

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Criação de uma Baseline para um Contrato de Desempenho Energético

Pedro Miguel Oliveira Vasconcelos

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Professor Adriano da Silva Carvalho
Coorientador: Dr. Joaquim Guedes

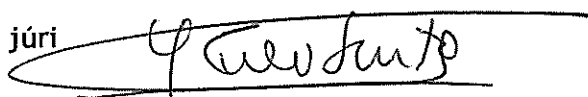
Julho 2013

A Dissertação intitulada

“Criação de uma Baseline para um Contrato de Desempenho Energético”

foi aprovada em provas realizadas em 23-07-2013

o júri



Presidente Professor Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Davide Baptista da Fonseca
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electromecânica do Universidade
da Beira Interior

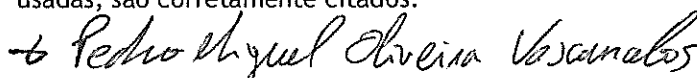


Professor Doutor Adriano da Silva Carvalho
Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Doutor Joaquim Guedes
Diretor Executivo da Empresa - Ecoinside

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Pedro Miguel Oliveira Vasconcelos

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

A eficiência energética é, atualmente, um tema de destaque na agenda das empresas e governos a nível mundial, tanto pela sua influência e importância económica, como ambiental. Neste contexto, tem-se verificado uma proliferação na investigação a nível nacional e internacional, sendo uma constante a importância de uma boa gestão energética.

Por forma a conseguir responder com a capacidade e fiabilidade que este problema concerne, torna-se imprescindível adotar uma visão holística e alargada da eficiência energética, estudando todas as variáveis que influenciam o seu consumo - desde a envolvente do edifício, aos hábitos comportamentais dos seus ocupantes, às condições climatéricas, até às mais recentes evoluções tecnológicas nos equipamentos do setor.

Neste âmbito, a realização da presente dissertação tem como objetivo criar uma *baseline* para um contrato de desempenho energético (EPC), com base em dados recolhidos através da monitorização dos fluxos de energia que percorrem uma organização, no intuito de identificar quais as variáveis que mais influenciam o consumo energético. Analisando cuidadosamente essas variáveis, importa identificar a razão pela qual apresentam um peso tão significativo na fatura energética e, assim, apresentar soluções a implementar no terreno que melhorem o desempenho energético global da instalação. Após identificadas as medidas, é necessário realizar uma análise financeira onde consta a descrição dos resultados do projeto, que advém das poupanças energéticas espectáveis, com o objetivo de avaliar a viabilidade económica do contrato para as ESCO.

Com esta metodologia será iniciada a primeira fase do desenvolvimento de uma ferramenta baseada em métodos de *data mining* com redes neuronais (RN) e processos de *benchmarking*, que permitirá obter o potencial de poupanças energéticas de uma determinada instalação.

A chave do problema está na aplicação de toda esta metodologia sem nunca alterar as condições de conforto dos seus ocupantes ou o propósito final da instalação, sendo serviços ou produtos.

Palavras-Chave: Eficiência Energética; ESCO; EPC; Variáveis; *Data Mining*; Redes Neuronais; *Benchmarking*;

Abstract

Nowadays, energy efficiency is an outstanding topic on the companies and governments' agenda at a worldwide level, for its influence, economic and environmental importance. In this context, there has been a proliferation of investigation at a national and international level, always being the importance of a good energetic management a constant detail to consider.

In order to be able to respond with the ability and liability that this problem demands, it has become indispensable to adopt a holistic and broad view of the energy efficiency-studying all the variables that influence its consumption - from the surroundings of the buildings, to the behavior habits of its inhabitants, to the climate conditions, to the most recent technological evolutions on the equipment of the sector.

On this level, the present thesis has the objective of creating a baseline for an energy performance contract (EPC), based on data achieved through the monitoring of the flows of energy that go through an organization, with the intention of identifying which are the variables that influence the energetic consumption the most. By carefully analysing those variables, it's important to identify the reason why they represent such a significant weight on the energetic bill and, thus, come out with solutions that improve the global energetic performance of the installation. After the identification of the measures, it is necessary to make a financial analysis with the description of the results of the project, which result from the expected energy savings, with the purpose of evaluating the economic liability of the contract.

The first phase of the development of a data mining tool with artificial neural networks (ANNs) and benchmarking process that will allow the acquisition of the potential of savings of a certain installation will be started with this methodology.

The key to the problem is on the application of all this methodology without ever changing the conditions of comfort of its occupants or the final purpose of the installation, being services or products.

Keywords: Energy Efficiency, ESCO, EPC, Variables, Data Mining, Artificial Neural Networks; Benchmarking;

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Professor Adriano da Silva Carvalho, por todo o apoio, pelas críticas e interesse que manifestou ao longo da realização deste trabalho, tendo sido, no verdadeiro significado da palavra, um orientador.

Ao Dr. Joaquim Guedes, pela visão, confiança, disponibilidade e ideias relevantes que foi sugerindo ao longo do último ano.

À empresa e toda a equipa *Ecoinside®*, pela excelente colaboração e por ter fornecido todos os dados e recursos necessários para o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também aos meus amigos e colegas, pelos bons momentos que passamos ao longo dos últimos anos e pelo apoio nos momentos mais difíceis durante todo o percurso académico, em especial aos Eng.ºs Tiago Rodrigues e Ruben Fernandes.

Por último, quero agradecer aos meus pais e à minha irmã, pela educação e valores que me transmitiram durante toda a vida, e por terem disponibilizado todos os recursos que fizeram com que eu chegasse onde cheguei hoje.

"A personalidade criadora deve pensar e julgar por si mesma, porque o progresso moral da sociedade depende exclusivamente da sua independência."

Albert Einstein

Índice

Resumo	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos	v
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xiv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Apresentação <i>Ecoinside</i> ®.....	5
1.3. Objetivos	6
1.4. Estrutura da dissertação.....	7
Capítulo 2	9
Estado da Arte.....	9
2.1. Introdução.....	9
2.2. História das ESCO	9
2.3. Definição de ESCO	10
2.4. Diferentes vertentes associadas ao conceito de ESCO	11
2.5. O que é um Contrato de Desempenho Energético? (EPC).....	12
2.6. Tipos de Contratos de Desempenho Energético	14
2.7. Análise de mercado.....	18
2.8. Barreiras comuns.....	20
2.9. Fatores de sucesso e recomendações futuras.....	22
Capítulo 3	25
Contrato de desempenho energético.....	25
3.1. Introdução.....	25
3.2. Estrutura do contrato	26
3.3. Planeamento estratégico das MRE	27

3.4. Processo de implementação	27
3.5. Análise e parâmetros financeiros	28
Capítulo 4	33
Monitorização	33
4.1. Introdução	33
4.2. Normas e Protocolos	36
4.3. Estrutura do plano de medição e verificação.....	39
4.4. Variáveis independentes	40
4.5. Conforto térmico no ambiente de trabalho.....	41
4.6. Otimização das necessidades nominais de energia	43
4.7. Marcas de Referência (Benchmarking)	48
4.8. Modelação da baseline de consumo	61
4.9. Desenvolvimento de uma ferramenta para fornecer o potencial de poupança energética.....	66
4.10. Equipamentos usados para monitorização	74
Capítulo 5	77
Casos de Estudo	77
5.1. Caso de estudo - Edifício de Serviços	77
5.2. Caso de estudo - Agência Bancária	88
Capítulo 6	109
Conclusão	109
Referências	113
Anexos	117
Anexo I.....	117
Anexo II	123
Anexo III	125
Anexo IV	129
Anexo V.....	131

Lista de figuras

Figura 1.1 - Consumo de energia à escala global [1]	2
Figura 2.1 - EPC modelo de negócio - <i>Shared and Guaranteed Savings</i> [20]	16
Figura 2.2- Distribuição dos proveitos [21]	16
Figura 2.3 - Duração do contrato de performance face às poupanças [22].	17
Figura 3.1 - Selecionar opções de contrato [3]	26
Figura 3.2 - Representação gráfica da ajuda à decisão	30
Figura 4.1 - Fator de forma de cada tipo de edifício [37].	47
Figura 4.2- Número de agências com potencial de redução	51
Figura 4.3 - Comparação entre método 1 e real faturado	52
Figura 4.4 - Comparação entre método 2 e real faturado	52
Figura 4.5 - Comparação entre método 3 e real faturado	53
Figura 4.6 - Comparação entre método 4 e real faturado	53
Figura 4.7 - Gráfico regressão linear Consumo vs Área	54
Figura 4.8 - Variáveis mais influentes no consumo anual	57
Figura 4.9 - Impacto relativo das variáveis independentes no consumo geral	58
Figura 4.10- Impacto relativo das variáveis de conforto no consumo de AVAC	59
Figura 4.11- Impacto relativo das variáveis externas no consumo de AVAC	60
Figura 4.12 - Esquema de um neurónio biológico [43]	62
Figura 4.13 - Rede Neuronal (<i>Feedforward</i>) [43]	63

Figura 4.14 - Operações executadas num nó genérico, designado como de ordem x na camada k , recebendo sinais da camada anterior p , depois de afetados pelos pesos w das ligações [43]	63
Figura 4.15 - Funções de ativação em degrau, em rampa e sigmoide [43].....	64
Figura 4.16 - Rede neuronal (<i>Feedback</i>) [43]	64
Figura 4.17 - Sobre-treino: a partir de dada época de treino t^* , o erro ETR no conjunto de treino decresce mas o erro EVL no conjunto de validação cresce, revelando que a rede se sobre adapta ao conjunto de treino mas perde capacidade de generalização [43]	65
Figura 4.18 - Processos chave da ferramenta em desenvolvimento.	67
Figura 4.19 - Arquitetura da Rede Neuronal usada	68
Figura 4.20 - Conjunto de iterações de treino	68
Figura 4.21 - Distribuição do erro médio quadrático	68
Figura 4.22 - Coeficiente R nas várias fases de criação da Rede Neuronal.....	69
Figura 4.23 - Comparação entre consumo calculado através do RCCTE e Rede Neuronal	70
Figura 4.24 - Erro médio quadrático, RN agência Lisboa	71
Figura 4.25 - Coeficiente R, RN agência Lisboa	71
Figura 4.26 - Comparação entre consumos reais e previstos pela rede neuronal.	72
Figura 4.27- Coeficiente R, RN Total Agências	72
Figura 4.28 - Quadro do sistema <i>Rulergy</i> TM	74
Figura 4.29 - Aspeto geral do Portal de Monitorização Remota	74
Figura 4.30 - Fluke 434 [50].	75
Figura 4.31 - Fluke 345 [50].	75
Figura 4.32 - Exemplo de aplicação do Fluke 434.	75
Figura 4.33 - Exemplo de montagem do fluke 434 (2).	75
Figura 5.1 - Desagregação dos custos pelas várias áreas de consumo.....	78
Figura 5.2 - Desagregação de consumos de energia elétrica	78
Figura 5.3 - Período de recuperação do investimento para cliente e resultado líquido acumulado (risco 100% cliente); contrato 6 anos; remuneração 20%.	81
Figura 5.4 - Relação entre investimento e poupança anual (€).	82
Figura 5.5 - Relação entre investimento e taxa interna de rentabilidade.	82
Figura 5.6 - Análise financeira EPC edifício de serviços	83

Figura 5.7- PRI, 0% cliente - 100% empresa - remuneração 80% - contrato 6 anos.....	86
Figura 5.8 - Planta da Agência X	90
Figura 5.9 - Desagregação de consumos por tipo de equipamento.	92
Figura 5.10 - Desagregação de consumos de iluminação por espaço.	92
Figura 5.11 - Desagregação dos consumos da iluminação.	92
Figura 5.12- Questão 1	93
Figura 5.13 - Questão 2	93
Figura 5.14 - Questão 3	94
Figura 5.15 - Questão 4	94
Figura 5.16 - Cenário atual.....	96
Figura 5.17 - Cenário futuro	97
Figura 5.18 - Imagem luminária futura 2x13 W.....	97
Figura 5.19 - Imagem luminária atual 2x36W	97
Figura 5.20 - Desequilíbrio entre fases atual	98
Figura 5.21 - Desequilíbrio entre fases corrigido.....	99
Figura 5.22 - Análise financeira EPC agências bancárias	103
Figura 5.23 - PRI, Risco 0% cliente - 100% empresa, remuneração 80% - contrato 6 anos.	104
Figura 5.24 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o aumento da percentagem de poupanças remunerada à ESCO (<i>Guaranteed Savings</i>).	105
Figura 5.25 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o Período de Contrato	106
Figura 5.26 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o aumento da percentagem de poupanças remunerada à ESCO (<i>Shared Savings</i>).	106
Figura 5.27 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o Período de Contrato (<i>Shared Savings</i>).	107

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação entre os modelos <i>Guaranteed Savings</i> e <i>Shared Savings</i> [16].....	15
Tabela 2 - Mercado Português das ESCO [23]	19
Tabela 3 - Média do indicador segundo diferentes métodos.	50
Tabela 4 - Percentagem de Potencial de Poupanças	51
Tabela 5 - Coeficientes de correlação entre variáveis externas e consumo anual (kWh)	54
Tabela 6 - Comparação Agências Évora vs Setúbal	55
Tabela 7 - Comparação Agências Reguengos Monsaraz vs Vila Real	55
Tabela 8 - Comparação Agências Júlio Dinis vs Viana do Castelo	56
Tabela 9 - Inputs introduzidos no teste da rede neuronal.....	71
Tabela 10 - <i>Guaranteed Savings</i>	80
Tabela 11 - Taxa interna de rentabilidade cliente, investimento e poupanças (€ e kwh/ano).	81
Tabela 12 - Taxa interna de rentabilidade e resultado líquido acumulado ESCO - <i>Guaranteed Savings</i>	83
Tabela 13 - Balanço financeiro Cliente de ESCO - Edifício Serviços.	85
Tabela 14 - <i>Shared Savings</i>	86
Tabela 15 - Taxa interna de rentabilidade e resultado líquido acumulado ESCO -	87
Tabela 16 - Descrição Geral da Agência	88
Tabela 17 - Circuitos Monitorizados Agência X	89
Tabela 18 - Substituição das Luminárias do Front Office	98

Tabela 19- Balanço medidas agência X.	99
Tabela 20 - Balanço medidas 4 agências	100
Tabela 21 - Dados financeiros para construção do EPC	101
Tabela 22 - Balanço financeiro Cliente de ESCO - Agências Bancárias	102
Tabela 23- Shared Savings.....	104
Tabela 24 - Rendibilidade e resultados líquidos ESCO	104

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

NAESCO/LBNL - National Association of Energy Service Companies / Lawrence Berkeley National Laboratory

M&V - Medição e Verificação

EPC - Energy Performance Contract (em português “Contrato de desempenho energético”)

ESCO - Energy Service Company (em português “Empresa de serviços energéticos”)

Ni - Necessidades de Aquecimento

Nv - Necessidades de Arrefecimento

EMS - Energy Management System

SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAC - Programa Nacional para as Alterações Climáticas

IPMVP - International Performance Measurement & Verification Protocol

SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

MRE - Medidas de Racionalização Energética

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

RESCO - Retail Energy Service Companies

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

EPC - Contrato desempenho energético

PME - Pequena Média Empresa

kWh - Kilowatt hora

EU - European Union (em português “União Europeia”)

EC - European Commission (em português “Comissão Europeia”)

ELENA - European Local Energy Assistance

EVO - Efficiency Valuation Organization
PDCA - Plan-Do-Check-Act
IDE - Indicador Desempenho Energético
EUA - Estados Unidos da América
TIR - Taxa interna de rentabilidade
VAL - Valor Atual Líquido
RN - Rede Neuronal
GD - Graus dia de aquecimento

Capítulo 1

Introdução

A redação deste capítulo tem como objetivo fundamental, enquadrar a eficiência energética nos panoramas nacional e internacional, apresentar a empresa onde foi realizada esta dissertação, os objetivos traçados inicialmente, assim como a sua estrutura.

