proporcionar poupanças consideráveis.

*Eletricidade*

A eletricidade é a fonte energética mais utilizada em todo o *Campus*, assegurando o correto funcionamento de todos os equipamentos elétricos em todos os edifícios. No ano de 2012 foram consumidos 7,6 GWh com um gasto de 1 010 174 mil euros em fatura.

Tabela 5.3 - Consumo e custo total de eletricidade nos anos de 2010, 2011 e 2012

| Ano | GWh | € (c/ IVA) |
|---|---|---|
| 2010 | 8,8 | 868 199 |
| 2011 | 8,6 | 928 545 |
| 2012 | 7,6 | 1 010 174 |

É possível verificar pela Tabela 5.3 que o consumo em 2011 é ligeiramente mais baixo que no ano de 2010, mas em 2012 verifica-se um decréscimo acentuado no consumo comparativamente aos anos anteriores. No início do ano de 2012 foi implementada pela DAT uma campanha de poupança de energia, tendo-se desligado cerca de 50% da iluminação em laboratórios e 70% de iluminação em zonas de circulação, verificando-se um decréscimo de 1 GWh nesse ano. Apesar da redução no consumo, verificou-se, em Outubro de 2011, um aumento do IVA de 6% para 23% o que levou ao aumento da fatura energética comparativamente aos anos anteriores.

Na Figura 5.3 é possível observar a distribuição mensal dos consumos de energia elétrica ao longo do respetivo ano. Verifica-se que os maiores consumos energéticos, em qualquer um dos anos, ocorrem nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, enquanto os menores consumos ocorrem em Agosto, como seria esperado tendo em conta o calendário escolar.

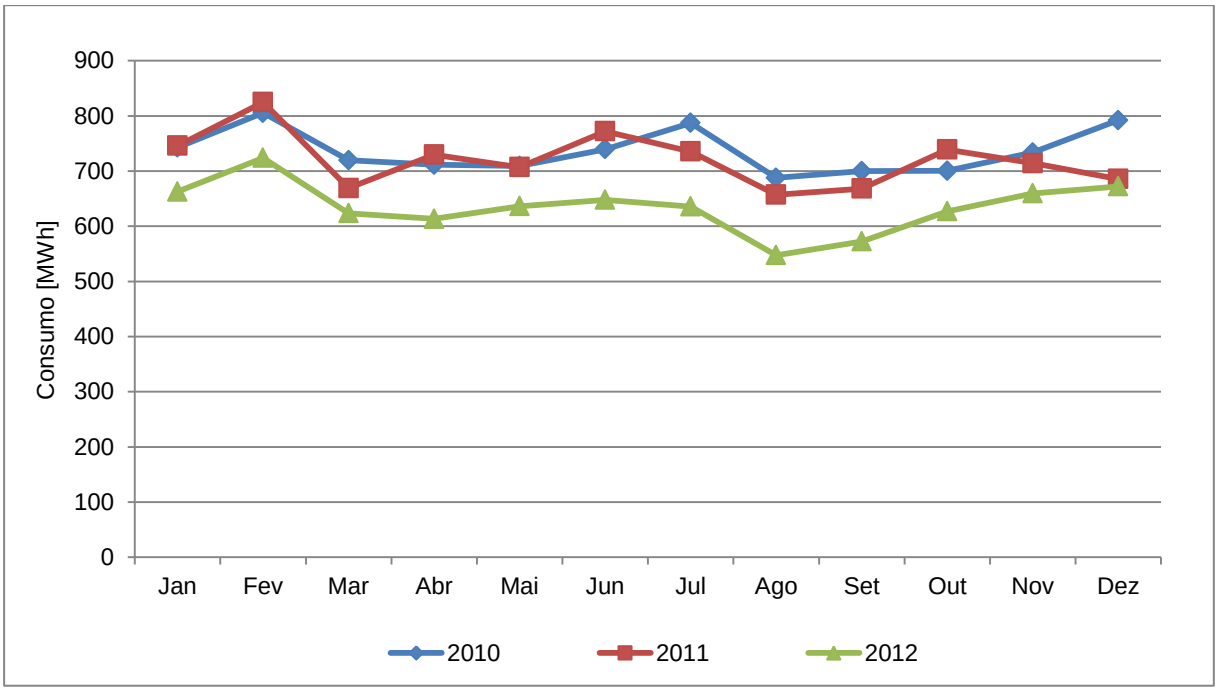


Figura 5.3 - Distribuição mensal de consumo de energia ativa para os anos de 2010, 2011 e 2012

No sentido de perceber se a variação no consumo elétrico está diretamente relacionada com a temperatura que se verificou no respectivo ano, são apresentadas na Figura 5.4 as variações das temperaturas exteriores diárias registadas na estação meteorológica do Monte de Caparica para os anos de 2010, 2011 e 2012.

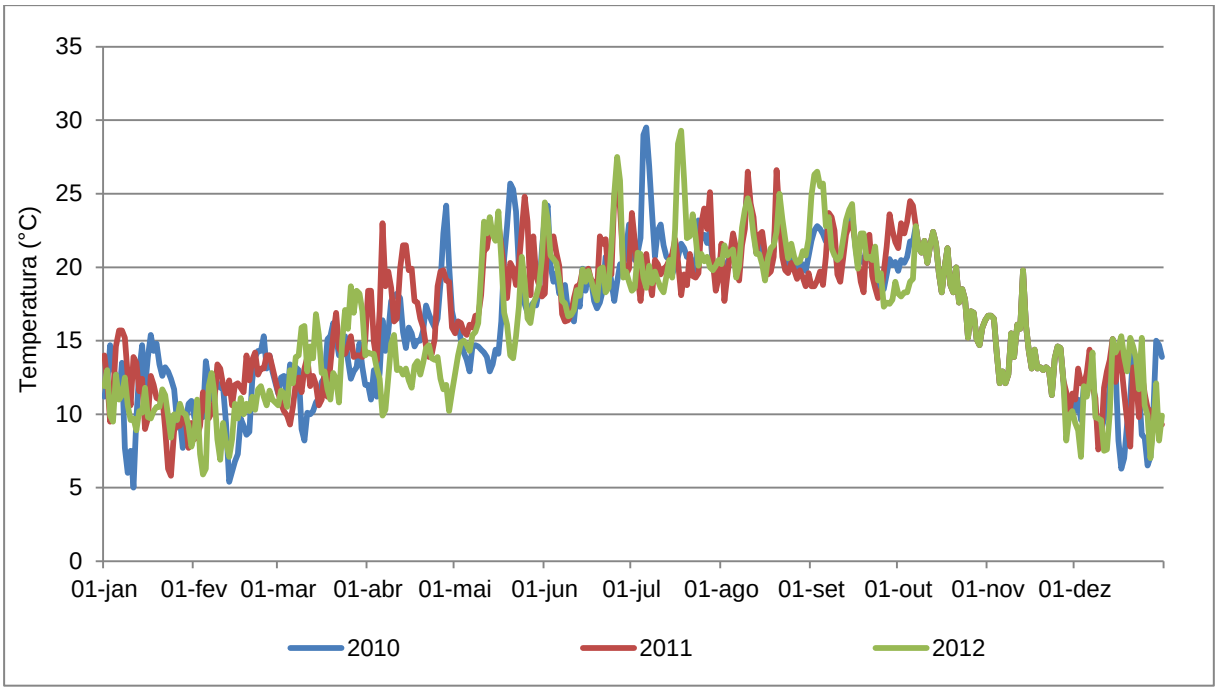


Figura 5.4 - Temperatura média diária nos anos de 2010, 2011 e 2012 (SNIRH, 2013)

Nos meses de Janeiro e Fevereiro as temperaturas em 2012 são no geral inferiores às registadas em 2010 e 2011, verificando-se a tendência até Junho. Na estação quente no entanto, as temperaturas registadas são idênticas nos 3 anos.

Na estação designada fria verifica-se que as temperaturas registadas foram no geral muito baixas, nomeadamente nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, como é possível observar na Tabela 5.4, o que provoca nestes meses a necessidade de utilizar equipamentos de aquecimento, levando ao aumento de consumos. Dezembro e Janeiro registam no entanto consumos inferiores a Fevereiro por se tratarem de meses em que a ocupação dos edifícios não é completa, coincidindo com o período de férias escolares e de exames. Fevereiro não só regista a temperatura mínima, exigindo maior aquecimento, como coincide com o início do semestre par, sendo o mês com consumo mais levado no ano de 2012. Em Março verifica-se um aumento da temperatura mas, apesar de corresponder ainda ao início do semestre par (período de maior atividade), o consumo decresce mantendo-se constante até o mês de Junho.

Na estação designada quente, e a partir do mês de Junho, as temperaturas aumentam refletindo-se no consumo o qual também aumenta devido à necessidade em utilizar equipamentos de arrefecimento. No entanto, é visível o decréscimo do consumo no mês de Agosto, mês correspondente às férias escolares e de menor atividade registada no *Campus*. Com o início de semestre impar, no mês de Setembro, os consumos voltam a aumentar, não só pelo aumento de atividade no local mas também devido ao início da estação fria. A partir de Setembro as temperaturas voltam a baixar voltando a disparar os consumos devido à necessidade de aquecimento dos espaços.

Tabela 5.4 - Temperatura média mensal no ano de 2012 (SNIRH, 2013)

| 2012 | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Temperatura Média (°C) | 10,4 | 9,8 | 14,1 | 12,9 | 17,8 | 20,0 | 20,9 | 21,5 | 21,6 | 18,9 | 13,8 | 11,4 |

Para se perceber se a variação do consumo energético em 2012 (em muito semelhante à variação de 2010 e 2011) está diretamente relacionada com a temperatura que se verificou nesse mesmo ano, foram consideradas as médias diárias da temperatura bem como as temperaturas de conforto consideradas no RCCTE.

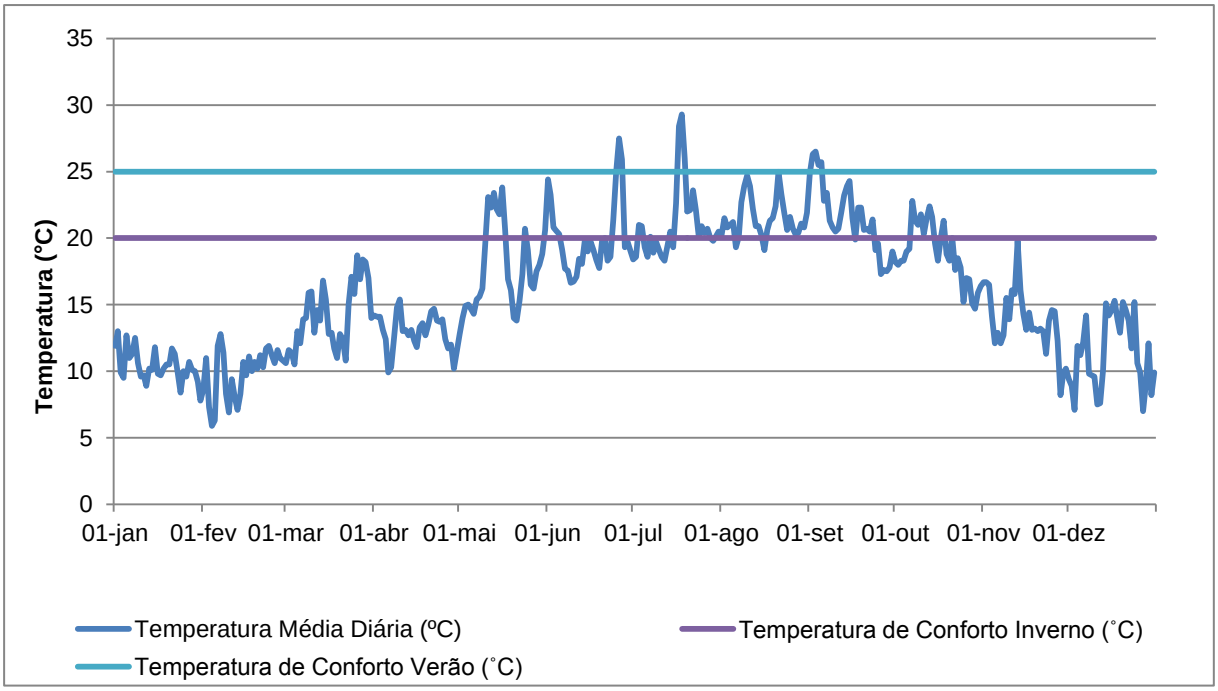


Figura 5.5 - Temperatura média diária no ano de 2012 no Monte de Caparica (SNIRH, 2013)

As temperaturas abaixo e acima das temperaturas de referência poderão estar associadas a maiores consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento dos edifícios. Assim, e analisando a Figura 5.5, podemos observar que mais de metade do ano de 2012 se verificaram temperaturas abaixo da temperatura de conforto de Inverno (20° C) o que justifica as elevadas necessidades de aquecimento visíveis nos consumos na estação fria, por outro lado verificam-se apenas alguns dias acima da temperatura de conforto de Verão (25° C) pelo que não seriam de esperar elevadas necessidades de arrefecimento na estação quente.

Com a finalidade de se perceber quais os maiores consumidores de energia, o consumo total medido na FCT/UNL foi desagregado e efetuou-se uma análise detalhada dos consumos energéticos dos edifícios. Numa fase mais avançada pretende-se desagregar o consumo por área funcional e assim perceber onde se poderá atuar relativamente aos elevados consumos.

Os edifícios com maiores dimensões correspondem a maiores consumos de energia elétrica logo implicam maiores custos para a organização. No entanto, a reduzida dimensão e o baixo consumo não são, por si só, sinónimos de elevada eficiência energética. O consumo por área útil é um indicador que permite comparar a eficiência energética entre edifícios com características distintas.

É importante considerar também o tipo de atividade desenvolvida nos edifícios, sendo normal que os edifícios com maior atividade de investigação laboratorial apresentem maiores consumos de energia comparativamente com outros edifícios.

A Tabela 5.5 apresenta a evolução do consumo de cada edifício nos últimos 3 anos, 2010, 2011 e 2012, assim como a percentagem de consumo de cada um, o consumo por área útil e o custo total correspondente. Nesta análise não são considerados os consumos efetuados pelos clientes instalados em alguns edifícios, pois estes encargos são da sua responsabilidade e não da FCT/UNL.

De uma forma geral é possível verificar um decréscimo dos consumos ao longo dos anos. O edifício III é o maior consumidor por área com um consumo de 247 kWh/m$^2$ e os edifícios, na sua totalidade, custam cerca de 60 % do valor total gasto em eletricidade na FCT/UNL em 2012. É ainda possível verificar que o Edifício Departamental, considerando as suas 2 alas, é o maior consumidor do *Campus* com um consumo, em 2012, de 2,6 GWh e um gasto de 225 882€ (sem IVA). O Edifício Departamental representa cerca de 39,4% da fatura de eletricidade, revelando um elevado potencial de poupança.

Tabela 5.5 - Consumo dos edifícios do *Campus* da FCT/UNL de 2010 a 2012

| Edifício | Consumo (MWh) | | | Consumo (%) | | | Área Útil ($m^2$) | Consumo por área útil ($kWh/m^2$) | | | Custo total (€) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2010 | 2011 | 2012 | | 2010 | 2011 | 2012 | 2010 | 2011 | 2012 |
| **Edifício I** | 802 | 758 | 625 | 9,8 | 9,5 | 9,3 | 5 610 | 143 | 135 | 111 | 61 036 | 59 980 | 53 632 |
| **Edifício II** | 599 | 583 | 514 | 7,3 | 7,3 | 7,7 | 7 128 | 84 | 82 | 72 | 45 541 | 46 163 | 44 094 |
| **Edifício III** | 400 | 328 | 249 | 4,9 | 4,1 | 3,7 | 1 011 | 395 | 324 | 247 | 30 451 | 34 518 | 34 357 |
| **Edifício IV** | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1 636 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| **Edifício V** | 19 | 16 | 11 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 2 223 | 8 | 7 | 5 | 1 425 | 1 278 | 911 |
| **Edifício VI** | 61 | 62 | 42 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 1 053 | 58 | 59 | 40 | 4 637 | 4 913 | 3 576 |
| **Edifício VII** | 428 | 428 | 350 | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 10 503 | 41 | 41 | 33 | 32 590 | 33 858 | 30 037 |
| **Edifício VIII** | 357 | 286 | 171 | 4,3 | 3,6 | 2,5 | 7 154 | 50 | 40 | 24 | 27 133 | 22 580 | 14 582 |
| **Edifício IX** | 466 | 490 | 440 | 5,7 | 6,1 | 6,6 | 6 279 | 74 | 78 | 70 | 35 450 | 38 819 | 37 728 |
| **Edifício X** | 288 | 285 | 274 | 3,5 | 3,6 | 4,1 | 5 358 | 54 | 53 | 51 | 21 918 | 22 599 | 23 544 |
| **Edifício Dep. Química** | 2 068 | 2 169 | 1 910 | 25,1 | 27,1 | 28,6 | 11 135 | 186 | 195 | 172 | 157 443 | 171 696 | 163 904 |
| **Edifício Dep. Ambiente** | 988 | 918 | 723 | 12,0 | 11,5 | 10,8 | 10 705 | 92 | 86 | 68 | 75 209 | 72 717 | 61 978 |
| **Edifício CEA** | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1 522 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| **Biblioteca** | 392 | 366 | 280 | 4,8 | 4,6 | 4,2 | 6 312 | 62 | 58 | 44 | 29 890 | 29 063 | 24 045 |
| **Hangar I** | 55 | 50 | 34 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 607 | 91 | 82 | 55 | 4 185 | 3 949 | 2 876 |
| **Hangar II** | 47 | 41 | 25 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 754 | 63 | 54 | 33 | 3 591 | 3 206 | 2 131 |
| **Hangar III** | 81 | 73 | 75 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 680 | 119 | 107 | 111 | 6 131 | 5 762 | 6 453 |
| **Edifício da Cantina** | 228 | 220 | 183 | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2 715 | 84 | 81 | 67 | 17 377 | 17 398 | 15 676 |
| **CENIMAT** | 185 | 195 | 215 | 2,3 | 2,4 | 3,2 | 1 634 | 113 | 120 | 131 | 14 093 | 15 481 | 18 441 |
| **CEMOP** | 406 | 400 | 397 | 4,9 | 5,0 | 5,9 | 1 700 | 239 | 235 | 234 | 31 011 | 31 759 | 34 135 |
| **UNINOVA** | 90 | 90 | 0 | 1,1 | 1,1 | 0,0 | 1 641 | 55 | 55 | 0 | 6 853 | 7 154 | 0 |
| **Campo de Jogos** | 21 | 14 | 7 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 425 | 50 | 32 | 16 | 1 604 | 1 086 | 597 |
| **Creche** | 8 | 9 | 11 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 221 | 37 | 42 | 51 | 621 | 734 | 962 |
| **Livraria** | 1 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 471 | 3 | 0 | 0 | 93 | 0 | 0 |
| **Iluminação Pública** | 233 | 229 | 152 | 2,8 | 2,9 | 2,3 | 9 000 | 26 | 25 | 17 | 17 721 | 18 109 | 13 010 |
| **Total** | **8 224** | **8 011** | **6 687** | **100** | **100** | **100** | **97 476** | **2 126** | **1 992** | **1 652** | **626 001** | **642 820** | **586 670** |

Nota: n.d. – não definido

## 5.2. Consumo de energia no Edifício Departamental

Para se perceber com maior detalhe como e onde se consumiu energia no Edifício Departamental, foi feita uma análise detalhada dos consumos e do funcionamento dos espaços.