1.1. Enquadramento

Em todo mundo, a eficiência energética está rapidamente a tornar-se numa ferramenta essencial para atender a um crescimento substancial na procura de energia.

Prevê-se que a procura de energia irá aumentar, em média, 1,2% ao ano, em termos globais, como resultado da recuperação e crescimento económico, bem como do aumento populacional. Em 2030, estima-se que a utilização mundial de energia será quase 35% maior do que é atualmente.

A tendência de crescimento do consumo energético será dominada pela China, Índia e outros países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE). Por sua vez, nos países da OCDE, o consumo energético permanecerá essencialmente estável, com a expectativa de que as emissões de CO₂ diminuam.

2 Introdução

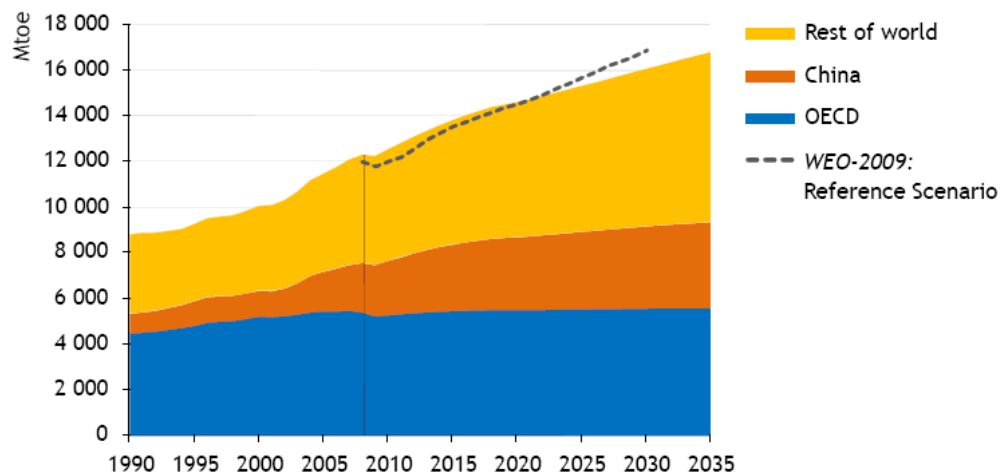


Figura 1.1 - Consumo de energia à escala global [1]

Posto este cenário, e para além do necessário uso das fontes de energia alternativa, um dos “combustíveis” mais importantes é a eficiência energética. A energia economizada através de uma boa gestão da energia, será maior que a de qualquer outra fonte individual, reduzindo assim a procura de combustíveis fósseis.

Os programas de eficiência energética, numa lógica de “win-win”, proporcionam retornos positivos para governos, consumidores e meio ambiente. Estes programas permitem poupar recursos naturais, reduzir a poluição ambiental, as emissões de carbono, a dependência de um país em relação a combustíveis fósseis e melhorar a segurança energética.

Mais do que a questão ambiental, para as organizações, destaca-se o problema económico. Como as reservas de combustível fóssil são cada vez mais difíceis de alcançar, os seus custos de exploração e preços finais tendem a aumentar.

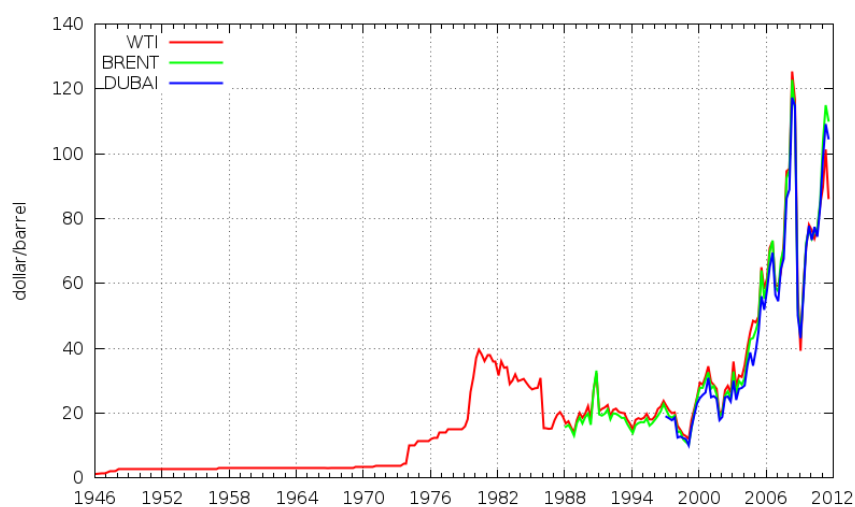


Figura 1.2 - Evolução do custo do petróleo nos mercados internacionais [1]

Assim, a redução dos custos operacionais apresenta-se, mais do que nunca, como uma alternativa de assegurar a sustentabilidade das empresas e melhorar a competitividade industrial e comercial, num mercado cada vez mais competitivo.

Importa, pois, ter conhecimento dos consumos energéticos, nomeadamente onde, quando, quanto, como e porque se consome energia [1]. Por isso, a eficiência energética é, neste âmbito, uma filosofia de gestão que encoraja o mundo empresarial a procurar melhorias ambientais que potenciem, simultaneamente, benefícios económicos. Concentra-se em oportunidades de negócio e permite às empresas tornarem-se mais responsáveis do ponto de vista ambiental e mais lucrativas. Incentiva a inovação e, por conseguinte, o crescimento e a competitividade [2].

Não obstante, apesar destas vantagens promissoras, ainda persiste alguma dificuldade para alcançar estes ganhos de eficiência em diversos países, devido à relutância institucional em aceitar estes projetos. Essa resistência deve-se à complexidade, financiamento e implementação que os projetos implicam. Por forma a fazer face a este problema têm sido desenvolvidos alguns mecanismos, como *Energy Management Systems* (EMS) e Empresas de Serviços Energéticos, de seguida designadas como ESCO, para ultrapassar estes desafios e a consciência institucional. No entanto, a experiência tem vindo a demonstrar que estes projetos devem ser desenhados com muita precisão e completamente adaptados a cada instalação e às necessidades da mesma. [3]

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. Para contornar esta situação, os Estados-Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios. É neste contexto que surge a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios [4]. Com base no Decreto-Lei supracitado, surge, em Portugal o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), que vem assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [5].

No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, foi publicado o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, que regulamenta o SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. Este Sistema aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumos superiores a 500 tep/ano, resultando da revisão do RGCE- Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia, uma das medidas constantes do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [6]. Este Decreto-lei, que regula o sistema de gestão dos

4 Introdução

consumos intensivos de energia, tem como objetivo a promoção da eficiência energética e monitorização dos consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia [7].

Apesar da melhoria recente da intensidade energética¹, Portugal regista valores superiores à média europeia. Por isso, e para estimular a economia do setor das empresas de serviços energéticos, em 2011 foi apresentado pelo governo Português o programa “ECO.AP”. Esta iniciativa foi lançada através da presente resolução, em desenvolvimento do PNAEE e da ENE 2020, que tem como objetivo obter um nível de eficiência energética na ordem dos 30% nos organismos da administração pública até 2020, sem aumentar a despesa pública. O ECO.AP é um programa evolutivo que se traduz num conjunto de medidas de eficiência energética para execução a curto, médio e longo prazos nos serviços, organismos e equipamentos públicos e que visa alterar comportamentos e promover uma gestão racional dos serviços energéticos, nomeadamente através da contratação de ESCOs. A abordagem prevista no Programa ECO.AP contribuirá também para a concretização dos objetivos estabelecidos no Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), uma vez que, a redução do consumo de energia, vai consequentemente permitir a redução da emissão de gases com efeito de estufa [8].

Para aumentar os investimentos na eficiência energética e consumo eficiente de água, gestão do consumo e projetos de energia renovável em todo o mundo, foi publicado o *International Performance Measurement & Verification Protocol* (IPMVP). Este protocolo fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exatidão, para determinar poupanças para toda a instalação ou para medidas individuais de racionalização de energia, contribuindo para o procedimento formal de verificação de contratos de eficiência energética [9].

Por último, foi estudada a Norma ISO 50001, que é baseada em elementos comuns das normas ISO 9001, ISO 14001 e do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Tem como objetivo permitir que as organizações estabeleçam os sistemas e processos essenciais para melhorar o desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo de energia. Esta norma ajuda a promover a transparência, facilita a comunicação sobre a gestão dos recursos energéticos e enquadra a promoção da eficiência energética em toda a cadeia de fornecimento [10].

¹ É um indicador de eficiência energética que traduz a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia / produto.

1.2. Apresentação *Ecoinside*®

A *Ecoinside*® desenvolve, desde a sua criação, duas áreas de negócios mutuamente complementares nas quais possui já um vasto *know-how* reconhecido: a ecoeficiência e a biodiversidade.

O compromisso da *Ecoinside*® com a sociedade é o de assumir internamente no seu funcionamento do dia-a-dia, atitudes, comportamentos e políticas estratégicas aplicadas, revolucionárias e de referência em termos de inovação que contribuam para o desenvolvimento económico sustentável e inteligente.

A filosofia de base assenta também no estabelecimento de uma relação inovadora com os seus clientes. Assim, ultrapassa uma ligação meramente comercial e pontual, apostando numa relação de parceria dinâmica, em que é vista como mais uma unidade funcional, integrada na estrutura empresarial dos clientes, e proporcionando soluções para a globalidade das questões relacionadas com as mais exigentes normas de desenvolvimento sustentável, da ecoeficiência empresarial e da conservação e valorização da biodiversidade [11].

Para conseguir descrever o valor que a ideia de negócio desta empresa oferece aos seus clientes, foi elaborado o seu modelo de negócio, de onde foram retirados os pontos fulcrais:

1.2.1. Proposta de valor

Dos serviços que a *Ecoinside*® oferece aos seus clientes, e pelos quais se compromete a criar valor, destacam-se: a redução e racionalização dos consumos energéticos (iluminação, aquecimento/arrefecimento ou funcionamento), a otimização dos consumos de água, a gestão e valorização dos desperdícios e resíduos produzidos, e, ainda, redução das emissões gasosas - nomeadamente de gases que contribuem para o aquecimento global e gases depletos da camada do ozono.

Esta empresa apresenta soluções “chave-na-mão” com uma clara definição do tempo de retorno do investimento, onde assume a partilha deste risco com os clientes, o que faz com que a política de remunerações seja elaborada em função das poupanças obtidas. As empresas clientes da *Ecoinside*® melhoram a sua imagem perante o mercado, ganhando assim uma boa reputação a nível ambiental, conjugando-a com a de uma empresa assente num negócio com uma base sustentável. Esta proposta de valor só é possível porque a metodologia da *Ecoinside*® tem por base uma abordagem holística sobre ecoeficiência, ou seja, é uma visão transversal e estruturada, que inclui todas as áreas do processo

produtivo/serviço, e adequa as suas soluções às particularidades/exigências dos vários clientes.

Para concluir, é de salientar que cada novo projeto, é encarado como um desafio, onde se põe à prova todo o *know-how* técnico, criatividade e flexibilidade da equipa *Ecoinside*® [12].

1.2.2. Atividades Chave

Existem algumas atividades chave, cujo sucesso se reflete no próprio sucesso do negócio. A primeira abordagem ao cliente, a clareza com que é transmitida a ideia do negócio e o seu potencial valor, assim como o feedback do cliente, é fundamental para suscitar o interesse de ambas as partes e avançar para os processos seguintes. Depois da primeira abordagem, é essencial que na primeira visita às instalações se identifiquem todos os pontos-chave, para preparar a reunião de apresentação de proposta de contrato. Importa realizar uma auditoria com tanta precisão, quanto aquele que é necessário para atingir os objetivos propostos. Um nível bom de detalhe vai permitir realizar um melhor relatório do estado atual dos consumos, e consequentemente um bom plano de ação. A boa implementação e manutenção das Medidas de Racionalização Energética (MRE) são importantes para se garantir resultados de acordo com o planeado. Por último, é essencial que se faça um ajuste do consumo de referência, para se calcular as poupanças e as remunerações da empresa. Este ajuste, tem de ser o mais preciso e fundamentado possível, para não descurar a credibilidade dos resultados e da própria empresa [12].

1.3. Objetivos

Delinearam-se os seguintes objetivos, que se pretendem alcançar com o desenvolvimento desta dissertação:

- Produção da baseline para um contrato de desempenho energético que poderá ser aplicada a diferentes tipos de instalações.
- Análise de dados resultantes da monitorização de consumos energéticos, de auditorias já efetuadas ou que serão realizadas em conjunto com a equipa *Ecoinside*®.
- Estudo de quais as variáveis que influenciam o consumo energético de uma organização.

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

O capítulo 1, sendo a Introdução, pretende essencialmente enquadrar o tema abordado no contexto político e económico atual, assim como apresentar os objetivos que são propostos para esta dissertação.

No capítulo 2, encontra-se o estado da arte, relativo ao tema investigado.

No capítulo 3, será apresentada a metodologia de criação da baseline de um contrato de desempenho energético.

No capítulo 4, está descrita a metodologia de monitorização e bases para o desenvolvimento da ferramenta.

No capítulo 5, serão analisados alguns casos de estudo, avaliando-os qualitativamente, por forma a concluir se corresponderam aos resultados esperados.

No capítulo 6, serão redigidas as conclusões finais do trabalho a partir dos resultados obtidos, deixando em aberto, possíveis melhorias desta dissertação.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo será descrito o estado da arte, que é basicamente o nível de conhecimento e desenvolvimento alcançado num certo tema. Para isto, é necessário referenciar o que já se tem investigado sobre o assunto desta dissertação, transformando as conclusões de outros, em pontos de partida para a investigação e abordagem do problema.

2.1. Introdução

Como foi referido em cima, para realizar qualquer trabalho científico, é fundamental começar pelo estado da arte, uma vez que é possível, a partir de referências passadas, uma nova abordagem de investigação. Não se trata apenas de consultar, citar ou indicar conhecimentos e fundamentos desenvolvidos por outros investigadores, mas também de um processo de reflexão e debate tendo por base o tema a desenvolver. Urge, assim, uma nova visão sobre essa informação, sustentada por uma crítica estruturada, potenciadora de novas conclusões.

2.2. História das ESCO

A origem do conceito ESCO é pouco clara e debatida dado que a definição e aplicação do mesmo têm sofrido evoluções e mutações ao longo da sua curta história. É, no entanto, consensual o aparecimento original da poupança de energia como modelo de negócio no final dos anos 70, durante a crise petrolífera. Uma das primeiras empresas a aplicar o conceito ESCO, mesmo antes de este ter sido definido como tal, terá sido a *Time Energy* no Texas.

Esta empresa colocou no mercado um aparelho automático e temporizado para a regulação de sistemas de iluminação e outros sistemas consumidores de eletricidade. O primeiro obstáculo à entrada deste aparelho no mercado foi a desconfiança dos consumidores face às poupanças prometidas e ao Retorno de Investimento. A empresa decidiu então instalar os aparelhos livre de custos e pedir uma percentagem das poupanças atingidas. Com esta abordagem, a empresa atingiu ganhos superiores do que conseguiria pela simples venda dos aparelhos. Exemplos como este foram a base para a definição do modelo ESCO como o conhecemos. [6] Durante os anos 80, a pressão exercida pelo preço do petróleo sobre a economia era menor, reduzindo o risco de uma subida dos preços da energia elétrica. A oportunidade de negócio para empresas de base ESCO diminuiu.

Nos anos 90, com a subida constante do preço do petróleo e da energia elétrica, a oportunidade para empresas de base ESCO voltou a surgir, desta vez de forma sustentada. É neste contexto que as palavras “eficiência” e “redução de consumo” entraram na ordem do dia, tendo o conceito ESCO evoluído em todas as vertentes que hoje conhecemos. [13]

2.3. Definição de ESCO

Segundo a diretiva europeia 2006/32/EC de 5 de Abril de 2006, a definição de empresa de serviços energéticos é: “Uma pessoa singular ou coletiva que fornece serviços energéticos e/ou outras medidas de melhoramento da eficiência energética na instalação ou instalações de um utilizador, aceitando um certo grau de risco financeiro para o fazer. O pagamento dos serviços prestados deve basear-se (na sua totalidade ou em parte) na obtenção das melhorias na eficiência energética e no cumprimento de outros critérios de desempenho acordados.” [14]

É uma empresa que celebra contratos de desempenho energético durante um período normalmente compreendido entre 3 a 20 anos. As ESCO desenvolvem geralmente um projeto de grande complexidade com inúmeras tarefas, assumindo o risco técnico e desempenho do mesmo. Grosso modo, oferecem os seguintes serviços:

- Desenvolver, instalar e organizar financeiramente projetos destinados a melhorar a eficiência energética e os custos de manutenção de instalações;
- Instalar e manter os equipamentos que proporcionam essa melhoria;
- Monitorizar e verificar as economias do projeto para quantificar poupanças garantidas.

Os projetos são bastante abrangentes, o que significa que as ESCO têm de dominar múltiplas áreas de engenharia, que se traduz numa multiplicidade de medidas para alcançar

as poupanças energéticas. As áreas que sofrem mais medidas incluem: iluminação, AVAC, motores e sistemas de controlo de energia (EMS). O que separa as ESCO das restantes empresas que oferecem serviços de eficiência energética, é o conceito da remuneração, que está diretamente ligada à quantidade de energia que consegue poupar.

Por norma, as medidas de melhoria levam a grandes investimentos iniciais com períodos de retorno normalmente longos. O retorno do investimento está diretamente relacionado com a performance das medidas instaladas, e, por esta mesma razão, as ESCO têm feito um esforço maior em verificar essas poupanças, do que propriamente em prevêê-las. Assim, foram desenvolvidas novas práticas de medição e verificação de acordo com normas e protocolos internacionais [15].

2.4. Diferentes vertentes associadas ao conceito de ESCO

A definição de ESCO é suficientemente abrangente como para terem evoluído vários modelos de negócio que lhe podem ser englobados. As ESCO tradicionais são empresas que executam todas as fases do projeto de eficiência energética, desde a deteção das oportunidades de racionalização de consumo até à sua implementação física. As ESCO são responsáveis pela solução técnica e proprietárias da mesma, sendo, deste modo, igualmente responsáveis pelo investimento e eventual manutenção dos equipamentos instalados. Remuneram-se através de contratos de performance EPC.

As RESCO (*Retail Energy Service Companies*) são uma evolução das ESCO tradicionais. Nasceram da regulamentação de produção independente, cogeração e micro-geração de energia elétrica. A liberalização do mercado da energia, no âmbito da política de distribuição de produção, abriu a oportunidade ao seu aparecimento. As RESCO aplicam o conceito ESCO adaptado ao mercado produtor de energia. Aliadas a empresas parceiras, não só por cumprirem os requisitos de licenciamento como produtores de energia, como também por disponibilizarem as condições logísticas para instalação de equipamentos produtores de energia, as RESCO assumem os encargos de projeto, financiamento e instalação dos equipamentos produtores de energia, dividindo as mais-valias geradas pela venda da energia elétrica e outros subprodutos com a empresa parceira.

As empresas com operações ESCO similares são geralmente empresas de engenharia ou produtoras de equipamentos de controlo e racionalização de consumo de energia que colocam os seus equipamentos no cliente, garantindo as poupanças previstas. A responsabilidade do investimento é geralmente do cliente, embora possa ser partilhada, ficando a empresa instaladora comprometida a ressarcir o cliente da diferença no caso de as poupanças atingidas serem inferiores às previstas e protocoladas.

Em alguns casos, dependendo do contrato celebrado, a empresa instaladora pode ser bonificada se as poupanças atingidas ultrapassarem as previstas e protocoladas [13].

2.5. O que é um Contrato de Desempenho Energético? (EPC)

Um contrato de desempenho energético, de seguida designado por EPC, é uma forma de “financiamento criativo” que permite financiar o investimento em melhorias de eficiência energética através da redução de custos [16]. No entanto é mais do que um modelo de financiamento. É um programa de medidas de eficiência energética, que na prática são implementadas numa determinada instalação para proporcionar economias reais de energia, como por exemplo no AVAC, iluminação, gestão de energia, cargas de pico, isolamento térmico, melhorias na construção das infraestruturas e até reestruturação dos processos de fabrico ou de operação. A intenção é manter o consumo total de energia no mínimo, sem nunca prejudicar o conforto, no caso de edifícios, ou a produção, no caso de uma unidade fabril [17]. A prestação deste serviço pode incluir também o financiamento das medidas de eficiência energética, para que o cliente tenha de investir pouco capital ou até nenhum. Da quantia monetária poupada através das medidas, é retirada uma fatia que serve para pagar pelo serviço prestado pela ESCO. Na maior parte dos casos é necessário que esta melhoria da performance energética seja verificada.

Um EPC é normalmente caracterizado pelos seguintes atributos:

- Oferece um serviço de eficiência energética completo, incluindo o projeto, construção, comissionamento, operação e manutenção das medidas de eficiência energética, formação dos clientes e medição e verificação dos resultados conseguidos;
- Fornece a análise financeira do projeto, para que o cliente pague o serviço com uma porção das poupanças alcançadas;
- Inclui garantias de desempenho, com base no nível de redução de custos de energia;
- Grande parte do risco técnico, financeiro, construtivo e de desempenho do projeto é suportado pela ESCO [3];
- O foco principal está na economia de energia no ponto de uso, e não no fornecimento dessa energia.

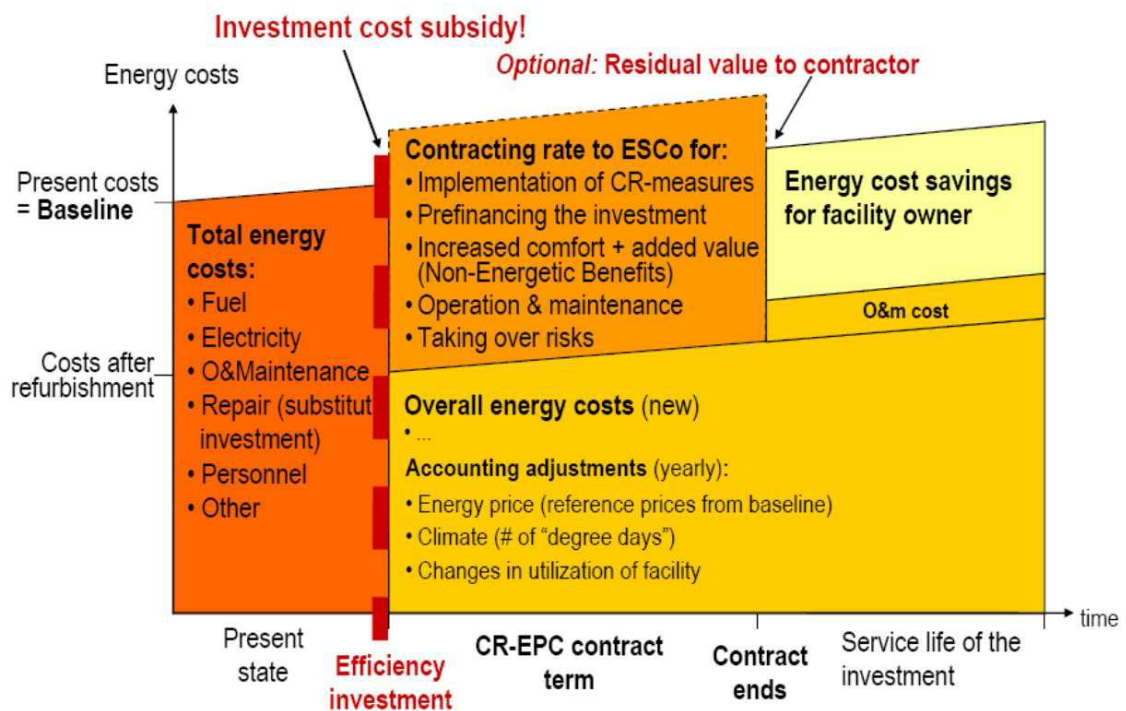


Figura 2.2 - Componentes de um EPC ao longo do tempo [18].

Desenvolver a análise económica de um EPC inclui exercícios de engenharia financeira relativamente simples. Normalmente são apresentados os *cash-flows*, taxa interna de rentabilidade, valor acrescentado líquido e o período de retorno de investimento. Estes critérios são relativamente sensíveis a vários parâmetros financeiros. Nesta análise, os que apresentam maior influência são:

- Investimento inicial
- Taxa de juro
- Período do contrato
- Percentagem de remuneração
- Poupanças alcançadas

A título de exemplo, reduzir a taxa de juro de 7% para 6,5% pode significar reduções na ordem de 7% no custo total do projeto [19].

2.6. Tipos de Contratos de Desempenho Energético

Existem muitas abordagens para construir um EPC, mas geralmente podem ser caracterizados em dois tipos básicos de acordo: *Guaranteed Savings* e o *Shared Savings*. Em ambos os modelos, é a ESCO que providencia o serviço de implementação das medidas de racionalização energética, que gera as poupanças de energia. A diferença reside no modo como o projeto é financiado e como se avalia as poupanças. No caso do modelo *Guaranteed Savings* a garantia da boa execução de projeto tem em conta a quantidade de energia poupada, enquanto no *Shared Savings* é avaliado o custo da energia economizada.

No modelo *Guaranteed Savings*, por norma o cliente adquire um empréstimo para fazer o investimento no projeto, assumindo o risco financeiro. A ESCO garante que o projeto alcança certos parâmetros mínimos de poupança, como a eficiência, poupanças energéticas e poupanças operacionais, definidos no EPC, e especifica igualmente os métodos de M&V. O pagamento é efetuado quando a performance do projeto é verificada. Este acordo geralmente fornece à ESCO um pagamento fixo ou variável dependendo das performances alcançadas, e caso sejam superadas as poupanças contratualizadas é efetuado um pagamento adicional. Por outro lado, se as poupanças não atingem os níveis esperados, a ESCO é obrigada a reembolsar o cliente até que as poupanças voltem ao nível estipulado [3]. Este modelo, é provável que apenas funcione em países com uma boa estrutura bancária, e com um bom grau de familiaridade com o financiamento de projetos e conhecimentos técnicos suficientes, também no setor bancário, para entender os projetos de eficiência energética. O conceito deste modelo é difícil de aceitar nos mercados menos desenvolvidos, porque exige que os clientes assumam o risco do *payback* do investimento. No entanto este modelo promove o crescimento a longo prazo das ESCOs e das suas finanças, uma vez que ESCOs recém criadas, sem histórico de crédito e capital próprio, estão limitadas a fazer este tipo de investimento, podendo apenas entrar no mercado se garantirem as poupanças ao cliente, e se este realizar o financiamento por conta própria [16].

No modelo *Shared Savings*, a ESCO assume tanto o desempenho do projeto como o risco financeiro, o que leva à retirada deste passivo do balanço financeiro do cliente. A ESCO financia-se para ser capaz de levar a cabo implementação do projeto, assumindo, portanto, todo o risco financeiro. Isto pode colocar em causa a liquidez financeira da ESCO caso o cliente abandone o contrato, por isso é necessário definir bem estas questões no contrato. A ESCO especifica a percentagem de poupanças remuneradas a contratualizar entre ela e o cliente durante o tempo do contrato. No caso das poupanças superarem as expectativas, esta situação também deve estar prevista no contrato, para não surgirem eventuais situações conflituosas entre a ESCO e o cliente, onde este último pode alegar que a ESCO reviu em baixa as poupanças para depois obter um pagamento extra pelo excesso de economia. [16].

Este tipo de contratos costuma ter uma duração entre 3 a 10 anos e, durante este tempo, a ESCO tem de estruturar bem os pagamentos para que além de recuperar o investimento, conseguir uma percentagem de lucro aceitável. O cliente geralmente não faz nenhum investimento no projeto, mas ainda assim recebe uma percentagem das poupanças para os custos operacionais do projeto não se refletirem nas contas da empresa e, assim, manter um cash-flow positivo. Este acordo deve incluir um protocolo pré especificado de M & V das economias reais alcançadas [3].

Este modelo é um bom conceito para clientes pouco familiarizados com este tipo de serviço, porque não assumem risco financeiro. Porém, esta abordagem cria barreiras para as pequenas ESCOs, uma vez que podem rapidamente endividar-se e ficarem bloqueadas a novos projetos. Daqui é possível concluir que este modelo pode prejudicar a competitividade entre ESCOs, no sentido em que as empresas recentes e inexperientes podem não ter a mesma facilidade de acesso a financiamento comparativamente a outras com maior presença no mercado e experiência. Existe outra alternativa a este modelo, chamada *first out*, que consiste no pagamento a 100% das poupanças de energia até os custos do projeto, incluindo o lucro da ESCO, serem totalmente pagos. A duração exata do contrato vai depender diretamente do nível de poupança alcançado. Quanto maior a poupança, menor será o tempo de contrato.

Tabela 1 - Comparação entre os modelos *Guaranteed Savings* e *Shared Savings* [16].

<i>Guaranteed Savings</i>	<i>Shared Savings</i>
• Desempenho relacionado com o nível de energia economizada; • Valor da energia poupada é garantido para cumprir as obrigações do serviço; • ESCO fica com o risco de desempenho e cliente com o risco de crédito; • Extensa M & V; • ESCO pode fazer mais projetos sem ficar altamente endividada.	• Desempenho referente ao custo da energia economizada; • Valor dos pagamentos à ESCO está ligada ao preço da energia, esta aposta pode ser arriscada; • ESCO fica com os riscos de desempenho e crédito; • Pode servir os clientes que não têm acesso ao financiamento; • Equipamento M & V pode ser alugado; • Favorece grandes ESCOs, as pequenas podem tornar-se demasiado endividadas para novos projetos; • Favorece projetos com <i>payback</i> curto.