Dividido em 2 alas, Ala Ambiente e Ala Química, este edifício possui 2 contadores de consumo elétrico, um para cada ala. Em 2012, o consumo anual na Ala Ambiente foi de 0,723 GWh e o na Ala Química de 1,9 GWh, totalizando um consumo de 2,6 GWh em energia ativa e um custo total em fatura de 225 882€ (sem IVA).

A Figura 5.6 apresenta o gráfico da variação de consumo elétrico nas Alas de Química e Ambiente e para o total do Edifício Departamental, sendo possível perceber de imediato que ambas as alas têm um consumo de energia elétrica semelhante ao longo do ano.

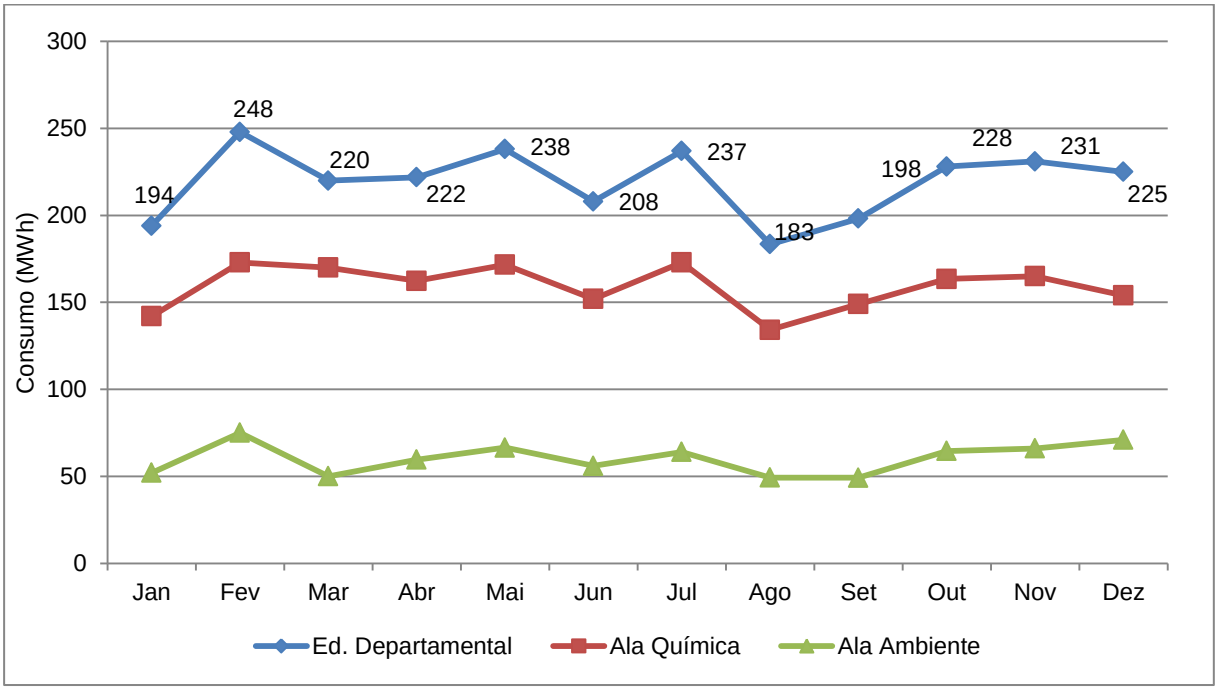


Figura 5.6 - Consumo de energia elétrica no Edifício Departamental no ano de 2012

O edifício apresentou um consumo elevado nos meses de Fevereiro, Maio e Julho. Em Fevereiro e Julho os consumos poderão estar relacionados com a utilização de equipamentos de ar condicionado, face às temperaturas verificadas no respetivo mês. Em Maio os consumos poderão estar relacionados com a maior intensidade de utilização de equipamentos de laboratório.

Na Tabela 5.6 e 5.7 são apresentados os consumos medidos através dos contadores do edifício, Ala Ambiente e Ala Química respetivamente, e o consumo estimado, bem como os erros associados às estimativas realizadas.

Tabela 5.6 - Erro associado às estimativas para o Edifício Departamental Ala Ambiente em 2012

| Ala Ambiente | |
|---|---|
| Consumo estimado (MWh) | 713 |
| Consumo medido (MWh) | 723 |
| Erro associado (%) | 1,4 |

Tabela 5.7 - Erro associado às estimativas para o Edifício Departamental Ala Química em 2012

| Ala Química | |
|---|---|
| Consumo estimado (MWh) | 1874 |
| Consumo medido (MWh) | 1910 |
| Erro associado (%) | 1,8 |

Os erros associados às estimativas realizadas para as Alas Ambiente e Química foram respetivamente 1,4 % e 1,8 %. Apurados os erros associados às medições, os valores estimados foram corrigidos, distribuindo aquele valor por tipologia ou atividade com mais expressão no edifício. Assim, o consumo estimado de 713 MWh em 2012 para a Ala Ambiente foi corrigido e é apresentado na Tabela 5.8, em função da área de atividade e do tipo de equipamento instalado.

Tabela 5.8 - Consumo elétrico corrigido no Edifício Departamental Ala Ambiente para 2012

| Utilização de Energia | Consumo Elétrico Corrigido (MWh) | | | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Iluminação | Climatização | Equipamento Informático | Equipamento Laboratório | Hotes | Equipamento Frio | |
| Laboratórios | 100 | 17 | 13 | 184 | 23 | 124 | 461 |
| Gabinetes | 38 | 68 | 18 | 0 | 0 | 0 | 124 |
| Salas de Aulas | 10 | 18 | 10 | 0 | 0 | 0 | 38 |
| Secretarias | 5 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| Zonas de Circulação | 78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 |
| Zonas Comuns | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **Total** | **238** | **109** | **45** | **184** | **23** | **124** | **723** |

O consumo estimado de 1874 MWh em 2012 para a Ala Química foi corrigido e é apresentado na Tabela 5.9, em função da área de atividade e do tipo de equipamento instalado.

Tabela 5.9 - Consumo elétrico corrigido no Edifício Departamental Ala Química para 2012

| Utilização de Energia | Consumo Elétrico Corrigido (MWh) | | | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Iluminação | Climatização | Equipamento Informático | Equipamento Laboratório | Hotes | Equipamento Frio | |
| Laboratórios | 124 | 48 | 30 | 636 | 533 | 198 | 1569 |
| Gabinetes | 28 | 71 | 75 | 0 | 0 | 0 | 174 |
| Salas de Aulas | 24 | 22 | 21 | 0 | 0 | 0 | 67 |
| Secretarias | 4 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| Zonas de Circulação | 70 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 80 |
| Zonas Comuns | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **Total** | **257** | **148** | **138** | **636** | **533** | **198** | **1910** |

Comparando as estimativas realizadas, observa-se que o consumo nos laboratórios da Ala de Química é superior em relação à Ala Ambiente. O número total de laboratórios é superior na Ala de Química, nos quais é possível encontrar elevado número de equipamentos elétricos e de refrigeração, na sua maioria em funcionamento 24 horas por dia. Devido ao tipo de atividade desenvolvida nestes laboratórios existe ainda um elevado número de hotes, que efectuam a extração de ar contaminado. A maioria ventila armários de reagentes sendo necessário o seu funcionamento em contínuo.

Apesar de o número de gabinetes ser mais elevado na Ala de Ambiente, o que justifica o maior consumo em iluminação, são na sua maioria gabinetes individuais ao contrário da Ala de Química onde os gabinetes são partilhados muitas vezes entre 2 e 3 pessoas o que justifica o elevado consumo de equipamentos informático.

O consumo energético associado às salas de aulas é maior na Ala de Química. É importante perceber que esta Ala tem maior número de salas de aulas que a Ala de Ambiente, justificando a diferença de consumos.

O consumo associado às secretarias é muito semelhante em ambas as Alas, no entanto, na Ala de Ambiente existem 4 Departamentos, cada um com pelo menos uma secretaria, existindo diferença no consumo de equipamento informático.

Nas zonas de circulação o consumo de iluminação é superior na Ala de Ambiente pois existem mais halls e escadas de acesso aos pisos, aumentado o consumo. Destaca-se o consumo de equipamento informático na Ala de Química, devido ao elevado número de computadores portáteis ligados no grande hall de entrada a norte do edifício, local de estudo para muitos alunos.

Os erros associados às estimativas são relativamente baixos, devem-se principalmente ao erro de leitura do analisador associado e à extrapolação de dados para o consumo dos espaços não auditados.

A percentagem de consumo por tipo de atividade pode ser analisada através das Figuras 5.7 e 5.8.

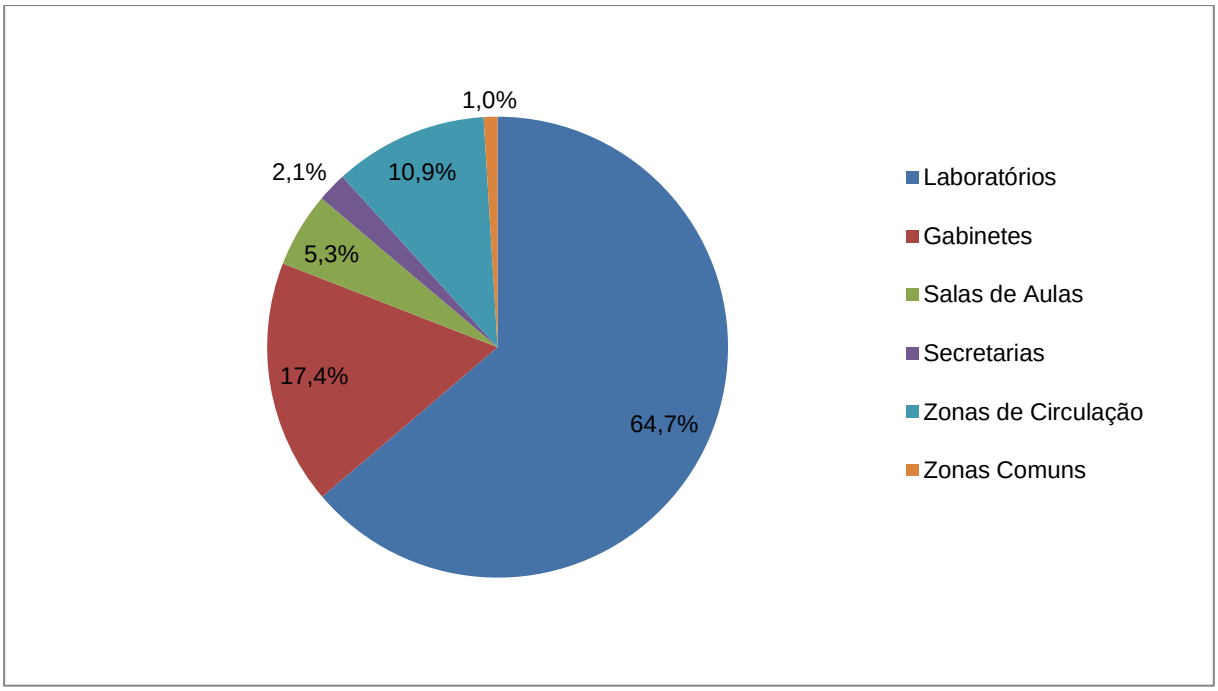


Figura 5.7 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Ambiente por tipo de atividade em 2012

Na Ala Ambiente a maior percentagem de consumo energético provém dos laboratórios, representando 64,7% do consumo total. Este consumo está associado ao elevado número de equipamentos laboratoriais em funcionamento e aos equipamentos de refrigeração em regime continuo. Apesar de a maioria dos laboratórios nesta ala ser utilizado para a prática de ensino, no ano de 2012, verificou-se um aumento do número de laboratórios de investigação, comparativamente aos anos anteriores, resultante da estratégia da FCT.

Os gabinetes têm igualmente peso no consumo total do edifício, representando 17,4%, devido ao seu elevado número. Contribuem para o elevado consumo principalmente devido à iluminação, muitas vezes utilizada em detrimento da iluminação natural, e devido à incorreta utilização do ar condicionado, na sua maioria do tipo *split*.

As zonas de circulação, com 10,9% do consumo, refletem a excessiva potência instalada em iluminação, a qual permanece ligada 24 horas por dia. É importante relembrar que no início de 2012 foi implementada a campanha de poupança de energia onde se efetuou um corte de 70% da iluminação nas zonas de circulação.

Estes dados podem ser comparados com as estimativas realizadas para a Ala de Química, representados na Figura 5.8.

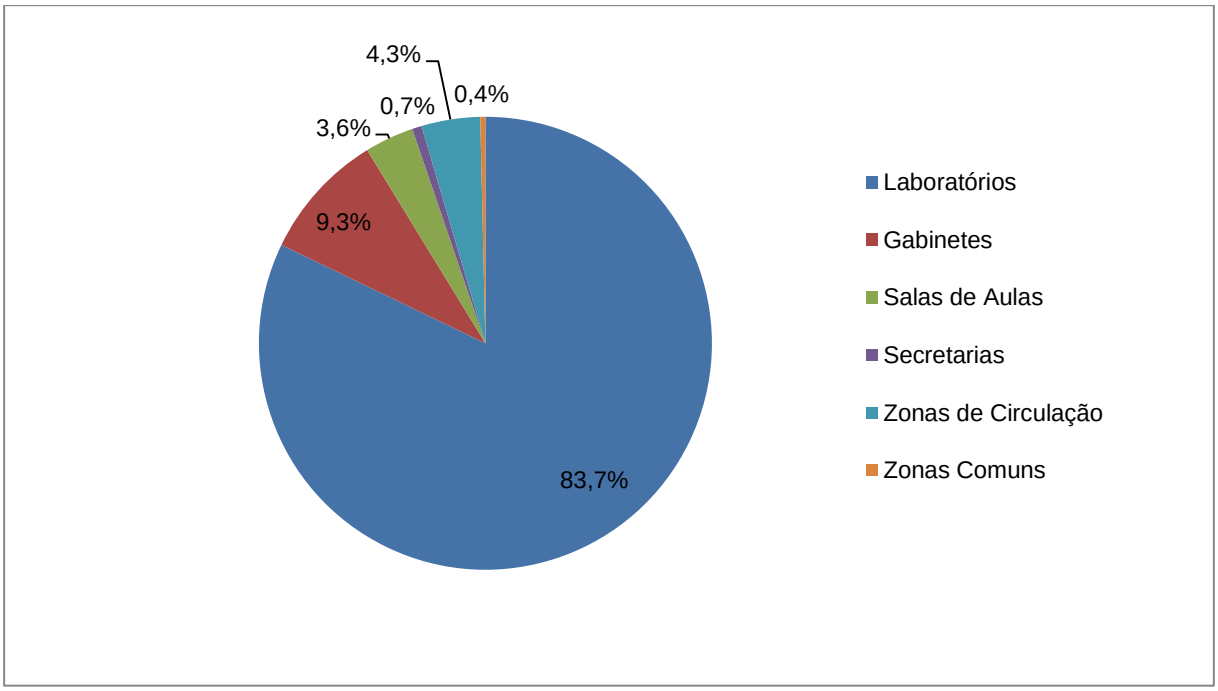


Figura 5.8 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Química por tipo de atividade em 2012

Na Ala Química, e como seria de esperar, os laboratórios assumem grande importância no consumo total do edifício. Estes representam 83,7% do consumo energético feito em 2012, justificados pela quantidade de laboratórios existentes e pelos equipamentos neles instalados.

Os gabinetes representam 9,3% do consumo, seguido das zonas de circulação com 4,3% que expressam os elevados consumos da iluminação e de computadores portáteis dos alunos.

Foram realizadas estimativas por tipo de equipamento nas duas alas para se perceber de que forma a energia foi despendida no ano de 2012.

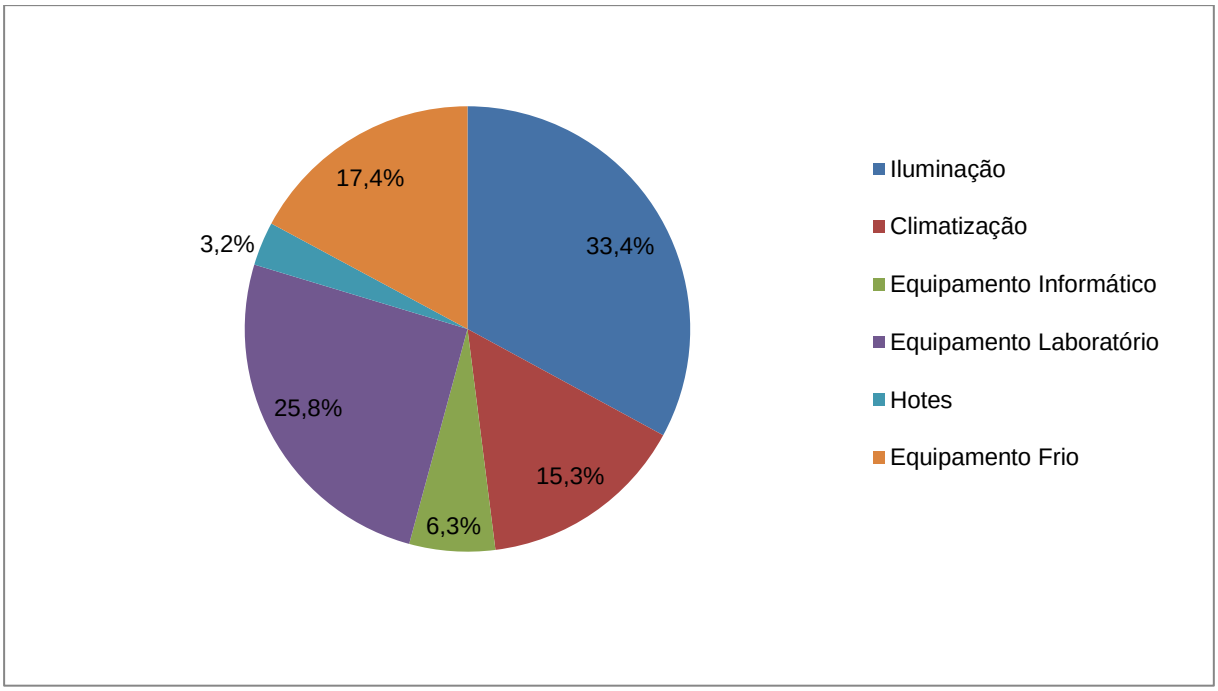


Figura 5.9 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Ambiente por tipo de equipamento em 2012

Na Ala de Ambiente a iluminação apresenta-se como o grande consumidor de energia elétrica. A percentagem de consumo apresentada, 33,4%, revela que o edifício foi mal concebido e não dispõe de boas entradas de luz natural sendo necessário recorrer à iluminação artificial, em muitos pontos utilizada de forma excessiva e incorreta.