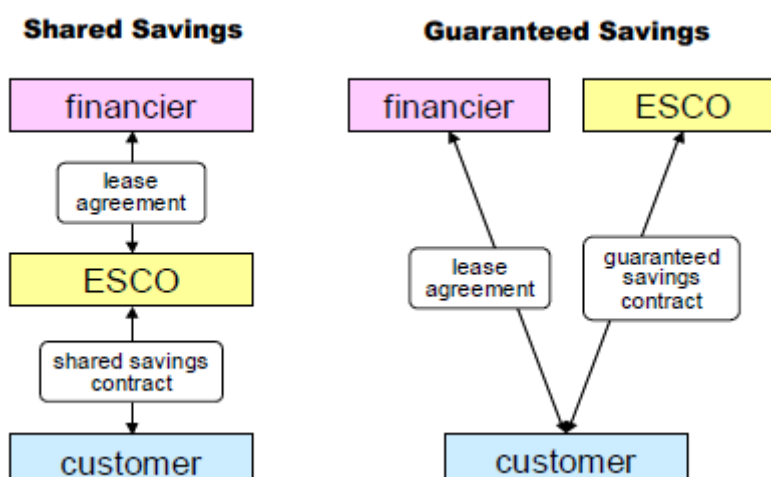


Figura 2.1 - EPC modelo de negócio - *Shared and Guaranteed Savings* [20]

O contrato pode incluir um tempo livre para ajustar os pagamentos em consequência das diferenças entre as poupanças reais e as poupanças calculadas. Esse tempo pode ser, por exemplo, de um ano.

Na Figura 2.2, pode-se verificar como se processa a distribuição dos proveitos resultantes do investimento nas medidas de eficiência energética, durante e após o período do contrato ESCO.

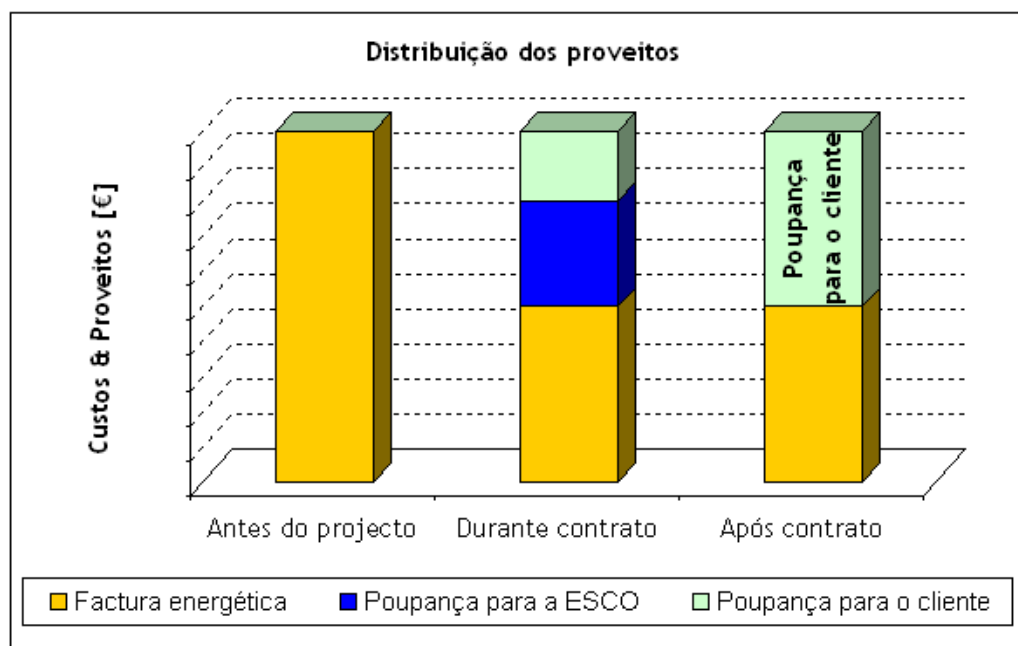


Figura 2.2- Distribuição dos proveitos [21]

O tempo de retorno do projeto depende da evolução das poupanças verificadas face às poupanças calculadas, isto é, se as poupanças verificadas forem superiores às calculadas o tempo de retorno é inferior ao planeado, podendo nesse caso existir um reajuste da duração do contrato. Se as poupanças apuradas forem inferiores ao previsto, o período do contrato pode ser estendido por mais anos [21].

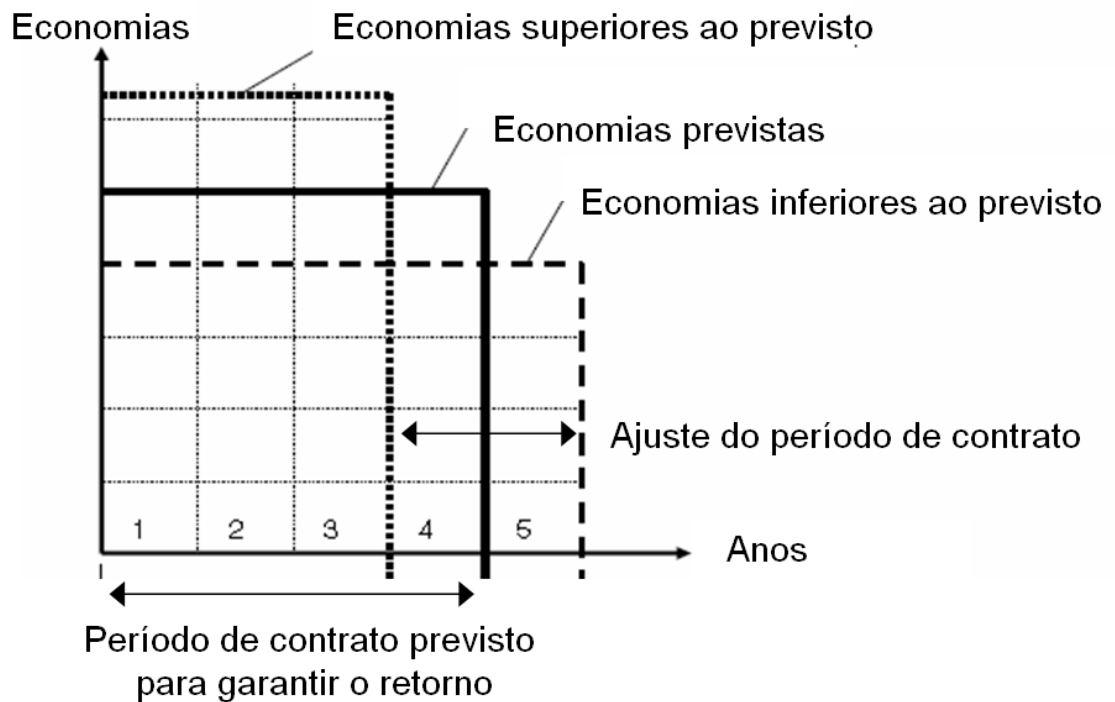


Figura 2.3 - Duração do contrato de performance face às poupanças [22].

2.7. Análise de mercado

Segundo a base de dados norte americana da NAESCO/LBNL, composta por um total de 534 projetos, cerca de 54% dos projetos analisados obtiveram poupanças acima do esperado, como se pode ver na figura 2.4.

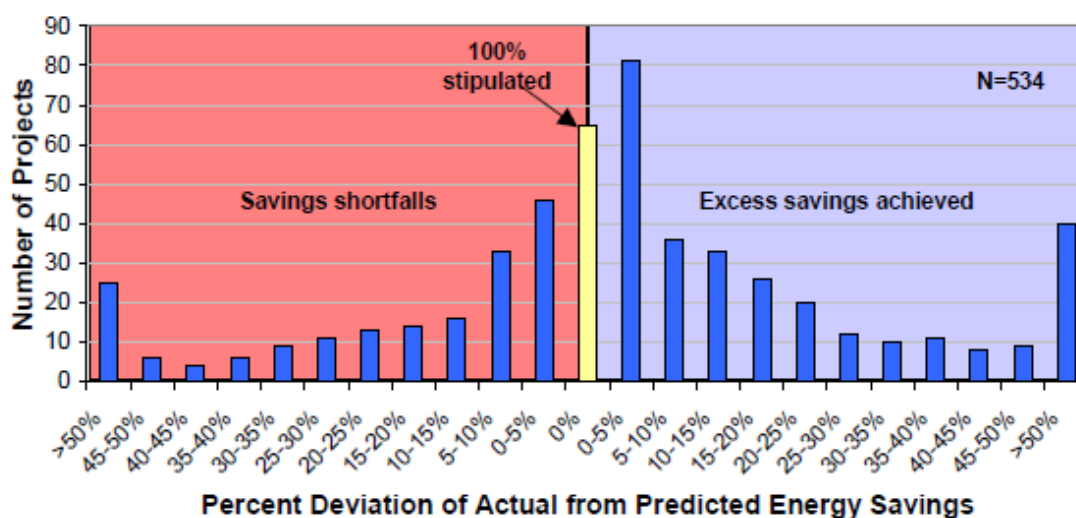


Figura 2.4 - Precisão da previsão de poupança [20]

Mercado Europeu

Segundo um relatório efetuado em 2010 [23], é necessário olhar para a Europa como um mercado complexo, mas aberto, e permeável. É essencial que os legisladores e políticos tenham conhecimento de cada situação e dos problemas que criam barreiras a este mercado em cada país. Nesta análise foram encontradas descrições detalhadas de cada país, mas visto que cada empresa está muita virada para o seu enquadramento nacional, não foi possível delinear uma visão transeuropeia do Mercado.

Portugal

Em resposta à necessidade de uma política integrada de racionalização de consumo energético, o governo português tem lançado um conjunto de pacotes legislativos. Estes incluem objetivos e apoios ambiciosos para as energias renováveis, certificação energética de edifícios e auditorias energéticas para consumidores intensivos de energia [13].

Os mercados para tecnologias de eficiência energética e aplicações de energia renovável sofreram profundas alterações desde 2008, suportada por uma importante aposta do governo em vigor na altura.

Em 2009, existiam 10-12 ESCOs em Portugal. Embora a grande maioria destas empresas sejam PME e os seus projetos sejam financiados por programas de parcerias público-privadas, onde o seu negócio principal são os serviços energéticos, não existe nenhuma associação de ESCOs no país. Estes projetos são mais comuns no setor industrial, onde os planos de racionalização energética são obrigatórios quando o consumo anual de energia ultrapassada os 500 tep por ano. Hotéis, edifícios de escritórios, escolas e piscinas são alvos comuns das ESCO portuguesas. A iluminação pública tem vindo a ganhar importância.

Apesar de serem mais frequentes os contratos que não são baseados na performance do serviço, os EPC baseados na partilha de poupanças têm vindo a ganhar popularidade.

Nos últimos anos, o mercado português tem registado um crescimento estável, embora a um ritmo lento. Atualmente, o principal fator para o crescimento das ESCO em Portugal é o interesse público em novos projetos, promovido pelo programa ECO.AP.

A crise financeira teve um impacto negativo no acesso ao financiamento por parte das empresas do setor energético, tendo havido muitos casos em que clientes congelaram alguns projetos já planeados. O mercado tem crescido lentamente, porque os potenciais clientes estão mais relutantes em assinar contratos de longo prazo.

As principais barreiras no mercado português são: a falta de informação devido ao baixo número de projetos implementados, o que provoca uma não familiarização com este tipo de serviço e posterior desconfiança; e a não existência de uma associação profissional de ESCOs. Estes handicaps provocam alguns problemas tais como a falta de prática ou a formação de *lobbys*² que atrasam o desenvolvimento do setor. São necessárias boas práticas para mostrar aos clientes os benefícios da assinatura dos EPC. Se os apoios governamentais continuarem prevê-se um forte impulso neste setor [23].

Tabela 2 - Mercado Português das ESCO [23]

Número de ESCOs	10 a 12
Tamanho do Mercado	10-30 M€
Associação de ESCOs	Não
Tipos de ESCOs	Empresas nacionais e filiais de empresas internacionais.
Desenvolvimento do mercado	Crescimento lento. Estratégia governamental de apoio á eficiência energética para ajudar novas ESCO e linha de crédito para financiar projetos de eficiência energética.
Setor dos projetos ESCO e principais MRE	Edifícios, iluminação pública e indústrias envolvendo cogeração, micro cogeração, auditorias, iluminação, aproveitamento de energia e motores.

² Lobby (do inglês lobby, antessala) é o nome que se dá à atividade de pressão de grupos, ostensiva ou velada, com o objetivo de interferir diretamente nas decisões do poder público, em especial do Legislativo, em favor de interesses privados.

2.8. Barreiras comuns

As barreiras que dificultam a implantação do conceito ESCO e EPC são identificadas abaixo.

Para os potenciais clientes do setor privado e público, muitas vezes falta informação sistemática sobre os serviços disponíveis nas ESCO ou têm dúvidas sobre a qualidade dos serviços oferecidos.

Foi gerada a ideia de que este tipo de contratos são produtos de elevada complexidade, não perceptível pela maioria dos empresários, sendo esta uma das razões para a falta de confiança entre os clientes. Serão os contratos complexos porque têm muitas palavras? A resposta é não, uma vez que, comparativamente a um seguro automóvel que tem em média 18000 palavras, um EPC tem em média 6800 palavras. Outra impressão de complexidade é gerada pela ideia que exige muito esforço a implementação destes serviços, e que existem muitas variáveis em que é preciso pensar. A definição da *baseline* e a respetiva extrapolação para os anos de duração do contrato é algo que os empresários supostamente aceitam, mas, na verdade, geralmente nunca a percebem na verdade. Por isso é necessário reduzir a complexidade para gerar mais confiança por parte dos clientes e uniformizar os modelos de contratos. Esta uniformidade nos modelos de contratos é dificultada pela heterogeneidade dos contratos promovidos pelas ESCOs, assim como a falta de competitividade em alguns setores, falta de experiência dos clientes e instituições financeiras. Esta desconfiança é agravada por más experiências em empresas que prestam serviços de consultoria energética. A construção de uma *baseline* e respetiva monitorização das variáveis externas é vista como consumidora de tempo e dinheiro, especialmente para projetos de pequena escala.

Outra barreira é quando se fala na partilha de risco e de quem os assume. Existem diferentes fatores de risco que podem influenciar a performance do contrato e respetivas poupanças. No aspeto financeiro existe o das flutuações do preço da energia e taxas de juro do capital financiado. Da perspetiva operacional existem os custos com as alterações na infraestrutura, nas horas laborais e volumes de produção, assim como nas condições meteorológicas. Estes riscos são, normalmente, suportados pelo cliente. Os riscos suportados pelas ESCOs estão normalmente os custos com M&V, performance dos equipamentos, gestão e manutenção, assim como reparação. Estas atribuições de risco são consideradas standard, mas, no entanto, a sua alocação está sempre sujeita a negociação.

Outra barreira que separa os clientes destes contratos é a perceção do que realmente está a ser faturado pelas ESCOs. A unidade de faturação deve refletir a eficiência energética e ser independente da entrada de energia. A ESCO deve certificar-se de que o lucro aumenta se um kWh é salvo e diminui se um kWh é desperdiçado. Estes indicadores devem ser compreendidos, aceites e de fácil acesso por parte dos clientes. [24]

A falta de dados consistentes sobre o consumo de energia, dificultam a construção da baseline para o cálculo das poupanças - com esta falta de dados, a extrapolação para futuros ganhos vai ser afetada diretamente.

A crise financeira e a recessão económica tornaram o acesso a financiamento mais difícil na grande maioria dos países europeus, o que provoca uma enorme barreira aos EPC. Esta barreira afeta diretamente o início e desenvolvimento dos projetos, porque cria taxas de juro mais altas, menos capital disponível para crédito e, ao aumentar o risco de insolvência dos clientes, torna-os menos disponíveis a contratos de longo prazo.

Existem barreiras técnicas, quando da parte dos clientes subsiste a perceção que as medidas podem pôr em causa a produção e gestão dos processos fundamentais do seu negócio. Quando existem técnicos de manutenção nos quadros das empresas, estes serviços de consultoria são vistos com aversão por parte destes, levando a que o âmbito destes projetos não inclua os processos “core” das empresas, por falta de confiança nas equipas e das medidas a implementar.

Questões de colaboração, de empenho e culturais, ainda são vistas como limitações importantes para o desenvolvimento deste tipo de contratos. A colaboração necessária entre o cliente e o prestador do serviço pode ser entendida como custos adicionais para o cliente e, por vezes, o choque cultural levanta questões onde o conceito de medidas de eficiência energética está ligado a juízos de “obrigações morais”: portanto uma ideia de negócio em que uma ESCO ganha dinheiro resultante das poupanças de energia do cliente ainda não é bem aceite [23].

2.9. Fatores de sucesso e recomendações futuras

O número de políticas e ações criadas com o objetivo de apoiar diretamente o mercado das ESCOs ainda são limitadas. No entanto, um certo número de medidas legislativas, estruturais e alterações no mercado, estão a promover alguns dos mercados nacionais europeus, produzindo efeitos positivos sobre a oferta e a procura de eficiência energética.

Foram criadas diretivas com medidas de apoio a nível nacional e europeu. A legislação sobre eficiência energética está a ter impacto direto e indireto sobre a procura e oferta de serviços energéticos.

Entre estas, existe a Diretiva Europeia (2006/32/EC) sobre a eficiência da utilização final da energia e serviços energéticos, onde se estabelecem metas indicativas e se ajuda a elaborar estruturas jurídicas e financeiras que eliminam barreiras de mercado. A diretiva cria condições para o desenvolvimento e promoção do mercado de serviços energéticos e para a entrega dos programas de poupança e outras medidas destinadas a melhorar a eficiência energética no ponto final de uso.

Complementar a esta, existe a Diretiva 2010/31/EU, que é a revisão da Diretiva 2002/91/EC, onde se estabelecem metodologias de cálculo do desempenho energético de novos edifícios, assim como a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho de edifícios existentes. Esta Diretiva inclui ainda planos para aumentar o número de edifícios com zero emissões de carbono.

No plano nacional, foi lançada mais uma Portaria relativa ao programa ECO.AP [25], complementar aos Decretos-Lei já existentes no âmbito deste programa. Esta Portaria vem dar sequência ao Programa ECO.AP, lançado a 12 de Janeiro de 2011, programa este que, como já foi referido, visa alterar comportamentos de consumo energético e promover uma gestão racional do mesmo, designadamente através da contratação de ESCOs para implementar e gerir medidas de melhoria de eficiência energética nos edifícios e equipamentos públicos. Esta última portaria já especifica detalhadamente o conteúdo do caderno de encargos a incluir num contrato de desempenho energético, por isso é mais um passo para a normalização destes contratos, o que leva a uma maior credibilização dos mesmos.

Outro fator de sucesso é a crescente mudança de mentalidade em relação à gestão de energia. Cada vez mais está a ser atribuída às ESCOs, tanto no setor público como privado, a contratação para a gestão de energia. O sucesso destes projetos, assim como a necessidade de modernização, em especial no setor público, está a aumentar a atratividade em relação às ESCOs.

Esta mudança de mentalidade está também aliada ao aumento constante dos preços e impostos sobre a energia. Para as ESCOs este aumento é positivo porque diminui o tempo de *payback* dos projetos, o que leva a que estes serviços sejam cada vez mais procurados.

A crescente preocupação ambiental por parte dos quadros políticos teve um efeito *spin off* no mercado, com a criação de legislação favorável e implementação de medidas concretas, e o mais importante, o apoio dos decisores políticos, como foi visível na *Clinton Climate Initiative* e o programa ELENA que foi criado para ajudar as cidades e regiões, através de assistência técnica, na criação e implementação de projetos de uma maneira mais eficiente, para que atraíam novos investimentos [23].

Paralelamente a estas iniciativas políticas, que em muito ajudam a promover este tipo de projetos, existem algumas boas práticas identificadas por empresas e agências já com muita experiência no ramo.

Quando o processo de um EPC é novo para um país, empresa ou região pode ser útil a criação de uma agência local que coordene e supervisione todos os novos projetos, em especial no setor público. Órgãos públicos, como pequenos municípios ou escolas, com capacidade limitada para gerirem estes projetos, beneficiam desta ação, porque todos os projetos serão agregados num único EPC. O estabelecimento de um contrato padronizado para todas as organizações pode significar a poupança de muito tempo e dinheiro. Claro que o sucesso desta medida depende da aceitação da parte do mercado em questão.

A natureza e o tipo de garantias de desempenho devem ser definidos com base no tipo de medidas de eficiência a implementar, assim como deve ser especificado claramente o tipo de M&V que irá ser abordado. As empresas menos experientes devem recorrer a contratação de um terceiro para conduzir o processo de M&V para minimizar a possibilidade de conflitos e para proteger os seus interesses. A ESCO deve também implementar medidas de operação e manutenção, como o treino e sessões de esclarecimento para as economias energética serem efetivamente sustentáveis [3].

Capítulo 3

Contrato de desempenho energético

Neste capítulo serão descritos os elementos o que compõe um contrato de desempenho energético, os métodos, os tipos de contratos e quem os elabora, tentando ir de encontro às linhas gerais propostas pelo programa ECO.AP.

3.1. Introdução

As ESCO fornecem serviços energéticos e outras medidas de melhoria da eficiência energética nas instalações de um utilizador, assumindo um certo grau de risco financeiro, uma vez que a sua remuneração pelos serviços prestados se baseia, total ou parcialmente, no grau de concretização da melhoria da eficiência energética e na satisfação de outros critérios de desempenho energético, que possam ser fixados contratualmente [1].

Os quatro principais parâmetros a serem considerados no início deste tipo de contratos são: o preço de implementação, o interesse público do projeto, o crescente ganho de poupanças ao longo do tempo e a percentagem de remuneração sobre as poupanças alcançadas. A análise financeira de um contrato de desempenho energético consiste num balanço onde estão descritas as receitas do projeto, que advém das poupanças energéticas espectáveis, custos do projeto, que podem ser através de débito ou empréstimo, e a descrição da M&V para justificar com credibilidade as previsões de poupança. Nesta análise, são usadas técnicas simples de engenharia económica para determinar custos e receitas futuras. O projeto será considerado economicamente viável se o fluxo de receitas for suficiente para financiar as medidas implementadas e amortizar o investimento no período definido no contrato [2].

3.2. Estrutura do contrato

O contrato deve especificar:

- Definição do âmbito, condições e interpretações;
- Especificação da solução técnica;
- Prazo do contrato;
- Especificação da solução de financiamento;
- Especificação de obrigações e responsabilidades;
- Plano de execução do projeto de engenharia;
- Plano de medição e verificação (M&V) e critérios de avaliação;
- Periodicidade relevante para monitorização do cumprimento do contrato;
- Protocolo de partilha de poupança e responsabilidades;
- Protocolo para resolução de litígios, ativação de seguros e alterações de contrato;

Na Figura 3.1, são descritas recomendações para os principais passos na elaboração de um contrato de desempenho energético, de acordo com o perfil do cliente e da própria ESCO.

Auditoria	Financiamento	Modelo	Contrato
Prescritiva	Comercial	Alto risco para ESCO	Baseados na performance
Auditoria detalhada	Crédito bancário para financiar EPC	Serviço completo - <i>Shared Savings</i>	Contrato com pagamentos periódicos baseados na M&V
Auditoria detalhada de uma instalação similar	Financiamento pela parte da ESCO	Financiamento por terceiros – <i>Guaranteed Savings</i>	Contratos com termos variáveis
Auditoria Visual	Crédito ou garantia de risco	Contratos com termos variáveis – contratos <i>first out</i>	Pagamentos parciais sobre comissionamento e balanço de pagamentos entre 3 e 6 meses
Auditoria institucional – Sem custos	Financiamento através de parceria público privada (PPP)	Aluguer de equipamentos	Pagamentos fixos com M&V periódica, garantia de equipamentos e atribuição de bónus
Inventário de equipamento/resumo de faturas	Fundo de maneio público	Pagamentos de consultoria baseados em performance	Pagamento integral no comissionamento com ajustamentos para anos finais
Nenhuma auditoria inicial	Orçamento público para projetos de eficiência energética	Pagamentos de consultoria fixos	Pagamento integral no comissionamento
Flexível	Público	Baixo risco para ESCO	Tradicional

Figura 3.1 - Selecionar opções de contrato [3]

3.3. Planeamento estratégico das MRE

Dentro da estrutura do contrato deve estar inserido o planeamento estratégico que se pretende adotar na instalação alvo. Este planeamento deve conter detalhadamente todas as medidas de racionalização energética a implementar.

Para tal é necessário um levantamento exaustivo de todos os dados da instalação, desde o levantamento de todas as potências nominais dos equipamentos, registo dos horários de funcionamento, distribuição de questionários comportamentais e, caso se justifique instalação de equipamentos de monitorização, contínua ou pontual.

Com base na informação recolhida e na desagregação de consumos será efetuada a descrição detalhada da agência e será possível identificar pontos de atuação com potencial de redução e/ou melhoria do conforto dos ocupantes.

3.4. Processo de implementação

O processo inicia-se com uma reunião, para que ambas as partes apresentem os seus objetivos para o projeto, e seja dada uma visão geral da instalação e qual a parte da que a ESCO deve considerar.

Finda a reunião, a ESCO realiza uma auditoria e um plano preliminar para determinar se existe viabilidade e interesse em realizar o projeto. De seguida, é apresentado este mesmo plano ao cliente e, se este se mostrar interessado com o desenvolvimento geral do projeto, é dada ordem para avançar para a fase seguinte. Com isto, a ESCO inicia uma auditoria mais profunda às instalações, para avaliar o grau de investimento necessário de acordo com as medidas de poupança. Na proposta final, deverá ser realizada uma descrição completa do projeto, incluindo os preços de todas as medidas a implementar e as respetivas estimativas de poupança que serão garantidas, assim como um plano de pagamentos que o cliente deverá realizar à ESCO durante o período de contrato. O cliente deverá rever e analisar a proposta final e após, as negociações contratuais, deverá ser dada a ordem para a ESCO implementar o projetos e quem os elabora. Nesta fase inicia-se a fase de implementação, que engloba o planeamento, instalação e gestão do projeto. Quando se justificar pode ser iniciado o processo de M&V.

3.5. Análise e parâmetros financeiros

A viabilidade do projeto realizado por uma ESCO depende de alguns parâmetros chave. O primeiro é o custo de implementação do projeto, que deve incluir todos os custos de trabalho, materiais e equipamentos necessários, assim como, a percentagem de poupança cobrada pela ESCO. Em alguns casos, e em particular no setor público, a administração pública pode contribuir com pagamentos auxiliares, cujas verbas estariam destinadas a outros projetos. Estes pagamentos auxiliares resultam de projetos que a ESCO tornou desnecessários. Por exemplo, suponhamos que estava previsto por parte do cliente realizar um *upgrade* de uma caldeira. Se no projeto da ESCO estiver previsto a instalação de bombas de calor no solo que permitam o desmantelamento da caldeira existente, os fundos do cliente que estavam previstos para o *upgrade* da caldeira podem ser revertidos em pagamentos auxiliares para a ESCO, reduzindo os custos gerais do projeto.

Visto que a empresa não recebe qualquer pagamento até às medidas e equipamentos estarem instalados, verifica-se um endividamento extra. Neste endividamento chamado financiamento de procedimentos, poderão estar os custos de subcontrato a outros profissionais necessários ao arranque do projeto. Caso o montante inicial seja acedido por via de financiamento, deverá ser definida uma taxa de juro fixa durante o período de empréstimo.

Para estimar e avaliar as poupanças durante toda a fase do projeto, usa-se o preço atual da energia e assume-se uma taxa de crescimento constante deste valor ao longo dos anos. Deverão ser consideradas taxas diferentes para cada tipo de energia ou recurso. Esta taxa de crescimento deverá ter como base o seu histórico, assim como, as previsões de inflação.

Uma vez implementado o projeto, e a partir do momento que a ESCO começa a receber os pagamentos, estas verbas podem ser usadas para amortizar o investimento inicial, assim como, realizar a M&V das medidas implementadas para garantir que as poupanças ocorreram. Caso no relatório anual de M&V se verifique que as poupanças não corresponderam ao esperado, o cliente pode reduzir os pagamentos. Os pagamentos que o cliente atribui à ESCO podem assumir três vertentes: pagamentos auxiliares, custos de energia evitados e custos de manutenção evitados.

Analisando os parâmetros financeiros de um projeto, é possível chegar à conclusão, que a fase negocial que antecede a implementação das medidas é bastante importante, isto porque, pequenas reduções no montante inicial investido podem significar ganhos importantes no tempo de retorno do investimento. Nestes termos, quando ocorre financiamento, as pequenas reduções na taxa de juro do empréstimo podem significar importantes reduções no período de retorno do investimento. Outro parâmetro importante é

a evolução do crescimento do preço da energia e recurso, porque um aumento deste parâmetro significa maiores pagamentos para a ESCO ao longo do contrato. [19]

3.5.1. Vários cenários de poupança

Ao elaborar um projeto de eficiência energética, normalmente são desenhados vários cenários de poupança. O papel da empresa é apresentar vários cenários possíveis de serem implementados, cabendo ao cliente a decisão, sempre com ajuda de todos os esclarecimentos técnicos por parte da empresa. Estes cenários distinguem-se pelo tipo de solução, custo, níveis de eficiência atingidos, assim como o seu *payback*.

Quando se obtém o quadro de cenários possíveis é necessário tomar uma decisão. Para esta decisão é necessário ter em conta vários critérios, mais precisamente:

- Identificar alternativas, opções ou hipóteses de decisão;
- Verificar a viabilidade das alternativas (eliminando as que não satisfazem certos critérios eliminatórios, a que tecnicamente se chama restrições). Por exemplo, descartamos cenários cujo custo ultrapassa a disponibilidade financeira;
- Definimos os critérios de avaliação, aspetos relevantes ou pontos de vista a ter em conta quando comparamos duas alternativas em termos de preferência. Por exemplo, o custo (é sempre preferível uma alternativa com menor custo do que outra), poupanças energéticas alcançadas (geralmente um cenário com maiores poupanças é escolhido), a inovação e qualidade técnica (preferimos um cenário com maior inovação e qualidade técnica).

Em muitas circunstâncias da vida corrente estes passos interligam-se e misturam-se, e a decisão acaba por surgir de modo relativamente informal. No entanto, em situações mais complexas ou quando as decisões são tomadas num ambiente organizacional, onde têm que ser justificadas ou, pelo menos, explicadas, há vantagem em seguir um procedimento formal que garanta a consistência do processo global.

3.5.2. Decisão multicritério

O processo inicia-se com uma reunião, para que ambas as partes apresentem os seus objetivos para o projeto, e seja dada uma visão geral da instalação e qual a parte da instalação que a ESCO deve considerar.

Uma vez estabelecido o conjunto de alternativas viáveis, caracterizadas pelos seus atributos, é necessário encorpar as preferências do agente de decisão (cliente), de modo a chegar à solução preferida. Havendo somente dois atributos, por exemplo, custo do investimento e poupanças alcançadas, é possível realizar uma representação gráfica, como exemplifica a Figura 3.2. Este tipo de representação cartesiana permite formar, desde logo, uma ideia global sobre o conjunto das alternativas. Identificam-se logo as alternativas dominantes e dominadas segundo os critérios definidos.