Os equipamentos de laboratório, como seria de esperar, têm um peso significativo no consumo de energia elétrica, com um peso de 25,8%.

Os equipamentos de frio instalados nos laboratórios, frigoríficos, congeladores, arcas representam 17,4% do consumo.

Estas percentagens de consumo de energia elétrica por equipamento podem ser comparadas com as estimativas para a Ala de Química, tal como indicado pela Figura 5.10.

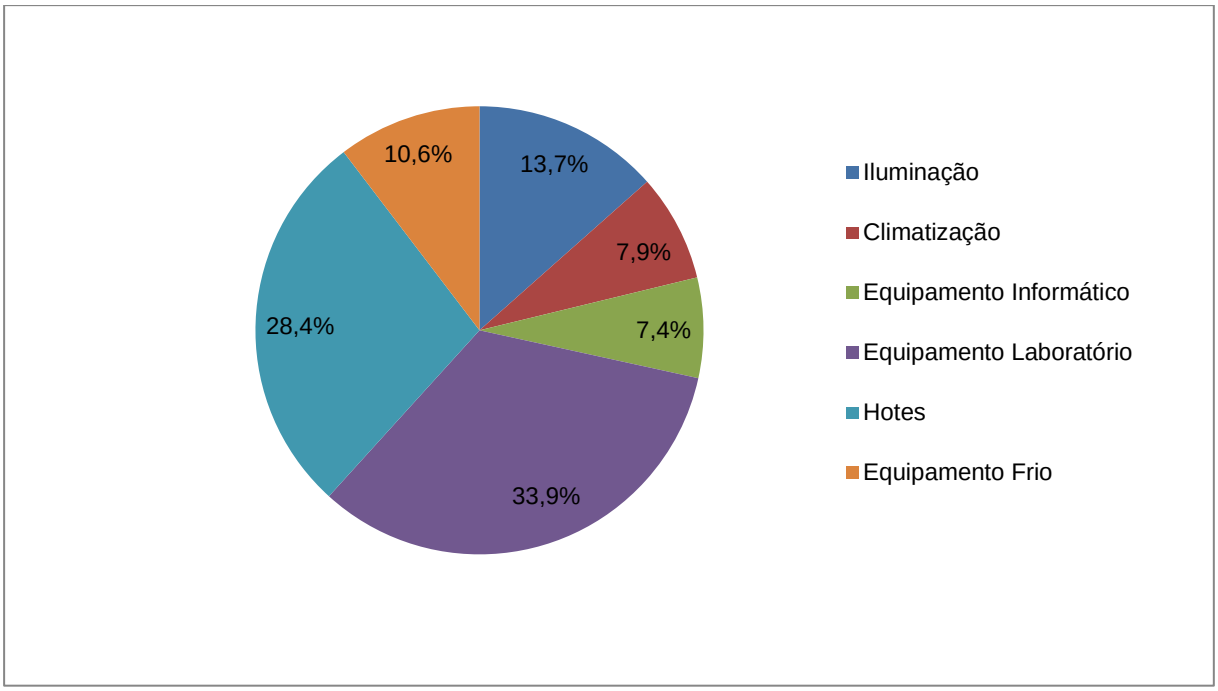


Figura 5.10 - Percentagem de consumo de energia elétrica na Ala Química por equipamento em 2012

Neste caso são os equipamentos de laboratório os maiores responsáveis pelo consumo energético do edifício, tal como já se esperava, representando 33,9% do consumo total em 2012. Como existe maior número de laboratórios existe também maior número de equipamentos ligados que justificam o seu maior consumo.

Nestes mesmos laboratórios, e devido ao tipo de atividade desenvolvida nos laboratórios de química, aparecem as hotes como os equipamentos que mais consomem na Ala de Química, representando 28,4% do consumo total. As hotes, utilizadas para extrair o ar contaminado, funcionam elevado número de horas por dia, sendo que algumas permanecem em funcionamento continuo.

A iluminação tem grande expressão no consumo total de energia na Ala de Química, com uma percentagem de 13,7%. Embora represente menor percentagem, quando comparado com a Ala Ambiente, é importante perceber a origem de consumos tão avultados, especialmente depois de redução de 70% de iluminação nas zonas de circulação.

O equipamento de frio, associado à atividade laboratorial, aparece com um consumo de 10,6% refletindo o já referido elevado número de laboratórios de atividade intensa de investigação.

## 5.3. Análise da fatura energética

A análise de faturas é um dos passos mais importantes pois permite perceber detalhadamente as componentes que estão a ser taxadas, o respetivo peso no gasto energético total, e qual o consumo total do período a que se refere a fatura.

*Componentes faturados mensalmente*

Na Figura 5.11 é possível observar que do total faturado em 2012, apenas 81,3% reflete o consumo efetivo e cerca de 19% dos gastos são com o IVA. O IVA aumentou de 6 % para 23 % em Outubro de

2011, um aumento de mais do triplo, pelo que passou a ter um peso significativo na fatura energética a partir desse ano. Neste sentido, e sendo o IVA uma parcela fixa na faturação, verifica-se a necessidade de perceber a distribuição e o peso das restantes parcelas taxadas de faturação variável.

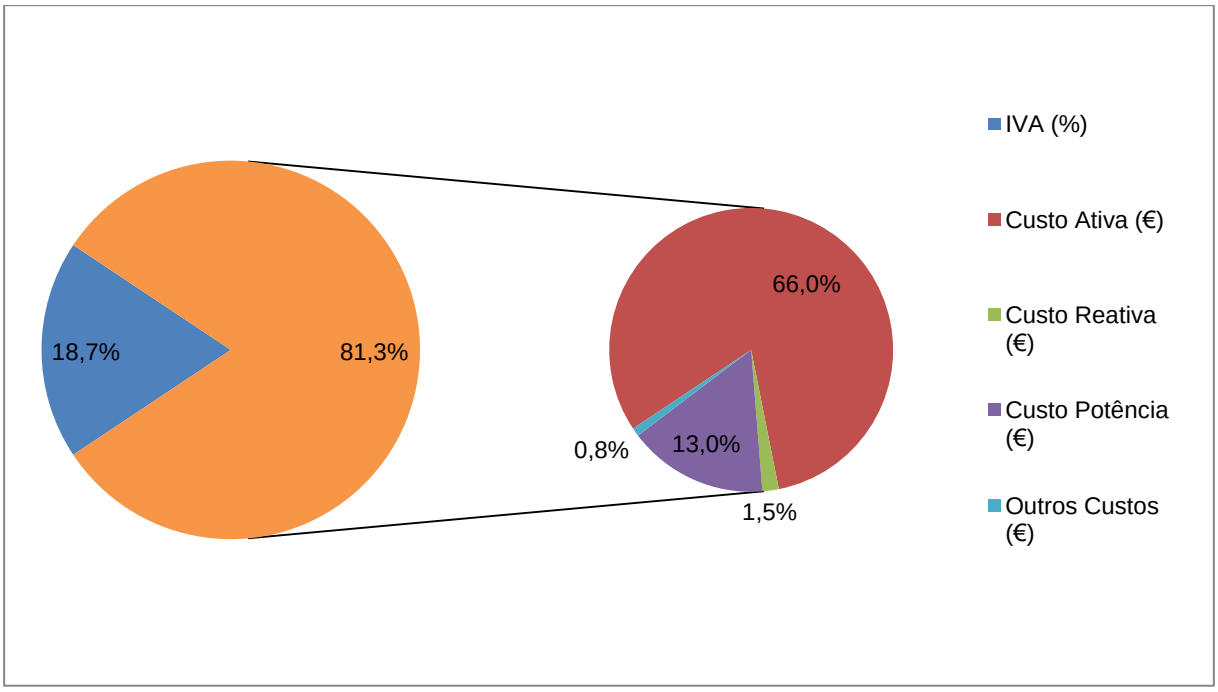


Figura 5.11 - Peso dos custos associados ao consumo de energia elétrica na FCT/UNL em 2012

Assim, é possível verificar que do valor total faturado, 81,3 % que correspondem ao consumo efetivo, 66 % corresponde ao custo da energia ativa, 13 % ao custo da potência contratada e apenas 1,5 % ao custo da energia reativa. Desta análise é possível verificar que o custo da potência tem um peso significativo na fatura elétrica ao contrário da energia reativa que tem pouca expressão no valor faturado como seria de esperar.

É importante perceber de que forma se comporta, ao longo do ano, cada componente taxada na fatura elétrica, pelo que será feita uma análise detalhada da energia ativa e do respetivo diagrama de carga, da energia reativa e da interferência do fator de potência na taxação desta componente e uma análise da potência contratada e da potência de horas de ponta influenciadas diretamente pelo consumo da energia ativa.

*Energia ativa*

Verifica-se um decréscimo no consumo de energia elétrica total na FCT/UNL desde o ano de 2010, sendo que este decréscimo se verifica mais acentuado de 2011 para 2012 como já tinha sido referido, relacionado com a companha de poupança. A Tabela 5.10 mostra os consumos de energia elétrica medidos nos respetivos anos.

Tabela 5.10 - Consumo anual de energia ativa na FCT/UNL

| Ano | Energia Ativa [GWh] |
|---|---|
| 2010 | 8,8 |
| 2011 | 8,6 |
| 2012 | 7,6 |

O período horário é tetra-horário repartido em horas de ponta, horas de cheias, vazio e supervazio. Na Figura 5.12 é apresentada a distribuição do consumo pelos 4 períodos de taxação no ano de 2012.

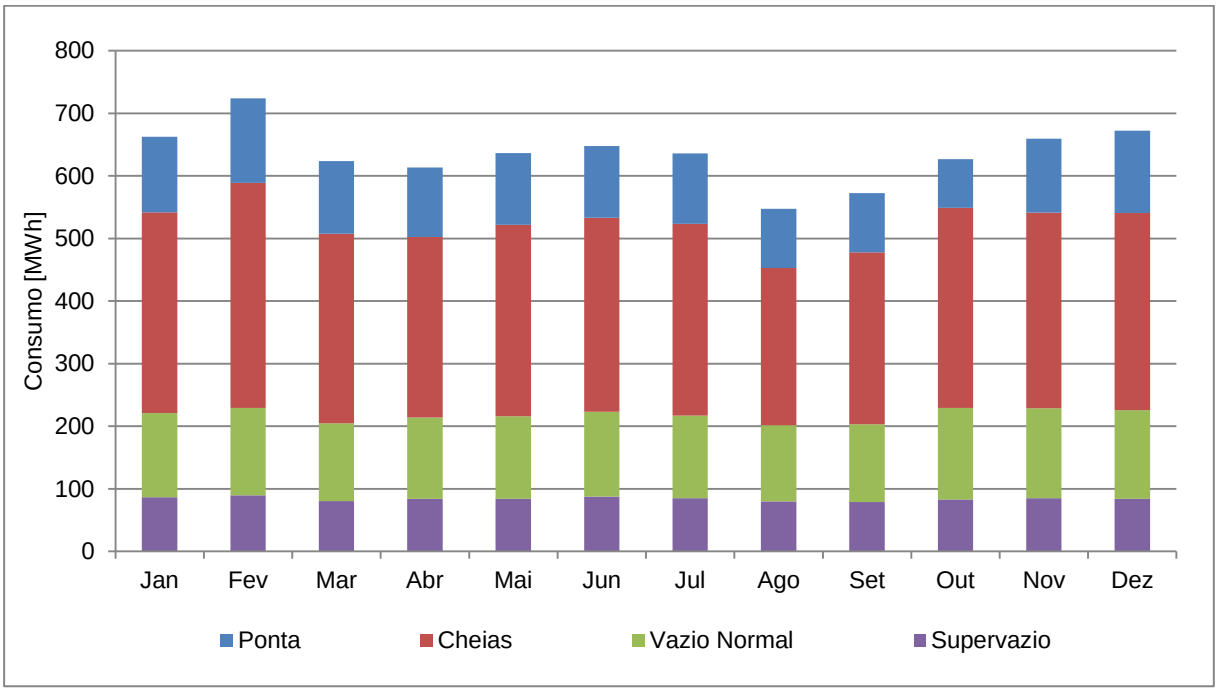


Figura 5.12 - Consumo total detalhado por horas de taxação em 2012

É evidente que o maior consumo é realizado nas horas de cheias, seguido de algum consumo nas horas de ponta e nas horas de vazio. Na Figura 5.13 é possível observar, no ano de 2012, a distribuição dos consumos pelos diferentes períodos horários (ponta, cheia, vazio e supervazio) e o respetivo peso na fatura. Facilmente se percebe o elevado preço do kWh nas horas de ponta, representando 26% da fatura elétrica, quando o consumo neste horário representa apenas 18% do total.

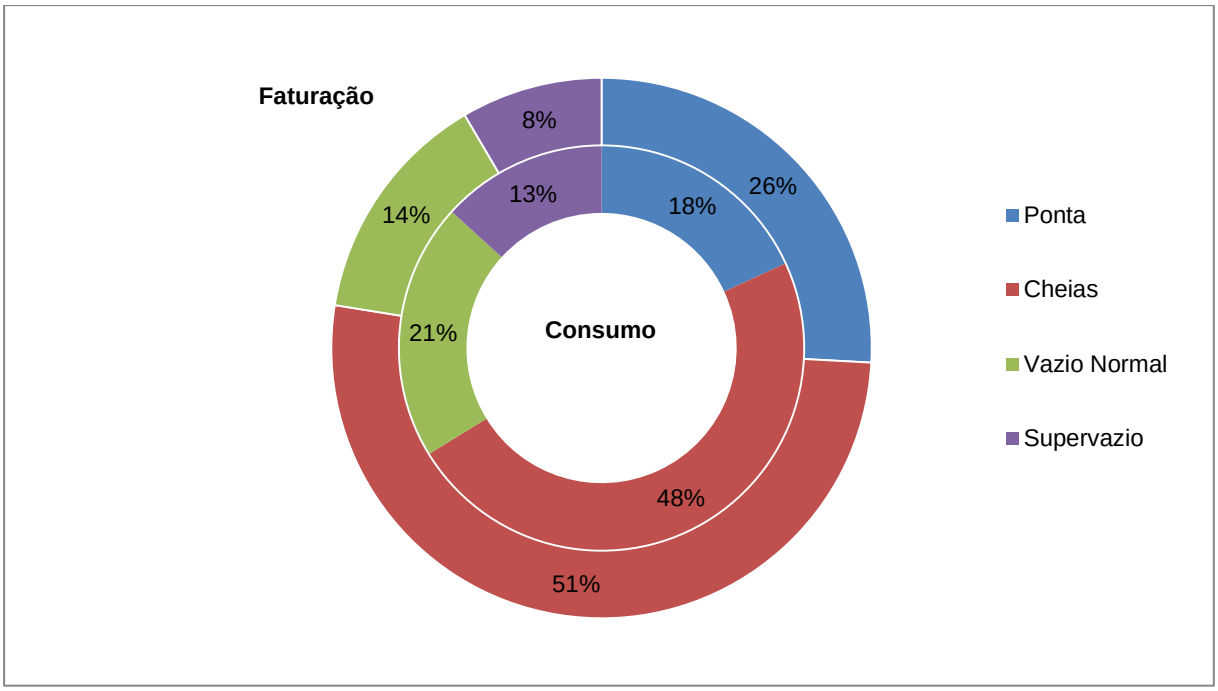


Figura 5.13 - Distribuição do consumo anual e respetiva fatura pelos períodos horários para 2012

As horas de ponta, tarifadas apenas em dias úteis, referem-se ao período da manhã entre as 09:00 e as 12:00 e no período da tarde, e de Inverno, das 18:30 às 21:00. Movendo estes consumos nestes períodos do dia para outros períodos de tarifa mais baixa poderia levar a uma poupança significativa na fatura elétrica final.

Analisando a Figura 5.14, que apresenta o diagrama de carga no ano de 2012, rapidamente se percebe a distribuição do consumo ao longo do dia. Verifica-se que a atividade no *Campus* inicia por volta das 07:00 da manhã aumentado a cada hora, até atingir o seu pico por volta das 11:00, mantendo-se no pico até às 13:00. Este pico representa não só o período de maior atividade na zona, como o período correspondente à hora do almoço, período em que os equipamentos elétricos (cozinhas e bares) estão todos a funcionar. Ao longo da tarde o consumo vai decrescendo, e partir das 18:00 observa-se um decréscimo mais acentuado do consumo até por volta das 21:00, período em que grande parte das atividades cessa. É ainda possível observar um consumo base de cerca de 85 MWh, este consumo representa todos os equipamentos que pelas mais diversas razões ficam ligados durante o período da noite, tal como equipamentos de laboratório, iluminação das zonas de circulação. Destaca-se ainda o mês de Janeiro como o mês de maior consumo no ano de 2012, por coincidir com a estação fria onde se exige maior necessidade de aquecimento obrigando o funcionamento de equipamentos para aquecimento. Destaca-se ainda o mês de Agosto como mês de baixos consumos, por ser o mês de férias de acordo com o calendário escolar.

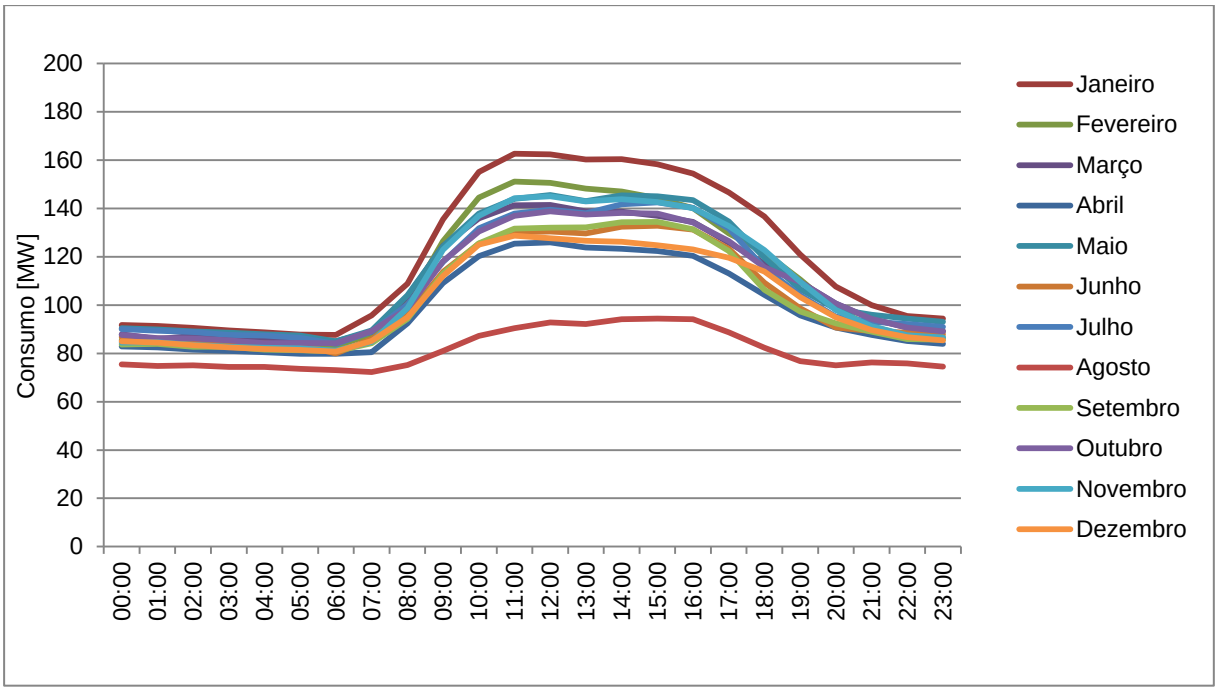


Figura 5.14 - Diagrama de carga mensal para o ano de 2012

Se conseguíssemos mover toda a atividade laboral mais pesada para o período da tarde, entre as 12:00 e as 18:00, altura do dia em que o consumo é tarifado em período de cheia, sensivelmente mais barato que a ponta, seria possível observar reduções no total da fatura energética.