Repare-se que a alternativa que domina não tem que ser melhor em todos os critérios, mas apenas num deles, desde que nunca seja pior. Este conceito de dominação permite eliminar, nos problemas de escolha, todas as alternativas dominadas, designando-se as que restam por não-dominadas, ou eficientes [26].

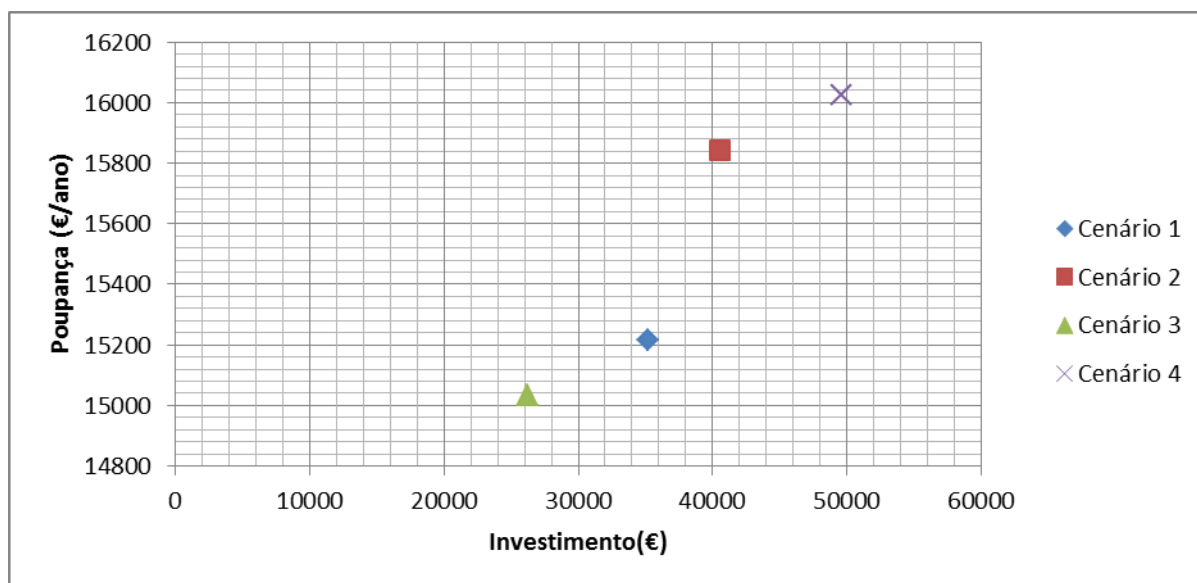


Figura 3.2 - Representação gráfica da ajuda à decisão

3.5.3. Variáveis financeiras

Depois de definidos os cenários, é possível calcular parâmetros de avaliação financeira, para o panorama escolhido pelo cliente ou para todos os cenários.

A base para a construção dos diferentes cenários financeiros assenta na poupança em kWh produzida pelo cenário de poupança. Depois de obtido este valor é necessário definir vários parâmetros para mais tarde introduzir na folha de cálculo, como:

- Valor do investimento inicial - Co
- Taxa de Juro (anual efetiva) - i
- Períodos de capitalização do crédito - n
- Períodos de capitalização anual - na
- Taxa de crescimento do preço da energia elétrica (kWh) - Ke
- Taxa de crescimento do preço da água m^3 - Ka
- Taxa de inflação - Ki
- Custos com recursos humanos - CRH
- Custos da auditoria - CA
- Custos de monitorização - CM
- Custos subcontratação - CSC
- Poupança kWh - PW
- Preço do kWh - Pk

Com estes *inputs*, é possível calcular os seguintes parâmetros:

1. Prestação anual (R)

$$R = Co \frac{i}{(1 - (1+i)^{-n})} \quad (3.1)$$

onde Co é o valor do investimento inicial, i a taxa de juro, n o número de períodos de capitalização do crédito.

2. Montante em dívida

Montante em dívida será o valor restante a amortizar do total financiado em cada ano.

3. Montante de juros pago

Montante de juros será a componente de juros do total da prestação anual.

4. Amortização

Amortização será a componente da prestação anual sem o valor do juro.

5. Poupança monetária

32 Contrato de desempenho energético

$$P = PW \times Pk \times Ke \quad (3.2)$$

onde PW é a poupança em kWh, Pk é o preço do kWh no ano de implementação do projeto, Ke é a taxa de crescimento do preço do kWh.

6. Pagamento à ESCO

$$PE = P \times \text{Percentagem de Remuneração} \quad (3.3)$$

onde P é a poupança monetária.

7. Resultado anual líquido cliente

$$RLEa = \text{Poupança (€)} - R - PE \quad (3.4)$$

onde R é a prestação anual, PE é o valor do pagamento à ESCO

8. Resultado anual líquido ESCO

$$RLESCoa = PE - CRH - CA - CM - CSC \quad (3.5)$$

onde PE é o valor do pagamento à ESCO, CRH é o valor dos custos de recursos humanos, CA é o custo da auditoria, CM é o custo de monitorização e CSC é o custo de subcontratações.

9. TIR (taxa interna de rentabilidade) empresa e cliente

10. VAL (valor atual líquido) empresa e cliente

Capítulo 4

Monitorização

Neste capítulo serão descritas as bases em que a ferramenta em desenvolvimento assenta e as várias fases do método de medição e verificação - como se avalia, como se mede e como se verifica a eficiência energética. Para uma correta monitorização é necessário processar e analisar dados recolhidos por meio dos mais variados métodos de medição.

“Medição & Verificação (M&V) é um procedimento de utilização de medições para determinar corretamente a poupança real conseguida numa instalação individual resultante da aplicação de Medidas de Racionalização de Energia” [9].

4.1. Introdução

Para garantir os níveis de eficiência e as economias previstas durante o contrato, é necessário recorrer a um método chamado “Medição e Verificação” (M&V). Este método é suportado por um protocolo internacionalmente reconhecido, chamado Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) - Com este procedimento os clientes podem ter a certeza que as poupanças garantidas foram atingidas de verdade, mesmo apesar de mudanças no clima, no edifício, mudanças de rotinas laborais ou volumes de produção [17].

Para verificar que o projeto atinja a performance contratualizada, as ESCOs monitorizam e verificam o projeto. A monitorização é realizada através da instalação de equipamentos para efetuar medidas pontuais ou contínuas nos circuitos em análise. Este procedimento serve de base à justificação da performance da instalação e operação dos equipamentos, podendo, ainda, envolver ferramentas de análise das faturas energéticas.

Uma vez que exige a contínua recolha de dados durante o período do contrato acordado, a monitorização do projeto pode ser dispendiosa. Os custos da monitorização do projeto devem ser incluídos nos custos do projeto [22]. A M&V é uma metodologia em desenvolvimento, embora as práticas comuns de M&V se encontrem fundamentadas em protocolos como:

- IPMVP
- ASHRAE Guideline 14
- ISO 50001 - Energy Management Standard

Geralmente são necessários documentos e guias específicos com procedimentos mais detalhados e adaptados à situação. Existem diversos fatores que influenciam os custos da medição e verificação, são eles a complexidade da medição, a quantidade e a duração do contrato de performance. O rigor e precisão também influenciam de forma substancial os custos da medição e verificação. Existem, também, vários fatores que aumentam os riscos tais como as incertezas e a complexidade dos projetos, a experiência e o bom relacionamento entre as partes, que se afiguram como fatores que reduzem o risco. A execução da medição e verificação tanto pode ser da responsabilidade exclusiva da ESCO, como pode ser também de uma assessoria, em que esta pode ser contratada pelo cliente, pela ESCO ou por ambos. Se a medição e verificação for da responsabilidade de uma assessoria, as medidas têm maior credibilidade para o cliente e à partida facilita a resolução de eventuais conflitos entre ambas as partes, para além destas vantagens pode ter a vantagem de diminuir os custos fixos para a ESCO [21].

Em certas situações, monitorizar e medir energia pode ser um processo bastante complexo e dispendioso. Como alternativa comprovada a este método, pode ser usado o método de *benchmarking* e modelação através do uso de redes neuronais. É necessária a recolha de dados de instalações de características idênticas, para se construir um modelo de consumo energético, ajustando nele características importantes da própria instalação, clima, entre outros fatores. Para validar este método, pode ser usada uma rede neuronal, assim como, podem ser previstos consumos após as medidas de racionalização energética, sendo assim possível prever poupanças. De acordo com o autor, este método revelou-se uma ferramenta de uso fácil para identificar picos de consumo, quando comparado com instalações similares, identificar os parâmetros que causam esse alto consumo, assim como, prever o comportamento da instalação depois das medidas de poupança aplicadas, o que ajuda numa rápida análise de quais medidas a implementar. Apesar destas capacidades, e quando comparado com métodos de simulação computacional, revela-se menos preciso, devido a algumas limitações, tais como: o número de amostras insuficiente, o comportamento

dos ocupantes e a estrutura do edifício. Não obstante, algumas destas lacunas podem ser preenchidas através de questionários e auditorias [27].

Outra metodologia é a monitorização dos consumos de energia, remotamente e em tempo real da instalação. Usando uma ferramenta que permita esta recolha de dados, é possível integrar juntamente com esta, um interface de controlo automático ou manual, que permita minimizar o consumo de energia. Nos últimos anos, este método tem-se tornado mais popular, porque contribui para uma contínua gestão da energia e para assim possibilitar poupanças e reduções de custos. Estes sistemas de gestão de energia, são normalmente aplicados ao controlo de sistemas ativos, como por exemplo, no aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC). Desenvolvimentos recentes neste tema seguiram os avanços da área de informática, telecomunicações e processamento de informação. Para otimizar o controlo computacional destes sistemas de gestão de energia, vários autores propõe métodos como, algoritmos genéticos, algoritmos de *Fuzzy Power Flow*, otimização por simulação, controlo adaptativo, previsão de ocupação e como já referido anteriormente as redes neuronais. Usando um sistema de monitorização autónomo, já é possível englobar monitorização em tempo real, AVAC, iluminação, entre outras. Fornecer dados organizados estatisticamente, fazer a análise de pontos fracos que sugiram possíveis intervenções e comparar o perfil de consumo atual com outros períodos similares passados. Ao mesmo tempo, construir cenários otimizados da operação do sistema que minimizam o consumo da instalação, e enviar comandos para as unidades individuais, a fim de alterar o seu funcionamento [28].

Quando se pretende aplicar medidas de baixo custo, sem investimento em novos equipamentos, ou quando uma instalação é recente o suficiente para não justificar investimento - visto que os atuais equipamentos e materiais são de última geração - é possível obter poupanças através da recalendarização do funcionamento dos mesmos. Auditorias comprovaram que no caso de edifícios mais modernos, apesar de todo o equipamento estar a funcionar da maneira prevista, mantendo todos os parâmetros dentro dos limites regulamentares, a operação encontra-se, muitas vezes, longe dos requisitos dos seus ocupantes. Este hiato, entre as previsões de operação no momento do projeto e a utilização real resulta em desperdícios, que quando quantificados se podem traduzir em poupanças muito significativas. O método para identificar esta lacuna começa por analisar o estado atual de funcionamento da instalação, fazendo o levantamento dos espaços e funções, detalhes técnicos e equipamentos de energia com os respetivos horários de funcionamento.

De seguida, são realizados inquéritos aos ocupantes e aos operadores da instalação, para traçar um cenário estatístico sobre a utilização das instalações, assim como o grau de satisfação das mesmas. A partir destes inquéritos, é possível concluir que certas zonas do edifício podem ser usadas de forma indevida, o que leva ao uso inadequado de equipamentos.

Incluindo estes novos dados, num dado modelo de simulação ou previsão de consumos, é possível calibrar e avaliar se as medidas de reagendamento de funcionamento dos aparelhos conduzirão efetivamente a poupanças [29].

4.2. Normas e Protocolos

4.2.1. IPMVP

A *Efficiency Valuation Organization* (EVO) publicou o Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) para aumentar os investimentos na eficiência energética e consumo eficiente de água, gestão do consumo e projetos de energia renovável em todo o mundo.

O IPMVP especifica o conteúdo de um Plano de Medição e Verificação (Plano de M&V). Este Plano de M&V adere aos princípios fundamentais de M&V aceites em todo o mundo e deve produzir relatórios de poupança verificáveis.

A utilização internacional do IPMVP traz as seguintes vantagens a programas que aderem as suas recomendações:

- Justificação dos pagamentos para o desempenho energético. Quando os pagamentos financeiros se baseiam em poupanças demonstradas de energia ou de água, a adesão ao IPMVP garante que as poupanças seguem boas práticas. Um relatório de poupança, que adere ao IPMVP permite a um cliente, a um utilizador de energia ou a uma empresa do sector energético, aceitar com prontidão o desempenho energético reportado. Empresas de Serviços Energéticos (ESCO) cujas faturas são suportadas por um relatório de poupança, que adere ao IPMVP, garante os pagamentos com maior facilidade.
- Redução dos custos de transação num Contrato de Desempenho Energético. As especificações do IPMVP, como base para a conceção de M&V de um projeto podem simplificar as negociações para um EPC.
- Credibilidade internacional para relatórios de poupança de energia, aumentando assim o valor para um comprador de poupança de energia associada.
- Ajudar organizações nacionais e industriais a promover e a obter o uso eficiente dos recursos e a alcançar os objetivos ambientais. O IPMVP poderá ser largamente adotado por agências governamentais nacionais e regionais e por organizações industriais para ajudar a gerir os seus programas e a aumentar a credibilidade dos resultados reportados.

A poupança de energia, água ou procura não pode ser medida diretamente, uma vez que a poupança representa a ausência do consumo de energia/água ou da procura. Em vez disso, a poupança é determinada comparando consumo medido ou consumo antes e depois da implementação de um programa, fazendo ajustes adequados às alterações nas condições.

A poupança, ou “consumo de energia evitado” é a diferença entre o consumo de referência e a energia que foi realmente contada durante o período de reporte, mais ou menos ajustes.

O termo ajustes deve ser calculado a partir de fatos físicos identificáveis acerca das características que regem a energia do equipamento dentro do limite de medição. São possíveis dois tipos de ajuste:

- Ajustes periódicos - para quaisquer fatores que rejam a energia, e se espera que mudem periodicamente durante o período de reporte, tais como o clima ou o volume de produção. Podem ser utilizadas uma variedade de técnicas para definir a metodologia de ajuste. As técnicas podem ser tão simples como um valor constante (sem ajuste) ou tão complexa como várias equações não-lineares, de parâmetros múltiplos cada uma correlacionando energia com uma ou mais variáveis independentes. Devem ser usadas técnicas matemáticas válidas para obter o método de ajuste para cada Plano de M&V.

- Ajustes não-periódicos - para aqueles fatores regidos pela energia, que não se espera que mudem habitualmente, tal como: o tamanho da instalação, a concepção e o funcionamento do equipamento instalado, o número semanal de turnos de produção ou o tipo de ocupantes. Estes fatores estáticos devem ser monitorizados para ver se há alguma alteração durante o período de reporte.

O IPMVP fornece quatro opções para determinar a poupança (A, B, C e D). A escolha entre as opções implica muitas considerações incluindo o local do limite de medição. Se for decidido determinar a poupança ao nível da instalação, a Opção C ou D podem ser favorecidas. No entanto, se apenas é de ter em consideração o desempenho energético da própria MRE, uma técnica de medição isolada da MRE pode ser mais adequada (Opção A, B ou D) [9].

4.2.2. Norma ISO 5001

A presente Norma aplica-se a todas as variáveis que afetem o desempenho energético e que pode ser monitorizado e influenciado pela organização. É aplicável a qualquer organização que queira garantir conformidade com a sua declaração de política energética, e que deseje demonstrá-la a terceiros, sendo tal conformidade a ser demonstrada por meio de autoavaliação e autodeclararão de conformidade, ou pela certificação do sistema de gestão de energia por uma organização externa. Esta Norma é baseada em elementos comuns das normas do sistema de gestão ISO, garantindo um elevado nível de compatibilidade com a ISO 9001 e ISO 14001. Estima-se que a norma poderá influenciar até 60% da utilização de energia à escala global.

Esta Norma assenta no conceito de abordagem *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), que pode ser descrito da seguinte forma:

- Plan - realizar a avaliação energética e estabelecer a linha de base, os IDEs, objetivos, metas e planos de ação necessários para produzir resultados que vão melhorar o desempenho energético de acordo com a política de energia da organização;
- Do - implementar os planos de ação de gestão de energia;
- Check - monitorizar e medir os processos e as características chave das operações que determinam o desempenho energético face à política energética e aos objetivos, e relatar resultados;
- Act - empreender ações que visem melhorar continuamente o desempenho do SGE [10].

4.2.3. ASHRAE Guideline 14

Esta norma contém requisitos mínimos de conformidade para garantir um nível razoável de confiança na determinação da poupança. Estes requisitos são estabelecidos em três abordagens específicas e incluem caminhos de conformidade para cada abordagem, que incluem:

- Medição de toda a instalação;
- Medição isolada da MRE;
- Simulação calibrada de toda a instalação.

Esta metodologia consiste nos seguintes passos:

1. Preparar o plano de medição e verificação;

2. Monitorizar o consumo de energia antes das medidas de melhoria, para definir a referência para futuramente serem calculadas as poupanças, assim como analisar os fatores que influenciam a variação nos consumos;
3. Monitorizar o consumo de energia depois das medidas de melhoria, e registar os fatores que mais influenciaram essa melhoria;
4. Calcular a base de referência segundo várias variáveis;
5. Calcular poupanças subtraindo o período após melhorias pelo período de referência;
6. Determinar a incerteza dos cálculos.

4.2.4. Diferenças entre IPMVP vs ASHRAE Guideline 14

Estes documentos complementam-se entre si, fornecendo ambas orientações e instruções aos interessados em quantificar os resultados de um contrato de desempenho energético.

Mas diferem em certos pontos-chave:

- O IPMVP é uma estrutura de definições e abordagens amplas, enquanto a ASHRAE14 fornece maior detalhe na preparação e implementação do plano de M&V;
- Segundo a opção A do IPMVP podem ser definidos pressupostos e monitorizações mais limitadas, a ASHRAE 14 prevê monitorização em todas as opções;
- Na discussão de qual a opção de M&V a implementar, na ASHRAE 14 são considerados os custos de energia elétrica necessários para as várias opções de monitorização [30].

4.3. Estrutura do plano de medição e verificação

A preparação do plano de M&V é um processo crítico na elaboração de um contrato de desempenho energético, tendo em conta que é deste ponto que se parte para determinar as poupanças alcançadas. Dentro deste processo é particularmente importante a definição da *baseline*, a qual elucida sobre as condições anteriores às da implementação das medidas de eficiência energética, contra o qual são calculadas as economias. É fundamental chegar a um equilíbrio entre custo e precisão. Uma calendarização antecipada garante que todos os dados e meios estarão disponíveis quando for necessário efetuar este cálculo.

É importante que toda a informação relevante usada na construção deste plano seja de simples leitura e de fácil acesso, para poder ser compreendida e verificada por terceiros, bem como guardar estes dados, pois podem passar anos antes de ser necessário consultá-los.

Cada vez mais a atribuição da responsabilidade deste processo fica a cargo de uma empresa ou agência independente, altamente qualificada e especializada. Esta opção reduz a possibilidade de ocorrerem litígios relacionados com a veracidade das medidas das reais economias alcançadas [3].

Um plano de M&V bem estruturado deve conter os seguintes tópicos:

- Caracterização do âmbito e objetivo da M&V;
- Caracterizar os limites de monitorização;
- Determinar período de consumo de referência;
- Determinar período de consumo de reporte;
- Identificação das variáveis que alteram a baseline de referência;
- Modelação da baseline do consumo de referência;
- Definição de indicadores e modelos de desempenho;
- Análise estatística do nível de precisão dos resultados;
- Especificações do software e recursos usados;
- Documentação disponível para consulta de terceiros;
- Responsabilidade da monitorização;
- Garantia de qualidade.

A análise detalhada deste conjunto de tópicos é um elemento crítico presente num EPC. No entanto, considerando que a FEUP tem publicado um conjunto de Dissertações sobre estes tópicos, foi entendido não alongar esta análise que não é relevante no contexto dos objetivos desta dissertação [31].

4.4. Variáveis independentes

Durante o contrato de desempenho energético, podem ocorrer mudanças na baseline que irão afetar o nível de economias esperadas ou a performance das medidas implementadas. Essas mudanças são definidas como variáveis independentes. Uma variável independente é um parâmetro que pode mudar regularmente e ter um impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação. Por exemplo, uma variável independente comum, que rege o consumo de energia do edifício é a temperatura exterior. Do mesmo modo, numa fábrica o número de unidades produzido num determinado período é frequentemente uma variável independente que afeta significativamente o consumo de energia [9].

É importante conhecer estas variáveis por várias razões. Desde logo, para incluí-las no plano de M&V, para assim modificar a baseline de referência no caso de ocorrer a variação das mesmas. Deste modo, permite aumentar o grau de precisão dos indicadores de eficiência, assim como a poupança real alcançada. Outra potencialidade que se evidencia é a possibilidade de incluir estas variáveis num modelo matemático, para assim prever o consumo da instalação quando estas sofrem alterações. Com o histórico adquirido ao longo do tempo destas variáveis, e com recurso a métodos de otimização é possível chegar a um valor ótimo de referência para toda a instalação ou para um equipamento específico. Estas variáveis podem ser divididas em dois grupos. Variáveis estáticas, que sofrem alterações com baixa frequência ou, na maior parte dos casos, nunca se alteram, como por exemplo:

- Área e volume da instalação;
- Tipo de produtos a ser produzidos ou o número de turnos de produção por dia;
- Características de revestimento do edifício;
- Potência instalada dos equipamentos da instalação;
- Vida útil dos equipamentos;
- Norma ambiental interior (ex. Níveis de iluminação, temperatura, níveis de ventilação);
- Número de ocupantes, hábitos e horários [9].

Variáveis dinâmicas, sofrem alterações com muita frequência, em alguns casos diariamente ou de hora a hora. Algumas das variáveis estáticas em cima identificadas podem surgir como variáveis dinâmicas dependendo do tipo de instalação em análise.

- Clima (Temperatura, humidade, pressão, vento, radiação solar);
- Nível de ocupação e horário de ocupação;
- Produção (unidades ou toneladas) [32].

4.5. Conforto térmico no ambiente de trabalho

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar avaliada por uma pessoa. As sensações são subjetivas, isto é, dependem das pessoas, portanto um ambiente confortável para uma pessoa pode ser frio ou quente para outra. Assim, entende-se como condições ambientais de conforto, aquelas que propiciam bem-estar ao maior número possível de pessoas.

Por conseguinte, há ambientes em que as condições são favoráveis ao equilíbrio térmico do corpo humano e o utilizador sente-se bem e há outros em que as condições são desfavoráveis, provocam indisposição, diminuem a sua eficiência no trabalho e aumentam a possibilidade da ocorrência de acidentes.

No processo metabólico o homem produz energia interna a partir da transformação dos alimentos. Essa energia é consumida na manutenção das funções fisiológicas vitais, na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular) e o restante é libertado na forma de calor. A produção de calor é contínua e aumenta com o esforço físico. Um homem padrão, com 70kg e 1,70m de altura liberta cerca de 105 W por hora.

O controlo da temperatura corporal é realizado por um sistema chamado termorregulador que comanda a quantidade de sangue que circula na superfície do corpo, possibilitando, respetivamente, maior ou menor troca de calor com o meio. O sistema termorregulador atua também sobre as glândulas sudoríparas, aumentando ou diminuindo a produção de suor em função da necessidade de perda de calor do corpo por evaporação do suor. Conforto e balanço térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem-estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador na manutenção do equilíbrio térmico do corpo humano. Isso significa que quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto. Quando o balanço térmico do corpo excede o equilíbrio, o excedente de energia produzida no metabolismo é transformado em calor que tem de ser imediatamente libertado para o meio ambiente, para que a temperatura interna se mantenha constante.

Existem três mecanismos de troca térmica do corpo humano com o ambiente. O processo por convecção, em que a remoção do calor ocorre quando o ar apresenta temperatura inferior à do corpo e o corpo transfere calor pelo contacto com o ar frio circundante. À medida que o ar quente sobe, o ar frio ocupa o seu lugar, completando-se o ciclo de convecção. O processo inverte-se quando a temperatura do ar é mais elevada do que a da superfície do corpo, em que o ar fornece calor ao corpo. Se a temperatura do ar for exatamente igual à do corpo, não haverá troca térmica por este processo.

Existe também o processo através de radiação térmica, pelo qual a energia radiante é transmitida da superfície quente para a fria por meio de ondas eletromagnéticas, que ao atingirem a superfície fria transformam-se em calor. Uma pessoa está continuamente a emitir e receber energia radiante. Assim se a temperatura das paredes de um ambiente for inferior à da pele de um homem, este perderá calor por radiação. Se as paredes estiverem mais quentes que a pele, a temperatura do corpo aumentará por efeito da radiação. A radiação térmica não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar, e a quantidade de energia radiante emitida por um corpo depende de sua temperatura superficial.

Por último, quando as condições ambientais fazem com que as perdas de calor do corpo humano por convecção e radiação não sejam suficientes para regular a sua temperatura interna, o organismo intensifica a atividade das glândulas sudoríparas e perde calor pela evaporação da humidade (suor) que se forma na pele. De forma simplificada, pode-se dizer que um líquido evaporando sobre uma superfície quente extrai calor dessa superfície, arrefecendo-a.

Os fatores que influenciam a remoção de calor do corpo humano são a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a ventilação do ambiente e a roupa usada pelas pessoas. Quando a temperatura do ar é inferior à da pele, a remoção de calor por convecção será tanto maior quanto menor for a temperatura do ar. Se o ar estiver a uma temperatura superior à da pele, este irá ceder calor ao corpo por convecção. No caso da evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da humidade relativa e da velocidade do ar.

A humidade relativa varia com a temperatura do ar. Com o aumento da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode conter também aumenta. Com a diminuição da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode conter também diminui. Isso significa que quando se deseja humidade relativa menor num ambiente, deve-se reduzir a quantidade de vapor d'água no ar ou aumentar a temperatura do ar ambiente. Por outro lado, quando se deseja humidade relativa maior, deve-se aumentar a quantidade de vapor d'água no ar ou reduzir a temperatura do ar desse ambiente. A humidade relativa do ar tem grande influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa humidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a humidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo. A alta humidade relativa produz efeito inverso.

Para se conhecer a contribuição da ventilação na remoção de calor no corpo humano é necessário conhecer a temperatura e a humidade relativa do ar.

Para a condição de ar não saturado e com temperatura inferior à da pele, pode-se afirmar que quando a ventilação aumenta o processo de evaporação aumenta, porque a humidade do corpo é retirada mais rapidamente. O processo de convecção aumenta, porque a velocidade de troca do ar que rodeia o corpo é maior. Quando a ventilação diminui os processos de convecção e evaporação também diminuem [33].

4.6. Otimização das necessidades nominais de energia

Estando Portugal inserido numa zona de clima temperado, torna-se necessário o aquecimento no Inverno e o arrefecimento no Verão, para manter as condições de conforto genéricas para os utilizadores.

Atualmente, a evolução tecnológica permite a utilização de uma grande diversidade de equipamentos que podem constituir uma instalação de climatização: caldeiras, bombas de calor, unidades de arrefecimento de ar, unidades produtoras de água refrigerada e equipamentos “verdes” tais como painéis solares, fachadas ventiladas ou aproveitamentos geotérmicos.

O consumo dos equipamentos de climatização está relacionado com diversos parâmetros internos e externos ao sistema, tais como a temperatura ambiente e a temperatura pretendida para o espaço (regulada pelo utilizador). A influência destes fatores externos acaba por ser mais significativa do que a influência dos fatores internos (tecnologia, número de tubos para o trânsito do fluido térmico, entre outros), traduzindo-se em variações de consumo que podem ser superiores a 40%.

Qualquer que seja a solução de climatização adotada torna-se evidente que apenas com um sistema de comando centralizado (gestão técnica) é possível moderar os consumos, uma vez que é a forma mais fácil de controlar num mesmo ponto a temperatura pretendida no espaço (vulgo *set-point*) [34].

Todos os fatores que influenciam o comportamento térmico de um edifício têm de ser considerado, para que o levantamento das variáveis ambientais de conforto seja representativo da condição de conforto térmico.

O comportamento térmico de uma edificação depende principalmente:

- Das condições climatéricas;
- Do projeto, construção e manutenção;
- Do uso e ocupação dessa edificação.

As condições climatéricas são caracterizadas pela temperatura e humidade relativa do ar exterior, velocidade e direção do vento e radiação solar direta e difusa.

O projeto, construção e manutenção dizem respeito às condições de implementação caracterizada pela latitude, longitude e orientação do sol, ao modelo arquitetónico, às condições de ventilação, aos materiais escolhidos e à preservação das condições inicialmente idealizadas.

O uso do edifício é definido pelos equipamentos utilizados e pelas atividades desenvolvidas, já a ocupação está relacionada com o número de ocupantes e o horário em que as pessoas estão no local [33].

Como é o consumo de AVAC que apresenta maior volatilidade, comparando-o com os demais equipamentos presentes num edifício de serviços, é necessário conhecer as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Para isto, é necessário conhecer um vasto leque de variáveis que saem fora do âmbito desta dissertação, tanto pela área científica como pelo tempo disponível para a realização da mesma. Num edifício, existem ganhos e perdas de calor. Por isso as necessidades de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas:

1. Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios;
2. Perdas de calor resultantes da renovação de ar;
3. Ganhos de calor úteis, resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados.

As paredes armazenam calor durante o dia, parte do qual é devolvido ao espaço durante a noite. A carga térmica interior pode ser gerada pelas pessoas, como pelos equipamentos elétricos e iluminação. Por outro lado temos os ganhos através da radiação solar, este ganho depende de alguns parâmetros como por exemplo, tipo persianas, tipo de janela, latitude, mês do ano, orientação das janelas, nebulosidade. Além destes parâmetros passivos, existem os parâmetros ativos, que dependendo da natureza e da atividade praticada na instalação, podem ser necessidade de ventilação, humidificação e desumidificação [35].

Por outro lado, as necessidades nominais de arrefecimento de um edifício são a energia útil que é necessária retirar-lhe para manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência durante toda a estação de arrefecimento. É possível usar a mesma metodologia adotada para o cálculo dos ganhos uteis de aquecimento. Enquanto no Inverno os ganhos úteis contabilizados são aqueles que não provocam sobreaquecimento do espaço interior, os ganhos não úteis são, precisamente, os que provocam as necessidades de arrefecimento durante o Verão. Este método produz resultados com a aproximação suficiente e adequada ao regulamento, no entanto, para uma maior exatidão e dada a natureza altamente dinâmica destes fenómenos térmicos, seria necessário realizar o cálculo com recurso a meios de simulação dinâmica detalhada [36].