*Energia reativa*

A Tabela 5.11 mostra os consumos de energia reativa medidos nos respetivos anos. Verifica-se um aumento no consumo total de energia reativa na FCT/UNL desde o ano de 2010, sendo este aumento mais acentuado de 2011 para 2012.

Tabela 5.11 - Consumo anual de energia reativa na FCT/UNL

| Ano | Energia Reativa [GVArh] |
|---|---|
| 2010 | 0,710 |
| 2011 | 0,727 |
| 2012 | 0,906 |

Na Figura 5.15 é apresentado o comportamento mensal do consumo de energia reativa nos anos de 2010, 2011 e 2012.

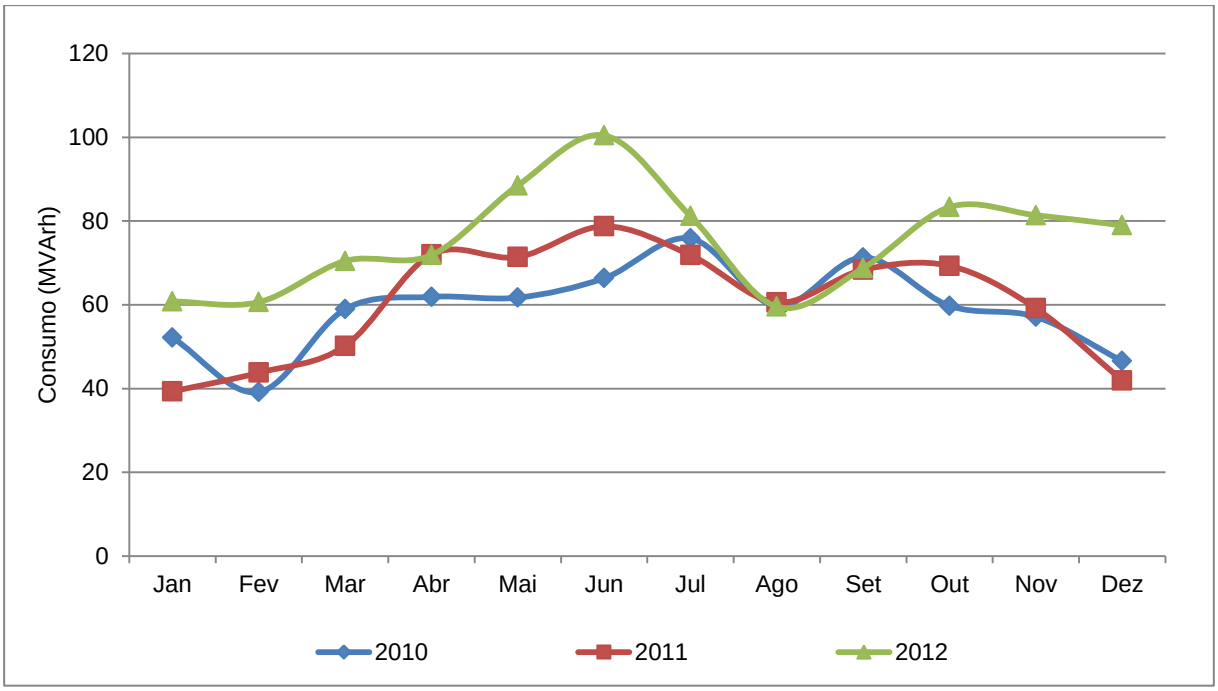


Figura 5.15 - Consumo mensal de energia reativa na FCT/UNL no ano de 2010, 2011 e 2012

É visível o aumento do consumo de energia reativa no primeiro semestre do ano atingindo o pico de consumo no mês de Junho, mais destacado no ano de 2012. O menor consumo é registado no mês de Agosto, mês coincidente com as férias escolares e em que o funcionamento de todos os equipamentos diminui consideravelmente.

Com já foi referido, em 2012 foi implementada a campanha de poupança de energia onde se desligou cerca de 50 % de iluminação em laboratórios e 70 % de iluminação em zonas de circulação. A iluminação, do tipo fluorescente e com balastros associados, contribui largamente para o aumento de energia reativa. Neste sentido, e tendo sido a campanha aplicada a todos os edifícios da FCT, deveria ter existido uma diminuição no consumo de energia reativa.

No entanto, no ano de 2012, os sistemas AVAC centralizados, nomeadamente os chillers, sofreram uma forte manutenção e o seu funcionamento foi reposto em pleno. Associados aos sistemas centralizados de refrigeração existem bombas de circulação e motores que contribuem para o aumento de energia reativa.

A energia reativa está intrinsecamente relacionada com o fator de potência (FP), sendo este o quociente entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S), (FP= P/S). O fator de potência é um indicador da qualidade da energia consumida, nomeadamente de energia reativa. Quando o fator de potência é igual a zero (0), o fluxo de energia é inteiramente reativo, e a energia armazenada é devolvida totalmente à fonte em cada ciclo. Quando o fator de potência é 1, toda a energia fornecida pela fonte é consumida pela carga.

Na Figura 5.16 é possível observar a variação do fator de potência ao longo do respetivo ano. Verifica-se no geral, para os 3 anos, um aumento do fator de potência no mês de Fevereiro seguido

de acentuado decréscimo até ao mês de Junho, não voltando a recuperar totalmente até ao final do ano. Em 2010 verifica-se uma forte degradação do fator de potência no mês de Junho. Os valores voltam a subir a partir de Julho até Dezembro. Em 2012 observa-se uma melhoria significativa no fator de potência encontrando-se sempre igual ou superior a 0,90, existindo apenas uma ligeira degradação no mês de Junho onde baixa para os 0,88.

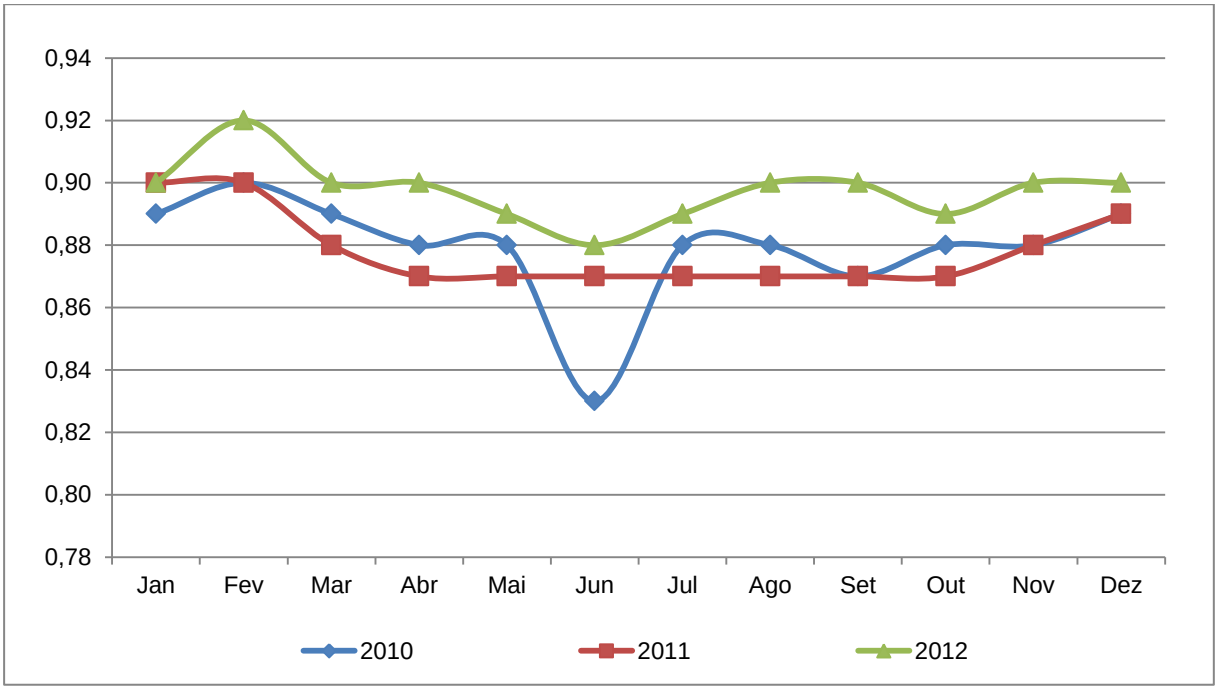


Figura 5.16 - Variação mensal do fator de potência na FCT/UNL para 2010, 2011 e 2012

De uma forma geral, comparando a Figura 5.15 com a Figura 5.16 é possível observar que com o aumento do consumo em energia reativa o fator de potência automaticamente sofre uma degradação. O aumento da atividade no *Campus* leva ao aumento do consumo de energia ativa, reflexo do aumento de equipamentos em funcionamento. Com o aumento do número de equipamentos em funcionamento aumenta o consumo de energia reativa o que leva à degradação do fator de potência.

*Potência*

Potência contratada é designada como sendo a potência á disposição do cliente, isto é, corresponde à máxima potência ativa média, em kW, registada nos últimos 12 meses. Por sua vez, a potência de horas de ponta é o quociente entre a energia ativa fornecida em horas de ponta e o número de horas de ponta para o período de tempo a que a fatura respeita.

Na Figura 5.17 é possível perceber que em 2010 a potência contratada se manteve nos 2 220 kW todo o ano, e que em 2011 sofreu um ligeiro decréscimo mantendo-se nos 2 192 kW.

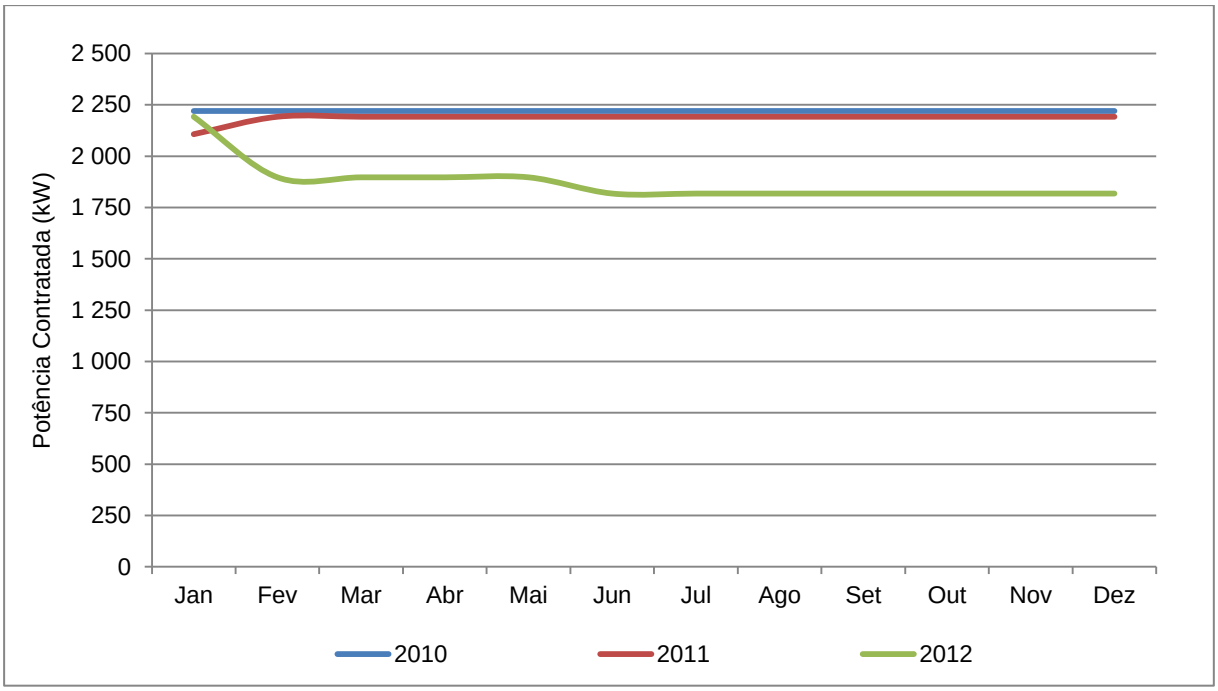


Figura 5.17 - Variação mensal da potência contratada na FCT/UNL em 2010, 2011 e 2012

Com a diminuição do consumo em energia ativa, a exigência em potência diminui de forma proporcional apesar de apenas ser atualizada de 12 em 12 meses, assim é notório a diminuição da potência contratada no ano de 2012.

## 5.4. Índice de eficiência energética

Foi definido um indicador de eficiência energética que permite comparar o desempenho energético do Edifício Departamental com outros edifícios. Na Tabela 5.12 são apresentados os resultados obtidos de acordo com o consumo e o custo elétrico anual por utente e por área útil do edifício.

Tabela 5.12 - Índice de eficiência energética para o Edifício Departamental

| Edifício | Ala Ambiente | Ala Química |
|---|---|---|
| Número de Utentes por ano | 1 108 | 1 232 |
| Área Útil ($m^2$) | 10 705 | 11 135 |
| Consumo Elétrico Anual (kWh/ano) | 722 598 | 1 910 246 |
| Custo Elétrico Anual (€/ano) | 61 978 | 163 904 |
| Consumo Elétrico por Utente (kWh/utente/ano) | 652 | 1 551 |
| Consumo Elétrico por Área Útil (kWh/$m^2$/ano | 68 | 172 |
| Custo Elétrico por Utente (€/utente/ano) | 56 | 133 |
| Custo Elétrico por Área Útil (€/$m^2$/ano) | 6 | 15 |

Os utentes considerados foram apenas os funcionários dada a impossibilidade de contabilizar o número de alunos que em média ocupa o edifício. Assim, o consumo elétrico por utente poderá não

reflectir a realidade, induzindo em erro. Caso o número de utentes se aproxime da realidade os valores de consumo elétrico por utente revelam um edifício com baixa eficiência energética, tendo em conta que o consumo, na Ala de Química, é de 1,5 MWh por utente num ano.

Dos índices calculados podemos observar que a Ala de Química, comparativamente à Ala de Ambiente, possui um consumo por área superior o que eleva o custo por metro quadrado.

Foi ainda criado um indicador de eficiência energética que permite comparar o desempenho energético por tipologia de espaço. Na Tabela 5.13 são apresentados os resultados obtidos, para a Ala de Ambiente, de acordo com as medições efetuadas para cada espaço.

Tabela 5.13 - Índice de eficiência energética por tipologia de espaço no Edifício Departamental

| Ala Ambiente | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tipologia de Espaço** | **Consumo Médio (kWh/dia)** | **Área Média ($m^2$)** | **Consumo (kWh/dia/$m^2$)** | **Consumo (kWh/ano/$m^2$)** | **Custo (€/ano/$m^2$)** |
| Laboratório | 44,80 | 60,00 | 0,75 | 272,53 | 26,87 |
| Gabinete | 4,54 | 14,72 | 0,31 | 112,57 | 11,10 |
| Secretaria | 6,27 | 15,00 | 0,42 | 152,57 | 15,04 |
| Sala de Aulas/Reunião/Estudo | 15,61 | 43,95 | 0,36 | 129,64 | 12,78 |

No geral, os espaços na Ala de Ambiente revelam consumos e custos mais baixos comparativamente aos da Ala de Química representados na Figura 5.14.

Tabela 5.14 - Índice de eficiência energética por tipologia de espaço no Edifício Departamental

| Ala Química | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Tipologia de Espaço** | **Consumo Médio (kWh/dia)** | **Área Média ($m^2$)** | **Consumo (kWh/$m^2$/dia)** | **Consumo (kWh/$m^2$/ano)** | **Custo (€/$m^2$/ano)** |
| Laboratório | 67,41 | 52,73 | 1,28 | 466,62 | 46,01 |
| Gabinete | 7,82 | 15,08 | 0,52 | 189,28 | 18,66 |
| Secretaria | 7,99 | 17,57 | 0,45 | 165,98 | 16,37 |
| Sala de Aulas/Reunião/Estudo | 13,22 | 59,80 | 0,22 | 80,69 | 7,96 |

Na Ala Ambiente os laboratórios são maioritariamente dedicados às biociências, de atividade inferior, que se reflete no baixo consumo por metro quadrado. Os gabinetes, de área útil inferior e de ocupação individual, têm um consumo mais baixo comparativamente aos gabinetes da Ala de Química de áreas mais elevadas e na sua maioria ocupados por 2 pessoas.

Estando a atividade laboratorial de investigação concentrada na Ala de Química verifica-se que o custo por metro quadrado de laboratório é significativamente mais elevado, logo mais dispendiosos. Os gabinetes revelam também maior consumo e o que eleva o custo por área.

Por comparação com os índices de eficiência energética do HEEPI (Tabela 2.2) verificamos que os laboratórios de biociências obtêm a classificação Bom situando-se dentro do alcance. Já os laboratórios de química revelam índices de eficiência energética muito abaixo dos considerados normais para a tipologia e tipo de atividade desenvolvida, saindo mesmo fora do valor máximo admitido de 408 kWh/m$^2$/ano. Os gabinetes, em ambas as Alas, não são considerados eficientes apesar de se situarem dentro do alcance para a tipologia em causa.

Já quando comparados com os índices da Imperial College of London (Tabela 2.3) os consumos laboratoriais ficam muito abaixo do considerado eficiente. Apenas os gabinetes na Ala Ambiente se situam nos níveis considerados ótimos. Relativamente às salas de aulas, verifica-se que estas são mais eficientes na Ala de Química encontrando-se abaixo do valor de 119 kWh/m$^2$/ano.

## 5.5. Comportamento para a eficiência energética

É feito diariamente um registo das ocorrências relacionadas com o comportamento dos utilizadores dos edifícios do *Campus* da FCT/UNL por forma a identificar situações recorrentes e que necessitem de intervenção. Assim, foi possível apurar o número e o tipo de ocorrências por edifício e por departamento, e identificar os espaços com ocorrências recorrentes em 2012.

Tabela 5.15 - Tabela representativa do número e tipo de ocorrências por edifício em 2012

| Edifício | AC ligado | Aquecedor Ligado | Datashow Ligado | Luz Acesa | Ventoinha Ligada | Total Edifício |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ed. I | 115 | 2 | 3 | 119 | | 239 |
| Ed. II | 347 | 24 | 38 | 205 | 36 | 650 |
| Ed. III | 20 | | | 12 | | 32 |
| Ed. IV | 30 | | 1 | 63 | | 94 |
| Ed. V | 16 | | | 18 | | 34 |
| Ed. VII | 86 | 12 | 23 | 1073 | | 1194 |
| Ed. VIII | 204 | 7 | 26 | 71 | | 308 |
| Ed. IX | 151 | 1 | 19 | 82 | | 253 |
| Ed. X | 31 | 5 | | 87 | | 123 |
| Ed. Departamental | 179 | 43 | 18 | 819 | 1 | 1060 |
| Cenimat | 54 | | 2 | 31 | | 87 |
| CEA | | 3 | | 20 | | 23 |
| Biblioteca | | | 9 | 10 | | 19 |
| **Total Ocorrência** | **1233** | **97** | **139** | **2611** | **37** | **4117** |

Na Tabela 5.15 são apresentadas as ocorrências mais frequentes por edifício em 2012. Verifica-se que as ocorrências mais frequentes são o ar condicionado ligado e luzes acesas. Confirma-se ainda a existência de pequenas ocorrências tais como aquecedores, datashow ligados e ventoinhas ligadas.

É possível verificar que o maior número de ocorrências teve lugar nos Edifícios Departamental, VII e II. Nestes edifícios as ocorrências são recorrentes de mês para mês.

Relativamente ao tipo de ocorrência, como indicado na Figura 5.18, verifica-se que no Edifício Departamental, no Edifício II e VII a ocorrência mais frequente é a luz acesa. Para os Edifícios Departamental, II e VIII diagnostica-se um elevado número de ocorrências relacionadas com o ar condicionado ligado.

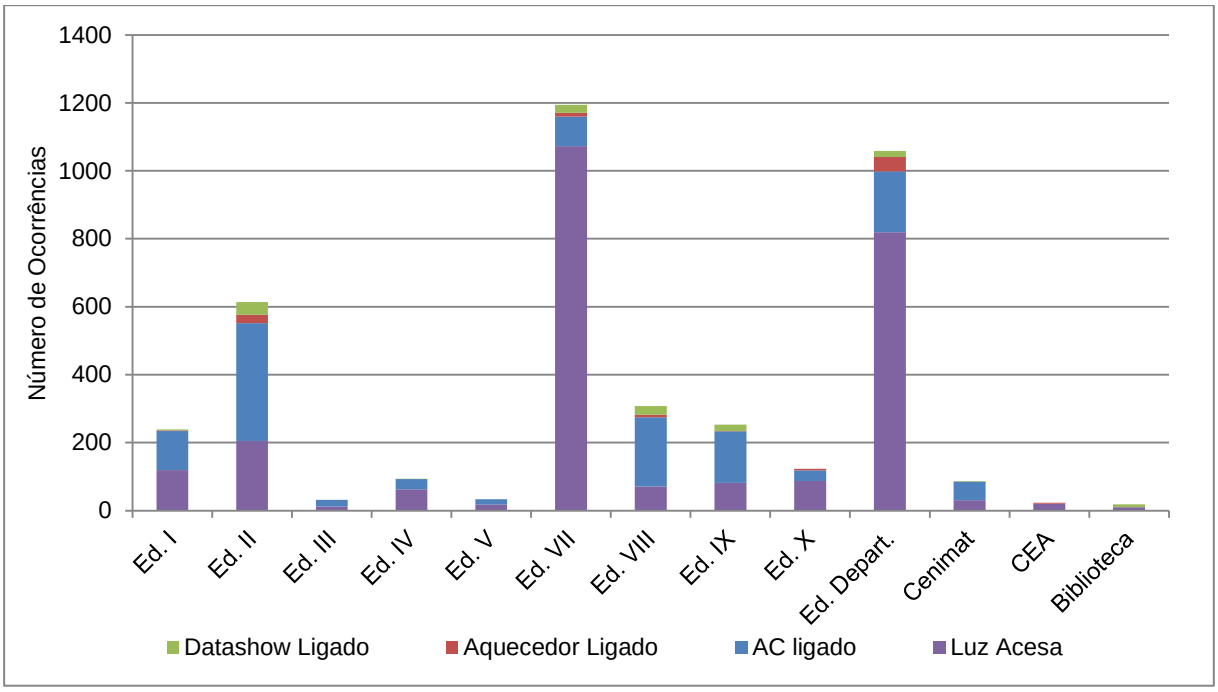


Figura 5.18 - Número e tipo de ocorrências por edifício

Os dados em análise podem ainda ser trabalhos por Departamento obtendo-se os resultados enunciados na Figura 5.19, onde se observa o tipo de ocorrência mais frequente por Departamento.

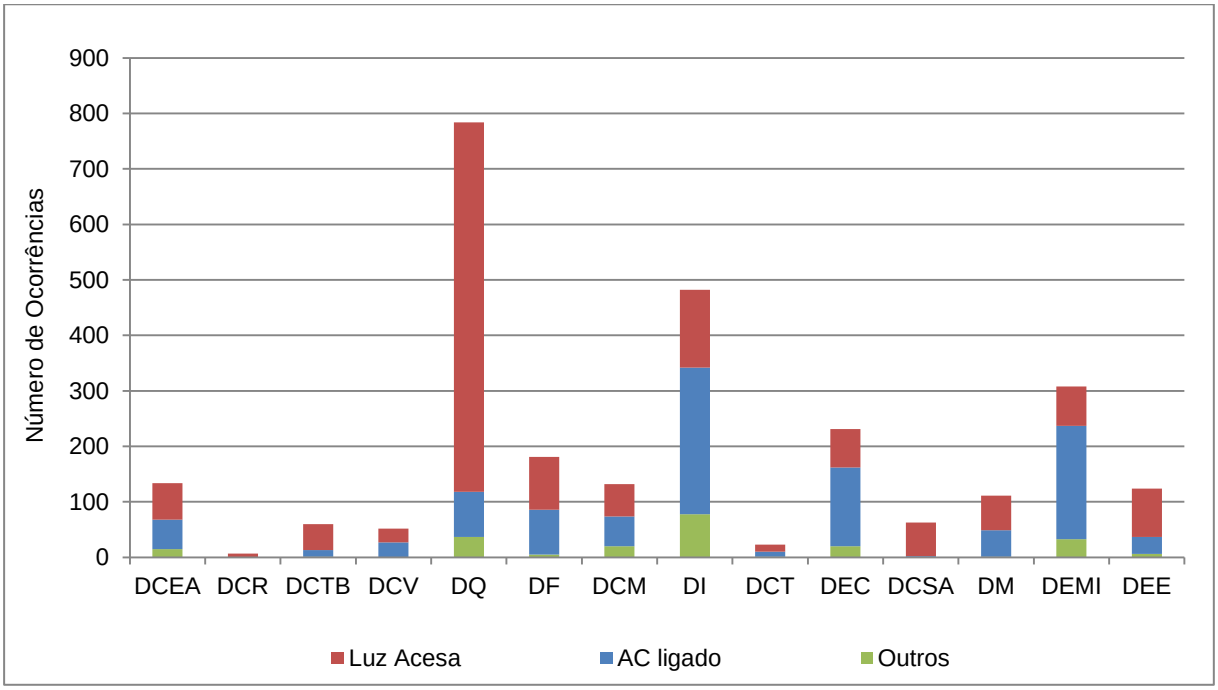


Figura 5.19 - Número e tipo de ocorrência por departamento

Verifica-se que os Departamentos de Química, Informática e Engenharia Mecânica e Industrial registam um elevado número de ocorrências anual. É ainda possível observar que no Departamento de Química a ocorrência mais frequente é a luz acesa. Para os Departamentos de Informática e Engenharia Mecânica e Industrial diagnostica-se um elevado número de ocorrências relacionadas com o ar condicionado ligado. Destaca-se o Departamento de Informática em ocorrências relacionadas com outro tipo de equipamentos, tais como datashow, aquecedores e ventoinhas ligadas.

É possível desagregar os dados em análise obtendo-se os resultados enunciados na Tabela 5.16, onde se observa em cada Departamento, o tipo de ocorrência mais frequente por espaço. O espaço é considerado recorrente quando nele se verificam, no total anual, mais do que 30 ocorrências (que corresponde pelos menos a 30 dias, isto é, cerca de uma ocorrência por dia). Existem espaços que não verificam mais de 30 ocorrências, no entanto são apresentados como os espaços mais recorrentes no Departamento em causa.

Tabela 5.16 - Tabela representativa do número e tipo de ocorrências recorrentes por espaço

| Departamento | Espaço | Tipo de Ocorrência | Nº de ocorrências | Total Espaço |
|---|---|---|---|---|
| DCEA | 328 | AC Ligado | 17 | 20 |
| | | Luz Acesa | 3 | |
| DCR | 43 | Luz Acesa | 4 | 4 |
| DCTB | 358 | AC Ligado | 9 | 19 |
| | | Luz Acesa | 10 | |
| DCV | 212 | AC Ligado | 10 | 15 |
| | | Luz Acesa | 5 | |
| DQ | 609 | Luz Acesa | 62 | 62 |
| DF | 120 | AC Ligado | 1 | 18 |
| | | Luz Acesa | 17 | |
| DCM | 203 | AC Ligado | 25 | 33 |
| | | Luz Acesa | 8 | |
| DI | 110 | AC Ligado | 19 | 51 |
| | | Luz Acesa | 15 | |
| | | Datashow Ligado | 13 | |
| | | Ventoinha Ligada | 4 | |
| DCT | 4.42 | AC Ligado | 5 | 5 |
| DEC | 3.06 | AC Ligado | 16 | 17 |
| | | Luz Acesa | 1 | |
| DCSA | 2.1 | AC Ligado | 1 | 56 |
| | | Luz Acesa | 55 | |
| DM | 2.5 | AC Ligado | 1 | 47 |
| | | Luz Acesa | 46 | |
| DEMI | 3.14 | AC Ligado | 27 | 32 |
| | | Luz Acesa | 5 | |
| DEE | 3.14 | AC Ligado | 13 | 13 |

Na Figura 5.20 é possível verificar a evolução ao longo do ano das ocorrências mais recorrentes: AC ligado e luz acesa.

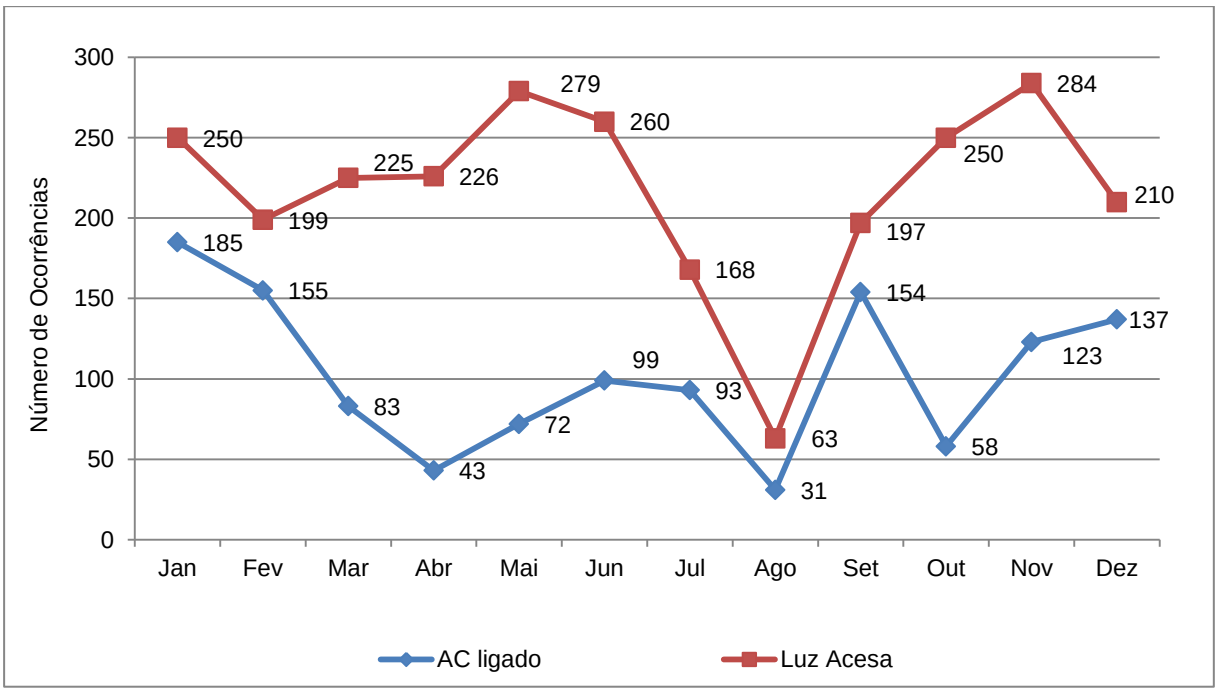


Figura 5.20 - Evolução do número de ocorrências recorrentes em 2012

Relativamente à ocorrência "luz acesa" é possível verificar um decréscimo no mês de Fevereiro devido à interrupção lectiva. As ocorrências voltam a aumentar nos meses seguintes, voltando a decrescer em Junho, mês correspondente ao início do período de exames e em Agosto ao período de férias. Verifica-se um máximo de ocorrências no mês de Novembro.

Relativamente às ocorrências relacionadas com o ar condicionado é possível observar igualmente um decréscimo acentuado até ao mês de Abril devido ao período de férias escolares, como já foi referido, mas principalmente devido às temperaturas mais amenas. Nos meses seguintes existe um aumento das ocorrências devido ao aumento das temperaturas coincidentes com o início do Verão, o que leva à utilização regular de equipamentos de refrigeração.

Na Figura 5.21 são apresentadas as ocorrências por tipologia de espaço. Assim, o maior número de ocorrências verifica-se nos laboratórios, de investigação ou de ensino, usados por um enorme número de pessoas ao longo do dia.

Os gabinetes refletem a baixa preocupação com os gastos em eletricidade na FCT pois, de ocupação individual, seria de se esperar mais consciência refletida num menor número de ocorrências

As salas de aulas são utilizadas por um elevado número de utentes, sendo recorrente a luz ficar acesa ou o datashow ligado.

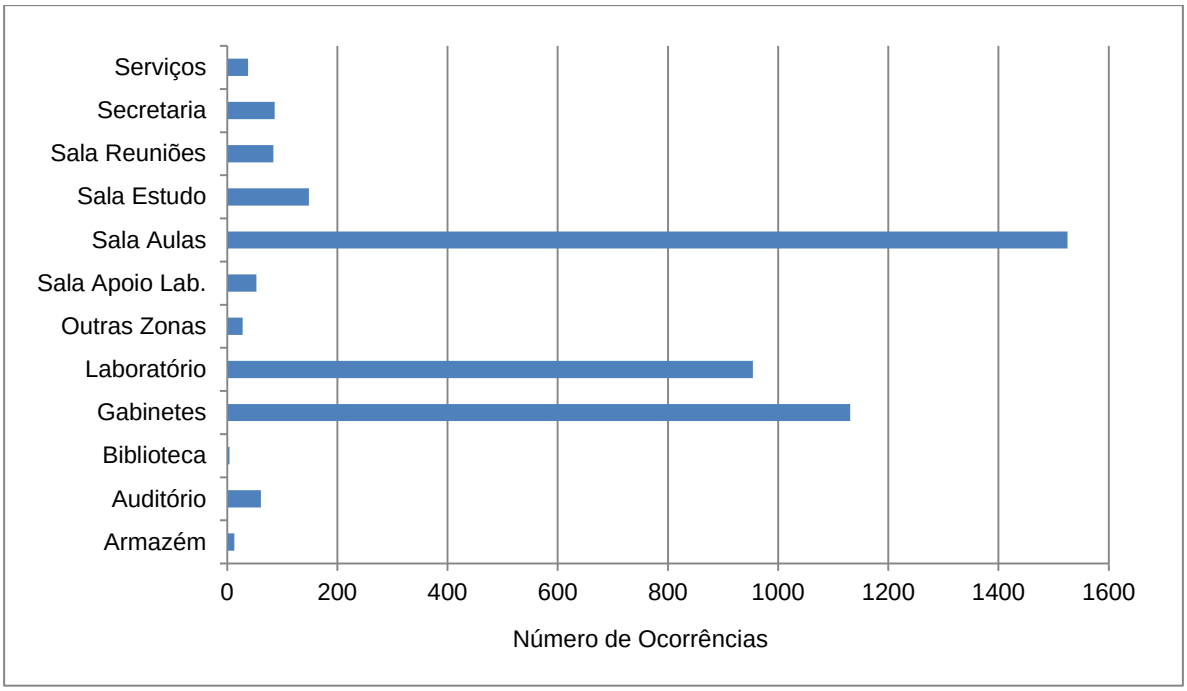


Figura 5.21 - Número e tipo de ocorrências por tipologia de espaço

## 5.6. Analise custo-benefício

### 5.6.1. FCT/UNL

*Gestão da procura de energia*

A gestão da procura de energia é uma medida que não leva diretamente á redução de consumo mas tem implicações diretas na fatura de energia elétrica. A movimentação de consumos para horas de vazio e o controle de horas de ponta são duas medidas que bem implementadas podem levar a poupanças significativas.

Sendo o ciclo contratado o semanal normal, as horas de ponta ocorrem em dois períodos horários ao longo do dia, das 09:30 às 12:00 e das 18:30 às 21:00 de Inverno, e de Verão apenas no período da manhã, sendo estes os períodos mais caros do dia.

Na Tabela 5.17 são apresentados dois cenários possíveis de redução no consumo de horas de ponta por transferência dessa energia para o vazio. É importante referir que ambos os cenários mantêm a energia total consumida e o ciclo de contagem.

Tabela 5.17 – Cenários base e de redução de 15% e 25 % no consumo em ponta

| 2012 | Cenário Base | | Cenário de 15% | | Cenário de 25% | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vazio | Ponta | Vazio | Ponta | Vazio | Ponta |
| Consumo Anual (GWh) | 1,60 | 1,34 | 1,81 | 1,14 | 1,94 | 1,01 |
| Gasto Anual (€) | 94 660 | 162 205 | 106 532 | 137 874 | 114 447 | 121 654 |
| Energia Movida Anual (GWh) | - | | 0,201 | | 0,335 | |
| Poupança Anual (€) | - | | 24 331 | | 40 551 | |

Observa-se uma poupança significativa na transferência do consumo de ponta para o vazio, por movimentação de 0,201 GWh no cenário de 15 % e de 0,335 GWh no cenário de 25%, obtendo-se uma poupança anual de 24 331 € e 40 551 € respetivamente, sem necessidade de investimento directo. Esta medida é considerada uma medida comportamental.

*Substituição gás propano por gás natural*

Tendo em conta o elevado consumo de gás propano no *Campus* foi efetuada uma análise custo-benefício para substituição por gás natural. O gás propano tem um poder calorífico superior ao gás natural pelo que é necessário consumir 1,25 $m^3$ de gás natural para obtermos o poder calorifico de 1kg de propano, logo o consumo de gás natural é relativamente superior ao do gás propano.

O preço praticado para o gás natural é de 0,0562 €/kWh, tornando-o mais apelativo quando comparado com o valor de 0,0991 €/kWh de gás propano. Na Tabela 5.18 são apresentados o consumo e o custo anual de gás propano e, por forma a satisfazer as mesmas exigências térmicas, o consumo e o custo anual equivalente em gás natural. A poupança é significativa e no valor de cerca de 40 000€.

Tabela 5.18 - Análise para substituição de gás propano por gás natural

| 2012 | Propano | | Natural | | Poupança (€/ano) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Consumo (kWh/ano) | Custo (€/ano) | Consumo (kWh/ano) | Custo (€/ano) | | |
| Gás | 1 108 539 | 111 562 | 1 108 539 | 62 300 | 49 262 | 50 000 |

O orçamento apresentado é na sua maioria para instalação de redes de condutas a partir do exterior para distribuição do gás natural no Campus e para recuperação e adaptação, ao novo gás, das redes de distribuição no interior dos edifícios.

Tabela 5.19 - Análise do VAL e TIR para a substituição de gás

| Ano | 0 | 1 | 2 | VAL | TIR |
|---|---|---|---|---|---|
| Fluxo Caixa | - 50 000 € | 39 822 € | 13 274 € | **1 428 €** | **6%** |

Como se verifica na Tabela 5.19, a recuperação do investimento é de 1 ano e 1 mês, no entanto, o valor não contempla a substituição dos queimadores acoplados às caldeiras, os quais estão atualmente preparados apenas para gás propano, nem a substituição de equipamentos finais.

*Compensação da energia reativa*

Foi efetuada, pela Agência Municipal Lisboa E-Nova, uma análise das necessidades de compensação de energia reativa no *Campus* da FCT/UNL, calculadas para os 365 dias de 2012. Assim, e através dos diagramas de carga de energia ativa e energia reativa, foi calculada diariamente a potência média ativa e reativa nos períodos de horas de ponta e de cheias. Foi depois subtraída a

potência reativa da potência ativa afetada do fator 0,3, valor limite para o qual não há taxação de energia reativa, e finalmente foi determinado o valor máximo destas potências. O valor obtido na Tabela 5.20 corresponde à potência da bateria de condensadores que impediria a faturação de energia reativa.

Tabela 5.20 – Potência total mensal de compensação de energia reativa no ano de 2012

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Máximo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Potência Total Compensação (kVAr)** | 214 | 183 | 230 | 216 | 400 | 319 | 248 | 194 | 253 | 266 | 259 | 252 | 400 |
| | | | | | | | | | | | | | |

Se a compensação for efetuada em média tensão (MT) será necessário uma bateria de condensadores de 400 kVAr para se garantir uma tangente de $\varphi \leq 0,3$. Outra possibilidade será a compensação por posto de transformação (PT). As baterias de condensadores existem, no mercado, com potências múltiplas de 10 kVAr. Foi sugerido deixar uma folga entre 10 kVAr e 20 kVAr, para compensar equipamentos a instalar no futuro, e a instalação, no primeiro escalão, de baterias de baixa potência (5 kVAr) por forma a não sobrecompensar em situações de baixas potências consumidas, pois a sobrecompensação representa uma carga capacitiva, a qual é taxada nas horas de vazio (de dia paga-se a energia reativa consumida da rede, indutiva, e de noite paga-se a energia reativa fornecida à rede, ou capacitiva).

A proposta de orçamento foi apresentada para compensar a energia reativa diretamente no PT, sendo a apresentada na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Proposta de orçamento para baterias de condensadores por PT

| PT | Potência (kVAr) | Preço (€) |
|---|---|---|
| Auditório | 50 | 1 252,78 |
| Biblioteca | 120 | 1 971,86 |
| Azul (Transf. 1) | 12,5 | 761,87 |
| Azul (Transf. 2) | 45 | 1 047,10 |
| UNINOVA (Transf. 1) | 90 | 1 686,65 |
| UNINOVA (Transf. 2) | 25 | 804,00 |
| Matemática | 80 | 1 685,55 |
| Química | 80 | 1 685,55 |
| Civil | 105 | 1 829,26 |
| Mecânica | 105 | 1 829,26 |
| **Total** | **712,5** | **14 553,88** |

Na Tabela 5.22 é apresentado o consumo total de energia reativa no ano de 2012 e o custo associado. É também apresentado a potência total das baterias a serem instaladas e o preço do investimento, sendo possível perceber, ainda, o custo por cada kVAr compensado.

Tabela 5.22 - Análise do retorno do investimento para instalação de bateria de condensadores

| 2012 | Consumo Total (kVArh/ano) | Custo (€/ano) | Potência Bateria (kVAr) | Investimento (€) | Preço (€/kVAr) |
|---|---|---|---|---|---|
| Energia Reativa | 905 880 | 15 352,12 | 712,50 | 14 553,88 | 20,43 |

Verifica-se assim, pela Tabela 5.23, que o investimento é amortizado em menos de um ano, sendo a compensação de energia reativa uma medida de eficiência energética bastante apelativa e de alto benefício para toda a instalação elétrica do *Campus*.

Tabela 5.23 - Análise do VAL e TIR para a compensação da energia reativa

| Ano | 0 | 1 | VAL | TIR |
|---|---|---|---|---|
| Fluxo Caixa | - 14 554 € | 15 352 € | **279 €** | **5%** |

*Comportamento para a eficiência energética*

Influenciar os comportamentos de consumo eficiente em edifícios públicos requer ações de formação, sensibilização e medidas de responsabilização. No geral esta medida de índole comportamental requer investimentos muito baixos, no entanto, as poupanças são significativas e, como referido, rondam em média os 20%. Na Tabela 5.24 são apresentados as poupanças geradas por incentivo ao comportamento energético eficiente.

Tabela 5.24 - Análise de poupanças geradas por alteração de comportamentos

| Edifício | Área ($m^2$) | Consumo (MWh/ano) | Custo (€/ano) | Economia (%) | Poupança (MWh/ano) | Poupança (€/ano) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ambiente | 10 705 | 723 | 61 978 | 10% | 72 | 6 198 | 500 |
| Química | 11 135 | 1 910 | 163 904 | 10% | 191 | 16 390 | 500 |
| **Total** | **21 840** | **2 633** | **225 882** | **-** | **263** | **22 588** | **1 000** |

O investimento apresentado, na roda dos 1 000 €, é um valor que representa gastos em informação no sentido de explicar o que se gasta, quanto e como se gasta, em ações de formação e todos os recursos necessários à sua prática e em sinalética de sensibilização. A poupança anual é de 22 588€.

A campanha de poupança implementada em Janeiro de 2012, para além da redução de iluminação em laboratórios e zonas de circulação, foi maioritariamente uma campanha de sensibilização por intermédio de sinalética. Esta campanha originou nesse ano uma poupança de 1 GWh no valor de 300 000 € (sem IVA) em fatura.

### 5.6.2. Edifício Departamental

*Reabilitação da envolvente opaca vertical*

Em seguimento da caracterização da envolvente do Edifício Departamental foi identificado, através das imagens termográficas obtidas, que o edifício apresenta mau isolamento. São especialmente visíveis maiores fluxos de calor em zonas correspondentes a vigas, pilares e zonas de contacto entre paredes verticais ou de paredes verticais com a cobertura. Estas zonas são consideradas pontes térmicas onde se dão maiores trocas de calor com o exterior do edifício (Marcelino, 2010).

O isolamento pelo exterior é uma das soluções térmicas que melhoram o comportamento térmico dos edifícios, minimizando as perdas térmicas com o exterior. Neste sentido, o comportamento térmico da envolvente do edifico está intrinsecamente relacionada com os consumos em climatização.

Foi solicitado orçamento para isolar toda a envolvente opaca vertical do Edifício Departamental, o qual se apresenta esquematizado na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 – Orçamento para intervenção na fachada do Edifício Departamental

| Intervenção | Ambiente | Química |
|---|---|---|
| | Custo (€) | |
| Mão-de-obra | 18 560 | 29 000 |
| Tratamento da fachada existente | 6 444 | 9 157 |
| Impermeabilização | 79 344 | 114 701 |
| Tratamento de outras zonas | 29 656 | 41 022 |
| **Total por Edifício** | **134 004** | **193 879** |

Na Tabela 5.26 são apresentados o consumo e o custo de energia ativa no ano de 2012, isto é, os gastos que o edifício tem anualmente em climatização para satisfazer em parte as necessidades de conforto dos utilizadores. A reabilitação da fachada opaca vertical proporciona uma economia de 0,0504 MWh/ano por cada $m^2$.

Tabela 5.26 - Poupança energética e económica por reabilitação da fachada

| Edifício | Área Útil Fachada ($m^2$) | Consumo (MWh/ano) | Custo (€/ano) | Economia (%) | Poupança (MWh/ano) | Poupança (€/ano) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ambiente | 3 100 | 109 | 9 344 | 30% | 33 | 2 829 | 134 004 |
| Química | 4 200 | 148 | 12 700 | 30% | 44 | 3 776 | 193 879 |
| **Total** | **7 300** | **257** | **22 044** | **-** | **77** | **6 605** | **327 884** |

Assim, com a reabilitação da envolvente opaca vertical a poupança anual gerada é de 33 MWh para a Ala de Ambiente e de 44 MWh para a Ala de Química, totalizando uma poupança de 77 MWh, no valor de 6 605 € por ano.

O retorno da reabilitação da fachada vertical opaca do Edifício Departamental é de 50 anos.

*Reabilitação dos vãos envidraçados*

Verificou-se a necessidade de intervenção nos vãos envidraçados do Edifício Departamental. Todos os vãos apresentam vidro simples e caixilhos deficitários no que respeita ao isolamento térmico. No sentido de melhorar o desempenho térmico e a iluminação natural dos espaços, e do próprio edifício, é conveniente proceder à sua substituição optando-se por vidros com maior resistência térmica de maneira a minimizar os ganhos térmicos no Verão e as perdas térmicas no Inverno.

A substituição passa por retirar toda a caixilharia e vidro simples e colocar caixilharia de alumínio e vidro duplo com corte térmico. Esta substituição, por janelas mais eficientes, permite obter níveis ótimos de conforto térmico e acústico ao mesmo tempo que melhora a eficiência energética do edifício. O aumento do isolamento permite poupar até cerca de 40% do consumo de energia num edifício.

Na Figura 5.31 é apresentado o orçamento para substituição dos vãos envidraçados na Ala Ambiente e na Ala de Química.

Tabela 5.27 - Orçamento para substituição de vãos envidraçados no Edifício Departamental

| Intervenção | Ambiente | Química |
|---|---|---|
| | Custo (€) | |
| Caixilharia Technal com corte térmico | 367 957 | 376 449 |
| **Total** | **744 406** | |

Na Tabela 5.32 são apresentados o consumo e custo de energia elétrica utilizada para climatizar e ainda iluminar o Edifício Departamental, devido ao mau estado e utilização dos sistemas de ensombramento. É apresentada a área de vão envidraçado a substituir e a poupança obtida.

Tabela 5.28 - Poupança energética e económica por reabilitação de vãos envidraçados

| Edifício | Área ($m^2$) | Consumo (MWh/ano) | Custo (€/ano) | Economia (%) | Poupança (MWh/ano) | Poupança (€/ano) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ambiente | 1 500 | 157 | 13 459 | 40% | 63 | 5 401 | 367 957 |
| Química | 1 552 | 199 | 17 077 | 40% | 80 | 6 865 | 376 449 |
| **Total** | **3 052** | **356** | **30 536** | **-** | **142** | **12 266** | **744 406** |

Assim, com a reabilitação dos vãos envidraçados as economias são de 142 MWh por ano, no valor de 12 266 €. O retorno do investimento é de 60 anos.

*Iluminação*

Efetuado o levantamento de iluminação verificamos que esta representa um dos maiores consumos no Edifício Departamental. A iluminação neste edifício é constituída na generalidade por lâmpadas fluorescentes tubulares com potências entre os 18W, 36W e 58W de balastro magnético. Este tipo de iluminaria existe maioritariamente nas zonas de circulação com um funcionamento de 8 766 horas por ano. Existem lâmpadas incandescentes, desprovidas de balastro, de utilização reduzida por se

situarem maioritariamente em zonas técnicas pouco frequentadas ao longo do ano. Pontualmente é possível encontrar lâmpadas de halogéneo de 300W.

Para a análise custo-benefício da iluminação foram assumidos alguns critérios iniciais de utilização do edifício. Assim, foi assumido que o edifício tem um funcionamento de cerca de 9 horas em 6 dias da semana (o domingo não foi considerado), com um funcionamento de 2 484 horas anuais. Para as zonas de circulação foi assumido um funcionamento de 24 horas, 7 dias da semana, 365 dias no ano. Foi ainda considerada uma tarifa média de 0,10609 €/kWh e um fator de potência de 0,85 para a iluminação existente e de 0,95 para a iluminação proposta.

Tal como indicado na Figura 5.34 são apresentadas 3 soluções para substituição da iluminação existente, baseadas em diferentes critérios, tais como, valor do investimento, poupança anual, entre outros, permitindo optar pela melhor solução. A análise das soluções é ainda baseada em um critério adicional que reflete o nível de impacto que a respectiva solução terá na implementação da nova iluminaria. No impacto de nível 1 apenas se prevê substituição direta da lâmpada, no nível 2 prevê-se a substituição da lâmpada mas com necessidade de adaptação dos componentes e no nível 3 é necessário a desinstalação total da iluminaria existente para instalação da nova.

Tabela 5.29 - Soluções para substituição de iluminação no Edifício Departamental

| | **Iluminação Existente** | **Iluminação Solução 1** | **Iluminação Solução 2** | **Iluminação Solução 3** |
|---|---|---|---|---|
| Consumo Anual (GWh) | 1,33 | 0,533 | 0,452 | 0,541 |
| Gasto Anual (€) | 140 674 | 56 570 | 37 765 | 57 419 |
| Poupança Anual (GWh) | - | 0,793 | 0,874 | 0,785 |
| Investimento Solução (€) | - | 128 844 | 216 960 | 128 301 |
| Poupança Anual (€) | - | 84 104 | 102 909 | 83 255 |
| Poupança Anual (%) | - | 60% | 73% | 59% |
| Impacto Nível I (%) | - | 75,1% | 89,5% | 99,8% |
| Impacto Nível II (%) | - | 24,7% | 4,9% | 0% |
| Impacto Nível III (%) | - | 0,2% | 5,6% | 0,2% |

A solução 1 representa a melhor solução, conjugando todos os critérios em que se baseia a análise, logo a solução recomendada. Proporciona uma poupança significativa de 60% com um baixo período de retorno de investimento, cerca de 2 anos.

A solução 2 representa a solução com menor gasto anual em termos de iluminação e a solução com melhor desempenho energético. No entanto, a solução 2 apresenta o maior valor de retorno de investimento, cerca de 3 anos tal como indicado na Tabela 5.35, sendo a solução que requer um investimento mais elevado. Verifica também 5,6% de impacto de nível 3, isto é, soluções com necessidade de desinstalação total para adaptação de nova luminária.

A solução 3 representa a solução de menor investimento mas também a solução de menor eficiência com um período de retorno de investimento muito semelhante à solução 1.

Tabela 5.30 - Análise do VAL e TIR para as soluções de substituição de iluminação do Edifício Departamental

| Ano | Solução 1 | Solução 2 | Solução 3 |
|---|---|---|---|
| **0** | - 128 844 € | - 216 960 € | - 128 301 € |
| **1** | 84 104 € | 102 909 € | 83 255 € |
| **2** | 56 069 € | 102 909 € | 55 503 € |
| **3** | | 25 727 € | |
| **VAL** | **4 757 €** | **1 739 €** | **3 951 €** |
| **TIR** | **6%** | **4%** | **6%** |

# 6. Conclusões

## 6.1. Síntese conclusiva

A dependência externa de combustíveis fósseis com consequentes subidas dos preços da energia coloca desafios às organizações no sentido de apostarem na eficiência energética e procurarem energias alternativas.

A FCT/UNL deve adotar estratégias e medidas que lhe permitam otimizar o seu desempenho energético, minimizando a afetação de recursos. Através das auditorias energéticas foi possível identificar como são realizados os consumos energéticos nas instalações e onde existem desperdícios. Identificados os setores de consumo e os desperdícios foi possível identificar medidas para minimizar os consumos e melhorar a eficiência energética.

Na Tabela 6.1 são apresentadas as medidas de eficiência energética a aplicar na FCT e no edifício Departamental, o edifício identificado como sendo o maior consumidor. A economia anual de energia prevista é de 1,5 GWh sendo necessário um investimento de 1 266 688 € com um retorno de investimento que ronda os entre os 2 e os 10 anos.

No entanto, são apresentadas medidas, nomeadamente de reabilitação de fachada que requerem elevados investimentos com períodos de retorno muito desanimadores, situados entre os 50 e os 60 anos.

Tabela 6.1 - Resumo das potenciais economias

| Medidas Aplicação | Medidas de Economias de Energia | Economia Anual de Energia | | | Redução Emissões $CO^2$ | Investimento | Retorno |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MWh | tep | € | t | € | anos |
| Geral na FCT/UNL | Gestão da procura | 201 | 43 | 24 331 | 94 | - | - |
| | Substituição Propano por Natural | - | - | 49 262 | - | 50 000 | 1,26 |
| | Compensação da Energia Reativa | - | - | 15 352 | - | 14 554 | 0,95 |
| | Formação Comportamental | 263 | 56 | 22 588 | 123 | 1 000 | 1,01 |
| | **Subtotal** | **464** | **99** | **111 533** | **217** | **65 554** | **-** |
| Edifício Departamental | Reabilitação Envolvente Vertical | 77 | 17 | 6 605 | 36 | 327 884 | 60 |
| | Reabilitação Vãos Envidraçados | 142 | 30 | 12 266 | 66 | 744 406 | 50 |
| | Iluminação | 793 | 170 | 84 104 | 371 | 128 844 | 1,53 |
| | **Subtotal** | **1 012** | **217** | **102 975** | **473** | **1 201 134** | **-** |
| **Total** | | **1 476** | **316** | **214 508** | **690** | **1 266 688** | **-** |

Este trabalho verifica que o consumo na FCT/UNL é elevado e que o edifício estudado, que reflete a maioria dos edifícios públicos existentes, apresenta patologias típicas no que respeita à envolvente opaca, ao nível da iluminação e climatização. Na totalidade, as medidas identificadas revelam um potencial de poupança de cerca de 17%. A análise custo-benefício permitiu identificar medidas com

retorno de investimentos muito satisfatórios, e inferiores a 1 ano. No entanto algumas medidas apresentam retornos de investimento muito elevados e na ordem das décadas inviabilizando os projetos.

Conclui-se assim que FCT/UNL, e o edifício público em estudo, têm elevado potencial de poupança no entanto, as medidas identificadas implicam grandes investimentos, algumas apresentam períodos de retorno interessantes, mas exigem uma taxa de esforço financeiro que atualmente as organizações não conseguem suportar.

## 6.2. Cumprimento dos objetivos

Este trabalho tem dois objetivos principais, como já foi referido, auditar e avaliar o desempenho energético da FCT/UNL com o objetivo de identificar áreas de intervenção e oportunidades de melhoria, e ainda analisar o custo-benefício das medidas identificadas. Ambos os objetivos foram concretizados.

Embora as estimativas totais de consumos para o Edifício Departamental se aproximem da realidade a desagregação por tipologia de espaço e por tipo de atividade possuem alguns erros, devido à baixa amostragem e devido ao fato de a amostragem ter sido realizada na primavera, estação do ano com temperaturas amenas. Este erro levou a uma estimativa de consumo de climatização muito abaixo do real, o que interfere de forma directa com a análise custo-benefício da medida associada.

Os dados relativos aos comportamentos dos utentes poderiam ter sido mais explorados pois revelam grande potencial e oportunidades de melhoria.

Considera-se que a metodologia utilizada neste trabalho é reprodutível e pode ser utilizada para avaliar edifícios de outras instituições com vista à melhoria e conhecimento do comportamento e consumo energético.

## 6.3. Recomendações

Considera-se que seria benéfica a aplicação das medidas estudadas, nomeadamente as medidas com baixo retorno de investimento. Estas revelam um elevado potencial económico, energético e de redução de GEE. Quanto às medidas com elevado retorno de investimento, verifica-se que estas permitem uma melhoria no comportamento térmico do edifício em estudo, o que aumenta o conforto dos utilizadores que por sua vez não necessitariam de utilizações extremistas no que toca à climatização.

Recomenda-se também, com vista ao aumento da eficiência energética e ao cumprimento legal da instituição, a aplicação do RSECE a todos os edifícios da faculdade. A aplicação deste regulamento permitiria quantificar as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios e da envolvente dos edifícios que não foram objecto de estudo no âmbito deste trabalho.

## 6.4. Desenvolvimentos futuros

Foram identificadas possibilidades de desenvolvimentos futuros, como a investigação da viabilidade da aplicação de telhados verdes (ou fachadas verdes) nos edifícios da FCT/UNL. Está é uma questão

que já é aplicada em vários países da Europa e do Norte da América, com carácter obrigatório, devido aos benefícios que associados, entre outros, à melhoria do comportamento térmico do edifícios, diminuição da climatização.

Seria igualmente interessante a implementação de energias renováveis, as quais para além de reduzirem as emissões de GEE permitem reduzir significativamente a fatura energética da FCT/UNL.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE. (2011). ECO.AP Programa de Eficiência Energética na Administração Pública. Documento de apresentação do programa, Lisboa: Agência para a Energia.

ADENE. (2011). Mudança de comportamento no âmbito da Eficiência Energética. Documento técnico, Lisboa: Agência para a Energia, Obtido em Fevereiro de 2013 em http://www.adene.pt/estudo/mudanca-de-comportamento-no-ambito-da-eficiencia-energetica

ADENE. (2012). Guia da Eficiência Energética. Brochura, Lisboa: Agência para a Energia. Obtido em Fevereiro de 2013 em http://www.adene.pt/system/files/guiaee_v1303.pdf

ADENE. (2012). ECO.AP Programa de Eficiência Energética na Administração Pública. Programa de Procedimento Tipo: Versão Draft. Lisboa, Portugal.

AEA. (2010). Introdução à energia. Relatório técnico. Dinamarca: Agência Europeia do Ambiente.

Aelenei, D. (2010). RCCTE Light. Documento técnico, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Águas, M. (2009). Gestão de energia: preços da energia - eletricidade. Documento técnico, Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Andrade, P. (2012). Eficiência Energética em Edifícios: Oportunidade e Desafios. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Univesidade do Porto.

Anselmo, I. (2004). Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais. Documento técnico, Lisboa: Agência para a Energia.

APDC. (2010). Eficiência Energética dos Edifícios e da Iluminação Pública na Administração Pública. Documento técnico. Lisboa: Associação Portuguesa para o Desenvolvimento das Comunicações.

Ascenso, R. (2010). Gestão técnica centralizada: Um enorme potencial de poupança! Revista técnica bimensal, Edifícios e Energia, Maio.

Barbosa, F. (2005). Gestão de Energia: Gestão do Diagrama de Cargas.Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Brandão, T. (2011). Serviços de Eficiência Energética em Edifícios Públicos. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia do Porto.

Browne, S., & Frame, I. (2001). Green buildings need green occupants. UK: Eco Management and Auditin.

CE. (2003). Manual de Análise de Custos e Benefícios dos Projetos de Investimento. Documento técnico, Unidade Responsável pela avaliação DG Política Regional Comissão Europeia.

CE. (2010). Energia 2020 Estratégia para uma energia competitiva, sustentável e segura. Documento legislativo, Bruxelas: Comissão Europeia.

DGEG. (2012). Energia em Portugal - Principais Números. Anuário estatístico, Lisboa: Direcção-Geral de Energia e Geologia.

Duarte, C. (1989). Projeto Geral de Arquitetura do Edifício Departamental - 2ª Fase. Projeto de Execução, Lisboa: Estudos de Planeamento e Arquitetura, Lda.

EDP. (2013). Composição dos Preços de Eletricidade. Obtido em Fevereiro de 2013, de http://www.edp.pt/pt/empresas/precolivre/Pages/ComposicaodosPrecosdeEletricidade.aspx

Energia, Q. (2013). Compensação de energia reativa. Lisboa: Energia Q. Documento técnico, Obtido de http://www.qenergia.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=262

ENERGYSTAR, E. (2009). Razões para preferir ENERGY STAR nos organismos públicos. Documento técnico, Washington: Energystar.

ERSE. (2011). Regulamento tarifário do sector elétrico. Documento técnico, Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.

ERSE. (2011). Tarifas de acesso às redes em 2012. Obtido em Agosto de 2013, de http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifas2012/Paginas/TAcesso2012.aspx

EUROSTAT. (2012). Eurostat Yearbook 2012. Bruxelas: Comissão Europeia.

FCT/UNL. (2013). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Brochura de apresentação da faculdade. Obtido em 26 de Agosto de 2013, de http://www.fct.unl.pt/faculdade

Felizes, R. (2010). Planos comportamentais para a melhoria da eficiência em edifícios públicos. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Gaspar, C. (2002). Relatório de Auditoria Energética: Edifício Departamental da Faculdade de Ciências e Tecnologia. ADENE. Relatório técnico, Monte de Caparica: Agência para a Energia.

Graça, F. (2011). Eficiência Energética em Edifícios de Serviços no Concelho de Almada.Tese de Mestrado, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Guerra, J. (2010). Revestimentos de Fachadas. Documento técnico, Porto: Universidade Fernando Pessoa.

HEEPI. (2004). Results of the HEEPI HE Building Energy Benchmarking Initiative 2003/2004. Higher Education Environmental Performance Improvement Project.

Howe, S. (2005). Building Energy Performance Benchmarks. Londres: Imperial College London.

IE. (2007). Intelligent Metering - Energy Savings from Intelligent Metering and Behavioural Change: Final report - Project Results. União Europeia.

IEEA. (2008). Guidebook on energy intelligent retrofitting. Bruxelas: Intelligent Energy Europe Agency.

IPCC. (2008). Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change "Climate Change 2007-The Physical Science Baseis". Intergovernmental Panel on Climate Change.

Isolani, P. (2008). A utilização racional de energia em edifícios públicos. Documento Técnico, Lisboa: Enerbuilding.eu Energy Efficiency.

LNEG. (2010). Regras para a concessão de uma aprovação técnica europeia (ETA) ou de um documento de homologação (DH) a sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). Documento técnico, Lisboa: Departamento de Edifícios, Núcleo de Revestimentos e Isolamentos.

Marcelino, R. (2010). Eficiência Energética na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Tese de Mestrado, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Mckinsey. (2009). Unlocking Energy Efficiency in the U.S. Economy. U.S.A.: Mckinsey&Company.

OECD/IEA. (2011). World Energy Outlook. International Energy Agency. França: Head of Communication and Information Office.

Patrocínio, T. (2007). Ficha Técnica nº 17: Isolamento térmico de fachada pelo exterior. Relatório técnico, Lisboa: Construlink.

QREN. (2012). Manual Técnico II: Métodos e Técnicas de Avaliação - Análise Custo-Benefício. Lisboa: Observatório do QREN.

Ravara, A. (2012). Seleção e Avaliação de Investimento Público: Documento Orientador. Lisboa: Ordem dos Engenheiros.

Santos, F. (2009). Benchmarking Ambiental e de Sustentabilidade para Campus Universitários - Caso de Estudo da FCT/UNL. Tese de Mestrado, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Santos, S. (2010). Análise do uso da energia na FCT-UNL (edifícios II, VII, VIII, IX e X) e estudo dos comportamentos relativos ao uso da energia. Tese de Mestrado, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Silva, C. (2012). Webinar 6: Fatores Comportamentais para a Eficiência Energética. Lisboa: Projeto Green Campus.

SNIRH. (2013). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Obtido de http://snirh.pt/

Sucena-Paiva, J. (2005). Redes de Energia Elétrica: uma análise sistémica. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Turner, W. (2005). Energy Management Handbook (5ª ed.). EUA: The Fairmont Press, Inc.

# APÊNDICES

# APÊNDICE A

| ILUMINAÇÃO EXISTENTE | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID** | **Lâmpadas Atuais** | **Qtd** | **Nr Lamp** | **Potência Lâmpada (W)** | **Nr. Bal** | **Potência Balastro (W)** | **Potência Total (kW)** | **Energia Anual (kWh)** | **Custo Energia Anual Atual (€)** |
| A | External Wall Mount 1x60W | 30 | 1 | 16 | 0 | 0 | 0,56 | 1 403 | 149 € |
| B | External Wall Mount 1x40W | 3 | 1 | 40 | 0 | 0 | 0,14 | 351 | 37 € |
| C | Floodlight 1x300W | 7 | 1 | 300 | 0 | 0 | 2,47 | 6 137 | 651 € |
| D | Other 1x40W | 207 | 1 | 40 | 0 | 0 | 9,74 | 24 197 | 2 567 € |
| E | Surface Mount 1x40W | 22 | 1 | 40 | 0 | 0 | 1,04 | 2 572 | 273 € |
| F | T8 1x18W | 24 | 1 | 18 | 1 | 2,7 | 0,58 | 1 452 | 154 € |
| G | T8 1x36W | 103 | 1 | 36 | 1 | 5,4 | 5,02 | 12 461 | 1 322 € |
| H | T8 1x58W | 1796 | 1 | 58 | 1 | 8,7 | 140,93 | 350 078 | 37 140 € |
| I | T8 2x18W | 101 | 2 | 18 | 2 | 2,7 | 4,92 | 12 220 | 1 296 € |
| J | T8 2x36W | 28 | 2 | 36 | 2 | 5,4 | 2,73 | 6 775 | 719 € |
| K | T8 2x58W | 104 | 2 | 58 | 2 | 8,7 | 16,32 | 40 544 | 4 301 € |
| L | T8 IP65 1x58W | 6 | 1 | 58 | 1 | 8,7 | 0,47 | 1 170 | 124 € |
| M | T8 IP65 2x58W | 19 | 2 | 58 | 2 | 8,7 | 2,98 | 7 407 | 786 € |
| N | T8 Modular 2x18W | 74 | 2 | 18 | 2 | 2,7 | 3,60 | 8 953 | 950 € |
| O | T8 Troffer 2x36W | 153 | 2 | 36 | 2 | 5,4 | 14,90 | 37 022 | 3 928 € |
| P | T8 Troffer 3x36W | 335 | 3 | 36 | 3 | 5,4 | 48,95 | 121 590 | 12 900 € |
| Q | T8 Troffer 4x36W | 216 | 4 | 36 | 4 | 5,4 | 42,08 | 104 531 | 11 090 € |
| R | External Wall Mount 1x16W | 58 | 1 | 16 | 0 | 0 | 1,09 | 9 570 | 1 015 € |
| S | T8 1x36W | 204 | 1 | 36 | 1 | 5,4 | 9,94 | 87 099 | 9 240 € |
| T | T8 1x58W | 713 | 1 | 58 | 1 | 8,7 | 55,95 | 490 454 | 52 032 € |
| | | **4203** | | | | | **364,43** | **1 325 984** | **140 674 €** |
| | | | | | | | | **1326** | **MWh** |
| | | | | | | | | **1,33** | **GWh** |

**SOLUÇÃO 1**

| ID | Iluminação Proposta | Impacto na Instalação | Qtd | Nr Lamp | Potência Lamp (W) | Potência Total (kW) | Energia Anual Solução (kWh) | Custo Energia Anual Futura (€) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 9W CFL E14 | Substituição | 30 | 1 | 9 | 0,28 | 706 | 75 € | 177 € |
| B | 23W CFL E27 | Substituição | 3 | 1 | 23 | 0,07 | 180 | 19 € | 18 € |
| C | 70W IP65 LED Floodlight | Desinstalação | 7 | 1 | 70 | 0,52 | 1 281 | 136 € | 1 484 € |
| D | 23W CFL E27 | Substituição | 207 | 1 | 23 | 5,01 | 12 449 | 1 321 € | 1 219 € |
| E | 23W CFL E27 | Substituição | 22 | 1 | 23 | 0,53 | 1 323 | 140 € | 130 € |
| F | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 24 | 1 | 11 | 0,28 | 690 | 73 € | 403 € |
| G | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 103 | 1 | 21 | 2,28 | 5 656 | 600 € | 2 048 € |
| H | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 1796 | 1 | 28 | 52,93 | 131 490 | 13 950 € | 44 716 € |
| I | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 101 | 2 | 11 | 2,34 | 5 810 | 616 € | 3 390 € |
| J | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 28 | 2 | 21 | 1,24 | 3 075 | 326 € | 1 113 € |
| K | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 104 | 2 | 28 | 6,13 | 15 228 | 1 616 € | 5 179 € |
| L | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 6 | 1 | 28 | 0,18 | 439 | 47 € | 149 € |
| M | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 19 | 2 | 28 | 1,12 | 2 782 | 295 € | 946 € |
| N | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 74 | 2 | 11 | 1,71 | 4 257 | 452 € | 2 484 € |
| O | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 153 | 2 | 21 | 6,76 | 16 802 | 1 783 € | 6 083 € |
| P | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 335 | 3 | 21 | 22,22 | 55 184 | 5 855 € | 19 980 € |
| Q | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 216 | 4 | 21 | 19,10 | 47 442 | 5 033 € | 17 177 € |
| R | 9W CFL E14 | Substituição | 58 | 1 | 9 | 0,55 | 4 817 | 511 € | 342 € |
| S | 21W(1.2) Eco-T5 | Substituição e Adaptação | 204 | 1 | 21 | 4,51 | 39 530 | 4 191 € | 4 056 € |
| T | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 713 | 1 | 28 | 21,01 | 184 215 | 19 531 € | 17 750 € |
| | | **Total** | **4203** | | | **148,78** | **533 357** | **56 570 €** | **128 844 €** |
| | | | | | | | **533,36** | **MWh** | |
| | | | | | | | **0,533** | **GWh** | |

**SOLUÇÃO 2**

| ID | Iluminação Proposta | Impacto na Instalação | Qtd | Nr Lamp | Potência Lamp (W) | Potência Total (kW) | Energia Anual Solução (kWh) | Custo Energia Anual Futura (€) | Investimento (€) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 9W CFL E14 | Substituição | 30 | 1 | 9 | 0,28 | 706 | 75 € | 177 € |
| B | 23W CFL E27 | Substituição | 3 | 1 | 23 | 0,07 | 180 | 19 € | 18 € |
| C | 70W IP65 LED Floodlight | Desinstalação | 7 | 1 | 70 | 0,52 | 1 281 | 136 € | 1 484 € |
| D | 10W LED Downlight | Desinstalação | 207 | 1 | 10 | 2,18 | 5 413 | 574 € | 6 733 € |
| E | 10W LED Oyster | Desinstalação | 22 | 1 | 10 | 0,23 | 575 | 61 € | 646 € |
| F | 9W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 24 | 1 | 9 | 0,23 | 565 | 60 € | 483 € |
| G | 18W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 103 | 1 | 18 | 1,95 | 4 848 | 514 € | 3 185 € |
| H | 24W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 1796 | 1 | 24 | 45,37 | 112 706 | 11 957 € | 70 609 € |
| I | 9W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 101 | 2 | 9 | 1,91 | 4 754 | 504 € | 4 067 € |
| J | 18W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 28 | 2 | 18 | 1,06 | 2 636 | 280 € | 1 732 € |
| K | 24W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 104 | 2 | 24 | 5,25 | 13 053 | 1 385 € | 8 177 € |
| L | 24W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 6 | 1 | 24 | 0,15 | 377 | 40 € | 236 € |
| M | 24W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 19 | 2 | 24 | 0,96 | 2 385 | 253 € | 1 494 € |
| N | 9W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 74 | 2 | 9 | 1,40 | 3 483 | 370 € | 2 980 € |
| O | 18W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 153 | 2 | 18 | 5,80 | 14 402 | 1 528 € | 9 463 € |
| P | 18W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 335 | 3 | 18 | 19,04 | 47 301 | 5 018 € | 31 078 € |
| Q | 18W LED T8 Eco-Saver | Substituição | 216 | 4 | 18 | 16,37 | 40 664 | 4 314 € | 26 718 € |
| R | 9W CFL E14 | Substituição | 58 | 1 | 9 | 0,55 | 4 817 | 511 € | 342 € |
| S | 18 LED Eco-T5 Frosted, Microwave | Substituição e Adaptação | 204 | 1 | 18 | 3,87 | 33 883 | 1 796 € | 10 064 € |
| T | 24W LED Eco-T5 Frosted, Microwave | Substituição | 713 | 1 | 24 | 18,01 | 157 899 | 8 370 € | 37 274 € |
| | | **Total** | **4203** | | | **125,22** | **451 925** | **37 765 €** | **216 960 €** |
| | | | | | | | **451,92** | **MWh** | |
| | | | | | | | **0,452** | **GWh** | |

| SOLUÇÃO 3 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ID** | **Iluminação Proposta** | **Impacto na Instalação** | **Qtd** | **Nr Lamp** | **Potência Lamp (W)** | **Potência Total (kW)** | **Energia Anual Solução (kWh)** | **Custo Energia Anual Futura (€)** | **Investimento (€)** |
| A | 9W CFL E14 | Substituição | 30 | 1 | 9 | 0,28 | 706 | 75 € | 177 € |
| B | 23W CFL E27 | Substituição | 3 | 1 | 23 | 0,07 | 180 | 19 € | 18 € |
| C | 70W IP65 LED Floodlight | Desinstalação | 7 | 1 | 70 | 0,52 | 1 281 | 136 € | 1 484 € |
| D | 23W CFL E27 | Substituição | 207 | 1 | 23 | 5,01 | 12 449 | 1 321 € | 1 219 € |
| E | 23W CFL E27 | Substituição | 22 | 1 | 23 | 0,53 | 1 323 | 140 € | 130 € |
| F | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 24 | 1 | 11 | 0,28 | 690 | 73 € | 403 € |
| G | 22W Eco-Saver | Substituição | 103 | 1 | 22 | 2,39 | 5 925 | 629 € | 2 026 € |
| H | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 1796 | 1 | 28 | 52,93 | 131 490 | 13 950 € | 44 716 € |
| I | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 101 | 2 | 11 | 2,34 | 5 810 | 616 € | 3 390 € |
| J | 22W Eco-Saver | Substituição | 28 | 2 | 22 | 1,30 | 3 221 | 342 € | 1 101 € |
| K | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 104 | 2 | 28 | 6,13 | 15 228 | 1 616 € | 5 179 € |
| L | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 6 | 1 | 28 | 0,18 | 439 | 47 € | 149 € |
| M | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 19 | 2 | 28 | 1,12 | 2 782 | 295 € | 946 € |
| N | 14W(11) Eco-Saver | Substituição | 74 | 2 | 11 | 1,71 | 4 257 | 452 € | 2 484 € |
| O | 22W Eco-Saver | Substituição | 153 | 2 | 22 | 7,09 | 17 602 | 1 868 € | 6 018 € |
| P | 22W Eco-Saver | Substituição | 335 | 3 | 22 | 23,27 | 57 812 | 6 134 € | 19 764 € |
| Q | 22W Eco-Saver | Substituição | 216 | 4 | 22 | 20,01 | 49 701 | 5 273 € | 16 991 € |
| R | 9W CFL E14 | Substituição | 58 | 1 | 9 | 0,55 | 4 817 | 511 € | 342 € |
| S | 22W Eco-Saver | Substituição | 204 | 1 | 22 | 4,72 | 41 412 | 4 391 € | 4 012 € |
| T | 35W(28) Eco-Saver | Substituição | 713 | 1 | 28 | 21,01 | 184 215 | 19 531 € | 17 752 € |
| | | **Total** | **4203** | | | **151,45** | **541 342** | **57 419 €** | **128 301 €** |
| | | | | | | | **541,34** | **MWh** | |
| | | | | | | | **0,541** | **GWh** | |

# APÊNDICE B

## Calendário Escolar FCT - 2011-2012

**Setembro 2011**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | |

**Outubro 2011**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | | | | | | |

**Novembro 2011**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | FCT | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | | | | |

**Dezembro 2011**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | N |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |

**Janeiro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | 31 | | | | | |

**Fevereiro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | C | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | | | | |

**Março 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |

**Abril 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | P |
| 9 | 10 | 11 | 12 | Expo | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | | | | | | |

**Maio 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

**Junho 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | |

**Julho 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | 31 | | | | | |

**Setembro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

Época Especial | Aulas | Férias Escolares | Jortec | Feriados | Estudo
Exames | Lançamento Notas | Entrega de Dissertações e Teses

## Calendário Escolar FCT - 2012-2013

**Setembro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

**Outubro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | | | | |

**Novembro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | FCT | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | |

**Dezembro 2012**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| 31 | | | | | | |

**Janeiro 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 | | | |

**Fevereiro 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | C | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | | | |

**Março 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | P |

**Abril 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | Expo | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | | | | | |

**Maio 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | | |

**Junho 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 |
| 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

**Julho 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 |

**Setembro 2013**

| Seg | Ter | Qua | Quin | Sex | Sáb | Dom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 |
| 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 | | | | | | |

Época Especial | Aulas | Férias Escolares | Jortec | Feriados | Estudo | Exames
Período Intercalar | Lançamento Notas | Entrega de Dissertações e Teses

# APÊNDICE C

| ATIVA 2012 (kW) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dia** | **Jan** | **Fev** | **Mar** | **Abr** | **Mai** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Set** | **Out** | **Nov** | **Dez** |
| 1 | 0 | 1 254 | 1 176 | 0 | 679 | 1 119 | 0 | 923 | 570 | 1 003 | 671 | 636 |
| 2 | 1 066 | 1 262 | 1 124 | 1 035 | 1 107 | 693 | 989 | 912 | 0 | 1 028 | 1 003 | 0 |
| 3 | 1 217 | 1 293 | 722 | 1 034 | 1 059 | 0 | 1 048 | 853 | 941 | 1 032 | 644 | 1 292 |
| 4 | 1 193 | 761 | 0 | 949 | 1 014 | 1 117 | 1 047 | 639 | 1 002 | 1 008 | 0 | 1 316 |
| 5 | 1 202 | 0 | 1 096 | 866 | 651 | 1 132 | 1 009 | 0 | 1 013 | 674 | 1 061 | 1 251 |
| 6 | 1 129 | 1 244 | 1 129 | 637 | 0 | 1 149 | 980 | 808 | 1 067 | 647 | 1 073 | 1 309 |
| 7 | 707 | 1 216 | 1 098 | 603 | 1 130 | 764 | 682 | 837 | 1 028 | 0 | 1 145 | 1 128 |
| 8 | 0 | 1 241 | 1 069 | 0 | 1 072 | 1 019 | 0 | 837 | 650 | 1 076 | 1 124 | 430 |
| 9 | 1 238 | 1 272 | 980 | 708 | 1 092 | 681 | 1 018 | 862 | 0 | 1 133 | 1 098 | 0 |
| 10 | 1 268 | 1 216 | 651 | 957 | 1 117 | 0 | 1 004 | 801 | 1 055 | 1 115 | 683 | 1 259 |
| 11 | 1 272 | 726 | 0 | 1 063 | 1 125 | 1 016 | 1 004 | 587 | 1 091 | 1 133 | 0 | 1 292 |
| 12 | 1 339 | 0 | 1 015 | 1 081 | 716 | 1 000 | 1 026 | 0 | 1 134 | 1 057 | 1 132 | 1 335 |
| 13 | 1 228 | 1 341 | 1 046 | 1 015 | 0 | 748 | 1 017 | 656 | 1 125 | 677 | 1 142 | 1 255 |
| 14 | 741 | 1 243 | 1 045 | 676 | 1 173 | 1 012 | 689 | 645 | 1 102 | 0 | 1 025 | 1 209 |
| 15 | 0 | 1 242 | 1 100 | 0 | 1 192 | 1 023 | 0 | 587 | 694 | 1 003 | 1 206 | 723 |
| 16 | 1 296 | 1 167 | 1 056 | 1 060 | 1 228 | 680 | 1 136 | 609 | 0 | 1 051 | 1 183 | 0 |
| 17 | 1 290 | 1 107 | 681 | 1 074 | 1 138 | 0 | 1 235 | 600 | 1 126 | 1 063 | 645 | 1 193 |
| 18 | 1 289 | 665 | 0 | 1 100 | 1 073 | 1 009 | 1 257 | 547 | 1 128 | 1 101 | 0 | 1 107 |
| 19 | 1 246 | 0 | 1 109 | 1 107 | 684 | 1 006 | 1 216 | 0 | 1 136 | 1 035 | 1 115 | 1 153 |
| 20 | 1 175 | 1 067 | 1 133 | 1 054 | 0 | 995 | 1 117 | 642 | 1 129 | 673 | 1 208 | 0 |
| 21 | 727 | 961 | 1 093 | 663 | 1 053 | 1 000 | 753 | 660 | 1 100 | 0 | 1 149 | 0 |
| 22 | 0 | 1 105 | 1 076 | 0 | 1 080 | 957 | 0 | 641 | 696 | 1 038 | 1 132 | 0 |
| 23 | 1 241 | 1 155 | 1 067 | 1 095 | 1 119 | 662 | 1 083 | 632 | 0 | 1 052 | 1 149 | 0 |
| 24 | 1 208 | 1 115 | 693 | 1 095 | 1 107 | 0 | 1 063 | 602 | 1 040 | 1 067 | 689 | 0 |
| 25 | 1 221 | 678 | 0 | 710 | 1 048 | 1 187 | 1 062 | 276 | 1 061 | 1 095 | 0 | 0 |
| 26 | 1 198 | 0 | 1 045 | 1 100 | 691 | 1 236 | 1 049 | 0 | 1 054 | 1 022 | 1 187 | 0 |
| 27 | 1 149 | 1 126 | 1 040 | 1 061 | 0 | 1 140 | 1 002 | 637 | 1 053 | 660 | 1 256 | 0 |
| 28 | 713 | 1 201 | 1 039 | 670 | 1 067 | 1 117 | 682 | 723 | 987 | 0 | 1 216 | 0 |
| 29 | 0 | 1 146 | 1 060 | 0 | 1 082 | 1 040 | 0 | 720 | 692 | 1 091 | 1 226 | 0 |
| 30 | 1 275 | 0 | 1 062 | 1 035 | 1 091 | 703 | 989 | 717 | 0 | 1 063 | 1 255 | 0 |
| 31 | 1 265 | 0 | 658 | 0 | 1 147 | 0 | 970 | 734 | 0 | 1 056 | 0 | 0 |

| REATIVA 2012 (kVAr) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dia** | **Jan** | **Fev** | **Mar** | **Abr** | **Mai** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Set** | **Out** | **Nov** | **Dez** |
| 1 | 0 | 524 | 517 | 0 | 304 | 611 | 0 | 471 | 224 | 511 | 308 | 252 |
| 2 | 493 | 549 | 515 | 515 | 550 | 302 | 517 | 467 | 0 | 519 | 526 | 0 |
| 3 | 563 | 553 | 317 | 505 | 527 | 0 | 542 | 417 | 447 | 520 | 289 | 566 |
| 4 | 564 | 331 | 0 | 470 | 516 | 617 | 549 | 273 | 496 | 513 | 0 | 614 |
| 5 | 574 | 0 | 495 | 408 | 299 | 569 | 521 | 0 | 509 | 333 | 540 | 602 |
| 6 | 524 | 514 | 531 | 261 | 0 | 663 | 484 | 404 | 541 | 306 | 551 | 641 |
| 7 | 341 | 517 | 542 | 248 | 568 | 355 | 303 | 405 | 523 | 0 | 572 | 576 |
| 8 | 0 | 541 | 523 | 0 | 517 | 538 | 0 | 390 | 289 | 544 | 551 | 172 |
| 9 | 567 | 526 | 464 | 330 | 569 | 298 | 535 | 407 | 0 | 606 | 534 | 0 |
| 10 | 584 | 517 | 286 | 455 | 569 | 0 | 505 | 362 | 542 | 576 | 312 | 590 |
| 11 | 588 | 321 | 0 | 533 | 602 | 548 | 515 | 232 | 565 | 579 | 0 | 613 |
| 12 | 606 | 0 | 470 | 512 | 315 | 539 | 517 | 0 | 582 | 543 | 519 | 616 |
| 13 | 577 | 518 | 513 | 462 | 0 | 381 | 516 | 323 | 559 | 313 | 536 | 598 |
| 14 | 350 | 528 | 510 | 299 | 645 | 559 | 317 | 284 | 548 | 0 | 461 | 585 |
| 15 | 0 | 527 | 546 | 0 | 643 | 565 | 0 | 235 | 312 | 507 | 584 | 370 |
| 16 | 597 | 498 | 539 | 503 | 649 | 283 | 562 | 249 | 0 | 559 | 592 | 0 |
| 17 | 566 | 477 | 358 | 503 | 615 | 0 | 598 | 238 | 585 | 549 | 294 | 610 |
| 18 | 580 | 285 | 0 | 542 | 598 | 568 | 599 | 210 | 563 | 563 | 0 | 573 |
| 19 | 567 | 0 | 535 | 548 | 310 | 537 | 613 | 0 | 578 | 491 | 535 | 581 |
| 20 | 539 | 467 | 565 | 508 | 0 | 508 | 564 | 250 | 553 | 303 | 621 | 0 |
| 21 | 340 | 437 | 530 | 300 | 650 | 514 | 327 | 270 | 580 | 0 | 560 | 0 |
| 22 | 0 | 490 | 491 | 0 | 669 | 486 | 0 | 276 | 289 | 503 | 515 | 0 |
| 23 | 532 | 530 | 489 | 526 | 722 | 290 | 565 | 250 | 0 | 506 | 542 | 0 |
| 24 | 506 | 493 | 322 | 543 | 732 | 0 | 547 | 252 | 550 | 495 | 293 | 0 |
| 25 | 530 | 291 | 0 | 328 | 645 | 595 | 550 | 109 | 546 | 522 | 0 | 0 |
| 26 | 496 | 0 | 521 | 538 | 404 | 614 | 541 | 0 | 557 | 505 | 541 | 0 |
| 27 | 483 | 498 | 517 | 495 | 0 | 572 | 521 | 304 | 569 | 257 | 581 | 0 |
| 28 | 303 | 530 | 528 | 296 | 584 | 560 | 300 | 347 | 508 | 0 | 558 | 0 |
| 29 | 0 | 500 | 548 | 0 | 584 | 523 | 0 | 337 | 329 | 564 | 549 | 0 |
| 30 | 522 | 0 | 523 | 514 | 563 | 328 | 505 | 329 | 0 | 545 | 557 | 0 |
| 31 | 535 | 0 | 299 | 0 | 587 | 0 | 508 | 345 | 0 | 566 | 0 | 0 |

| POTÊNCIAS DE COMPENSAÇÃO | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Máximo** | 214 | 183 | 230 | 216 | 400 | 319 | 248 | 194 | 253 | 266 | 259 | 252 |
| **COMPENSAÇÃO 2012 (kVAr)** | | | | | | | | | | | | |
| **Dia** | **Jan** | **Fev** | **Mar** | **Abr** | **Mai** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Set** | **Out** | **Nov** | **Dez** |
| 1 | 0 | 148 | 164 | 0 | 100 | 275 | 0 | 194 | 53 | 210 | 107 | 61 |
| 2 | 173 | 170 | 178 | 204 | 218 | 94 | 220 | 193 | 0 | 210 | 226 | 0 |
| 3 | 198 | 165 | 101 | 195 | 209 | 0 | 228 | 161 | 165 | 211 | 96 | 178 |
| 4 | 207 | 103 | 0 | 185 | 212 | 282 | 235 | 82 | 195 | 211 | 0 | 219 |
| 5 | 214 | 0 | 167 | 148 | 103 | 230 | 219 | 0 | 205 | 131 | 222 | 227 |
| 6 | 185 | 140 | 192 | 70 | 0 | 319 | 190 | 162 | 221 | 112 | 229 | 248 |
| 7 | 129 | 152 | 212 | 67 | 229 | 126 | 98 | 154 | 215 | 0 | 228 | 237 |
| 8 | 0 | 168 | 202 | 0 | 195 | 232 | 0 | 139 | 94 | 221 | 214 | 43 |
| 9 | 196 | 144 | 170 | 118 | 241 | 94 | 230 | 148 | 0 | 266 | 204 | 0 |
| 10 | 203 | 153 | 90 | 168 | 234 | 0 | 204 | 122 | 226 | 241 | 108 | 212 |
| 11 | 207 | 103 | 0 | 214 | 264 | 243 | 213 | 55 | 238 | 239 | 0 | 225 |
| 12 | 205 | 0 | 166 | 187 | 101 | 239 | 209 | 0 | 242 | 226 | 180 | 216 |
| 13 | 209 | 115 | 199 | 158 | 0 | 156 | 211 | 126 | 221 | 110 | 194 | 221 |
| 14 | 128 | 155 | 196 | 96 | 293 | 255 | 110 | 91 | 218 | 0 | 153 | 222 |
| 15 | 0 | 155 | 216 | 0 | 285 | 258 | 0 | 59 | 104 | 206 | 222 | 153 |
| 16 | 208 | 148 | 222 | 185 | 280 | 79 | 221 | 67 | 0 | 244 | 237 | 0 |
| 17 | 179 | 144 | 154 | 181 | 274 | 0 | 227 | 58 | 247 | 230 | 101 | 252 |
| 18 | 194 | 86 | 0 | 212 | 276 | 265 | 222 | 46 | 224 | 232 | 0 | 241 |
| 19 | 194 | 0 | 202 | 216 | 105 | 235 | 248 | 0 | 237 | 180 | 201 | 235 |
| 20 | 186 | 147 | 225 | 192 | 0 | 210 | 229 | 58 | 215 | 101 | 259 | 0 |
| 21 | 122 | 149 | 202 | 101 | 334 | 214 | 102 | 72 | 250 | 0 | 215 | 0 |
| 22 | 0 | 159 | 168 | 0 | 345 | 199 | 0 | 84 | 81 | 192 | 176 | 0 |
| 23 | 159 | 183 | 169 | 198 | 387 | 92 | 240 | 60 | 0 | 190 | 198 | 0 |
| 24 | 144 | 159 | 115 | 215 | 400 | 0 | 228 | 71 | 238 | 175 | 86 | 0 |
| 25 | 164 | 88 | 0 | 115 | 330 | 239 | 231 | 26 | 228 | 193 | 0 | 0 |
| 26 | 137 | 0 | 207 | 208 | 197 | 243 | 226 | 0 | 241 | 198 | 185 | 0 |
| 27 | 138 | 160 | 206 | 176 | 0 | 230 | 220 | 113 | 253 | 59 | 204 | 0 |
| 28 | 89 | 170 | 217 | 95 | 264 | 225 | 95 | 131 | 212 | 0 | 194 | 0 |
| 29 | 0 | 156 | 230 | 0 | 259 | 211 | 0 | 121 | 121 | 237 | 181 | 0 |
| 30 | 140 | 0 | 204 | 203 | 236 | 117 | 208 | 114 | 0 | 227 | 180 | 0 |
| 31 | 155 | 0 | 101 | 0 | 243 | 0 | 217 | 125 | 0 | 249 | 0 | 0 |

| | | |
|---|---|---|
| Tolerância | 0,3 | (tg φ ) |
| Potência | 0 | kVAr |

# APÊNDICE D

| Consumo Mensal de Gás Propano na FCT-UNL | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2012** | | **Jan** | **Fev** | **Mar** | **Abr** | **Mai** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Set** | **Out** | **Nov** | **Dez** | **Total** |
| Consumo Propano | Total (t) | 12,74 | 15,38 | 19,93 | 4,92 | 3,43 | 3,66 | 3,30 | 0 | 1,66 | 4,52 | 3,23 | 9,34 | 82,11 |
| | Total (kWh) | 172 031 | 207 684 | 269 109 | 66 420 | 46 332 | 49 383 | 44 510 | 0 | 22 424 | 60 953 | 43 578 | 126 117 | 1 108 539 |
| | Total (€) | 17 312 | 21 203 | 27 545 | 6 019 | 4 277 | 4 559 | 3 905 | 0 | 2 055 | 5 659 | 4 275 | 14 754 | 111 562 |
| | Total ($m^3$) | 15 929 | 19 230 | 24 918 | 6 150 | 4 290 | 4 573 | 4 121 | 0 | 2 076 | 5 644 | 4 035 | 11 678 | 102 643 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Fator Conversão $m^3$ para kWh | | 13,02 | 11,74 | 12,85 | 13,13 | 12,94 | 11,72 | 11,76 | 11,86 | 11,92 | 11,98 | 13,07 | 11,96 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Consumo Natural | Total (kWh) | 207 463 | 225 839 | 320 125 | 80 722 | 55 505 | 53 611 | 48 448 | 0 | 24 756 | 67 635 | 52 720 | 139 691 | 1 276 514 |
| | Total (€) | 11 659 | 12 692 | 17 991 | 4 537 | 3 119 | 3 013 | 2 723 | 0 | 1 391 | 3 801 | 2 963 | 7 851 | 71 740 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Poupança | Total (€) | 5 653 | 8 511 | 9 554 | 1 482 | 1 158 | 1 546 | 1 182 | 0 | 664 | 1 858 | 1 312 | 6 903 | 39 822 |

| | | |
|---|---|---|
| Preço Gás Natural | 0,0562 | €/kWh |
| 1 kg Gás Propano | 1,25 | $m^3$ Gás Natural |
| 1 kg Gás Propano | 13,5 | kWh |