Esta otimização irá ter ajuda dos valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, presentes no RCCTE.

Segundo o RCCTE, existem valores limites de necessidade nominal de energia útil para aquecimento (N_i) de uma fração autónoma, em kWh/m².ano, dependem dos valores do fator de forma (FF) da fração autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local, e são os seguintes:

- Para $FF < 0,5$:

$$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD} \quad (4.1)$$

- Para $0,5 < FF < 1$:

$$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD](1,2 - 0,2 FF) \quad (4.2)$$

- Para $1 < FF < 1,5$:

$$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD](1,2 - 0,2 FF) \quad (4.3)$$

- Para $FF > 1,5$:

$$N_i = 4,05 + 0,068 85 GD \quad (4.4)$$

Assim como os valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v) de uma fração autónoma dependem da zona climática do local, e são os seguintes:

- Zona V1 (norte), $N_v=16$ kWh/m².ano;
- Zona V1 (sul), $N_v=22$ kWh/m².ano;
- Zona V2 (norte), $N_v=18$ kWh/m².ano;
- Zona V2 (sul), $N_v=32$ kWh/m².ano;
- Zona V3 (norte), $N_v=26$ kWh/m².ano;
- Zona V3 (sul), $N_v=32$ kWh/m².ano.

A figura que contém o mapa das diferentes zonas climáticas de verão pode ser consultada no anexo V.

Para ser eficiente do ponto de vista energético, um edifício deve ter um fator de forma (FF) baixo. Por este motivo, como se ilustra na Figura 4.1, uma casa independente é menos eficiente em termos energéticos do que um edifício de vários pisos [37].

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum(\tau A_{int})i}{V} \quad (4.5)$$

Onde:

- A_{ext} - Áreas da envolvente exterior
- A_{int} - Área da envolvente interior
- V - Volume interior
- τ - constante



Tipo de edifício	S/V
Casa independente	Cerca de 0,80
Casa geminada	Cerca de 0,65
Edifício de um piso	Cerca de 0,50
Edifício de vários pisos	Cerca de 0,30

Figura 4.1 - Fator de forma de cada tipo de edifício [37].

Como no âmbito desta dissertação não foi possível obter os dados necessários para o cálculo do fator de forma de todas as agências, foi calculado o FF para um caso onde foram obtidos os dados necessários a este cálculo. O valor que resultou do cálculo através da fórmula presente no RCCTE foi de 0,33, o que está dentro da gama de valores considerado na Figura 4.1. Foi então considerado o FF de 0,30 para as restantes, dadas as semelhanças construtivas entre elas.

Segundo a norma internacional ASHRAE Standard 90.1-2004, o consumo anual de energia elétrica num edifício existente ronda os 266 kWh/m²/ano. Para estar dentro dos padrões da norma, esse consumo deve rondar os 157 kWh/m²/ano. Com melhoramentos de iluminação, envolvente e aproveitamento de luz natural, o consumo ser no máximo 92 kWh/m²/ano [38].

Para obter o valor de consumo base foram consideradas três referências. Segundo o Departamento de Energia dos EUA, os sistemas de AVAC contribuem para 40% do total da energia usada num edifício comercial típico [39]. Assim foi considerado que o consumo do AVAC seria 40% do valor apresentado nas faturas [40]. Em segundo e terceiro, lugar foram considerados os consumos de referência presentes na norma ASHRAE Standard 90.1-2004 [38], de 157 e 92 kWh/m²/ano.

Os resultados das necessidades de aquecimento e arrefecimento foram calculados para todas as agências do Banco A e B e usados para o processo de *benchmarking* apresentado no ponto a seguir.

4.7. Marcas de Referência (Benchmarking)

O processo marcas de referência, de seguida designado por *benchmarking* resulta da necessidade de avaliar de forma comparativa e sistemática fatores de sucesso e insucesso entre a organização e as instalações com as mesmas características físicas e operacionais. É um processo contínuo que permite comparar produtos, serviços e processos de trabalho. Com recurso a indicadores que resultam do processo de *benchmarking*, é possível identificar oportunidades de melhoria de maneira imediata e com relativo baixo custo.

Neste caso em particular, foi possível recolher informações sobre o perfil energético de um edifício de serviços, nomeadamente agências bancárias. Tendo em conta a informação disponibilizada pela empresa acolhedora do estágio, foi possível realizar dois processos de *benchmarking* distintos. O primeiro a nível nacional recorrendo a duas instituições bancárias à frente designadas por Banco A e B, com as seguintes características:

- Área útil
- Temperatura Média anual
- Consumo de eletricidade anual
- Humidade relativa do ar
- Amplitude térmica³
- Graus dia⁴
- Temperatura exterior do projeto⁵

E o segundo a nível local recorrendo à instituição designada por Banco B:

- Área útil
- Ocupantes
- Nº de Pisos
- Horas funcionamento
- Consumo de eletricidade anual

³ Amplitude térmica diária (Verão), é o valor médio das diferenças registadas entre as temperaturas máximas e mínimas diárias no mês mais quente.

⁴ Graus dia de aquecimento (base 20°C), é um número que caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e que é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base (20°C) e a temperatura do ar exterior durante a estação de aquecimento. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco)

⁵ Temperaturas exteriores de projeto é a temperatura exterior que não é ultrapassada inferiormente, em média, durante mais do que 2,5% do período correspondente à estação de aquecimento, ou excedida, em média, durante mais do que 2,5% do período correspondente à estação de arrefecimento, sendo portanto as temperaturas convencionadas para o dimensionamento.

Com o estudo do panorama nacional, é possível obter conclusões de outro tipo de variáveis que não são possíveis controlar na fase de projeto, como por exemplo a influência da temperatura exterior, amplitude térmica e graus dia. Optou-se por fazer a separação entre dois métodos, porque no primeiro são consideradas variáveis climatéricas, e uma vez que no segundo método a localização apenas se distribui entre Porto e Lisboa, logo não se iria verificar uma variação significativa que permitisse ser alvo de estudo.

A nível local é possível extrair conclusões do ponto de vista de otimização em sede de projeto, nomeadamente a nível operacional, sendo o número de ocupantes, pisos e horas de funcionamento, o que difere este método do primeiro.

Na tabela presente no Anexo I é possível ver esta análise aplicada ao caso de estudo. São apresentados resumidamente na Tabela 3, os valores mínimo, médio e máximo deste IDE que representa o rácio entre o consumo anual de energia elétrica e a área útil. Este indicador foi calculado para quatro bases de consumo diferentes. Para estas diferentes referências de consumo foram criados 4 métodos:

Método 1 - $\text{Consumo Total} = \text{Consumo base}$

Onde:

- $\text{Consumo base} = 157 \times \text{Área útil}$

Método 2 - $\text{Consumo Total} = \text{Consumo base} + N_i + N_v$ (4.6)

Onde:

- $\text{Consumo base} = (\text{Consumo faturas}) \times 0,6$
- $N_i = (4,5 + 0,0395 \times \text{GD}) \times \text{Área útil}$
- $N_v = K \times \text{Área útil}$, K é o valor correspondente à zona climática presente no RCCTE.

Método 3 - $\text{Consumo Total} = \text{Consumo base} + N_i + N_v$ (4.7)

Onde:

- $\text{Consumo base} = (157 \times \text{Área útil}) \times 0,6$
- $N_i = (4,5 + 0,0395 \times \text{GD}) \times \text{Área útil}$
- $N_v = K \times \text{Área útil}$, K é o valor correspondente à zona climática presente no RCCTE.

Método 4 - $\text{Consumo Total} = \text{Consumo base} + N_i + N_v$ (4.8)

Onde:

- $\text{Consumo base} = (92 \times \text{Área útil}) \times 0,6$
- $N_i = (4,5 + 0,0395 \times \text{GD}) \times \text{Área útil}$

- $Nv = K \times \text{Área útil}$, K é o valor correspondente à zona climática presente no RCCTE.

No método 1 não foi efetuada qualquer desagregação entre o AVAC e o resto dos equipamentos. Nos restantes foi desagregado do consumo base do consumo do AVAC. Consumo este, calculado através das indicações presentes no RCCTE para calcular necessidades de aquecimento e arrefecimento. O consumo base foi calculado retirando 40% do valor presente nas faturas de eletricidade, assim como, assumindo o consumo base de 157 e 92 kWh/m²/ano para cada agência.

Foi recolhida uma amostra de 153 agências, 107 do banco A e 46 do banco B. As médias dos indicadores são idênticas, o que permite concluir que o tipo de construção, funcionamento e equipamentos são semelhantes em ambos os bancos.

Tabela 3 - Média do indicador segundo diferentes métodos.

Indicador (kWh/m ² /ano)	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
Média Banco A	146,95	173,60	179,63	140,63
Média Banco B	141,407	168,72	178,08	139,08
Média Total	145,28	172,13	179,16	140,16
Mínimo	40,64 (Lordelo do Ouro)	109,66 (Lordelo do Ouro)	157,83 (Portimão)	118,83 (Portimão)
Máximo	322,88 (Pombal)	276,88 (Évora)	221,77 (Vila Real)	182,77 (Vila Real)

É de salientar a diferença de resultados entre o método 1 e os restantes que contemplam as necessidades de aquecimento e arrefecimento. No método 1, como apenas tem em consideração a área útil, a agência com o valor máximo do indicador situa-se numa região de clima ameno, enquanto os restantes métodos já apresentam agências situadas em regiões com climas mais severos. Quanto maior a amplitude térmica de uma região, mais energia será necessária para o sistema de climatização. Além da localização e clima existem alguns fatores que influenciam o consumo, como por exemplo, a elevada afluência de pessoas. Da mesma maneira, quanto maior o nível de funcionários, assim como clientes, maior serão as perdas térmicas, devido à abertura e fecho de portas. Com o aumento de clientes as necessidades de climatização também vão aumentar devido ao elevado uso dos equipamentos informáticos, que geram ganhos positivos de energia calorífica, assim como cada ser humano presente no espaço.

Por outro lado, verificaram-se casos em que o valor de consumo se situou muito abaixo dos limites impostos pelos vários métodos de cálculo apresentados. Uma vez que a área útil tem um grande peso no cálculo destes indicadores, uma agência que apresente um indicador de “super eficiência” pode dever-se a vários fatores. Atualmente parte da agência pode-se encontrar desativada ou sem ocupação, no entanto a área útil desse mesmo espaço continuará a entrar para o cálculo deste indicador, adulterando o resultado. Outra razão pode dever-se a erros de envio e processamento das faturas energéticas.

Na figura 4.2 é possível ver o número de agências que apresentam potencial redução de consumos, tendo em conta os vários métodos de cálculo de consumo base. Dentro das agências que apresentaram potencial de redução, são apresentados na tabela 4, o mínimo, média e máximo destes valores.

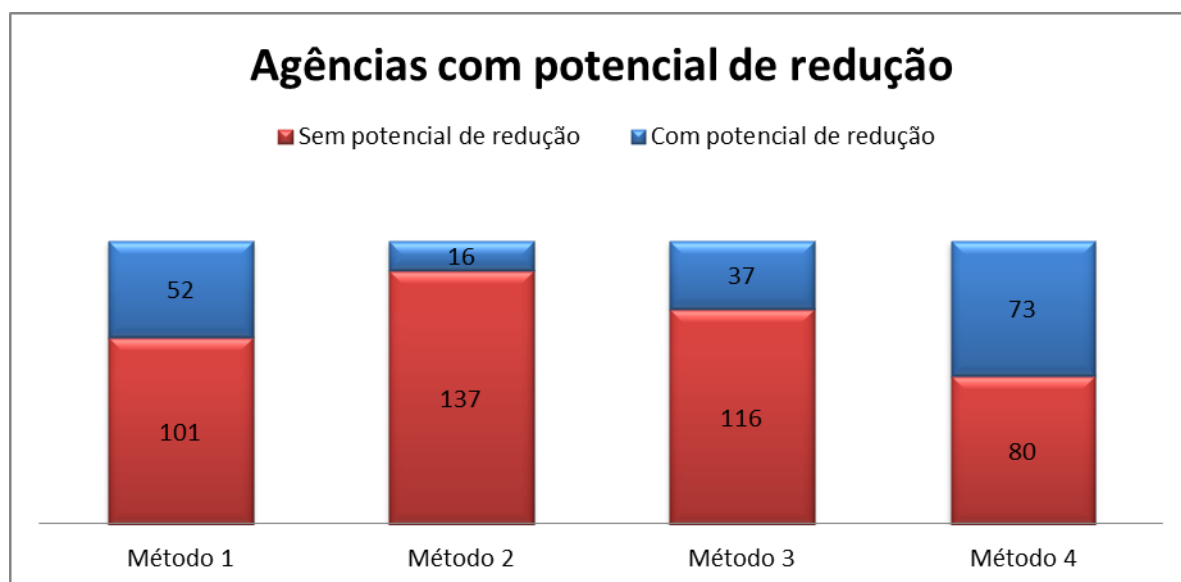


Figura 4.2- Número de agências com potencial de redução

Tabela 4 - Percentagem de Potencial de Poupanças

Método	Potencial redução mínima	Potencial redução média	Potencial redução máxima
1	1,13 %	20,3 %	51,38 %
2	0,31 %	6,23 %	14,32 %
3	0,96 %	16,1 %	45,15 %
4	0,44 %	23,12 %	57,23 %

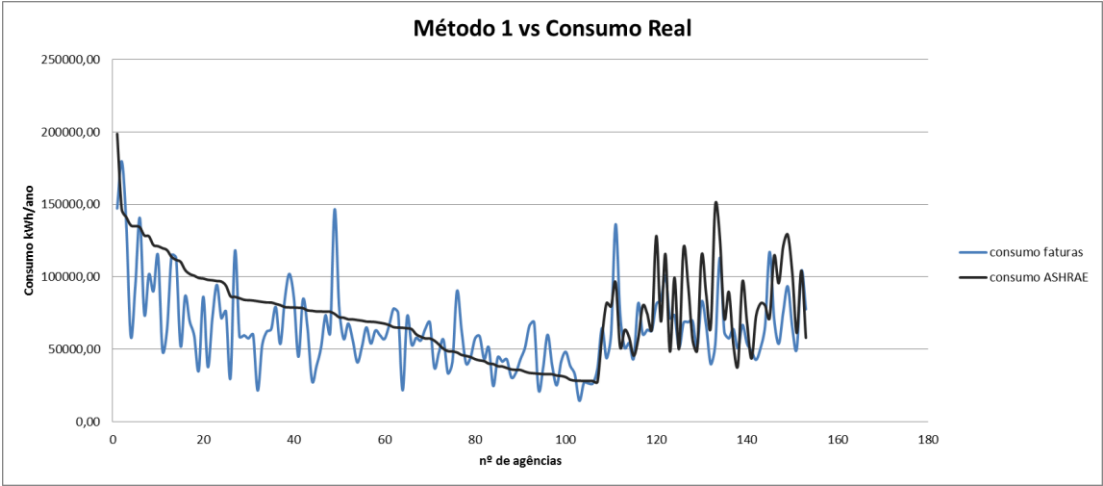


Figura 4.3 - Comparação entre método 1 e real faturado

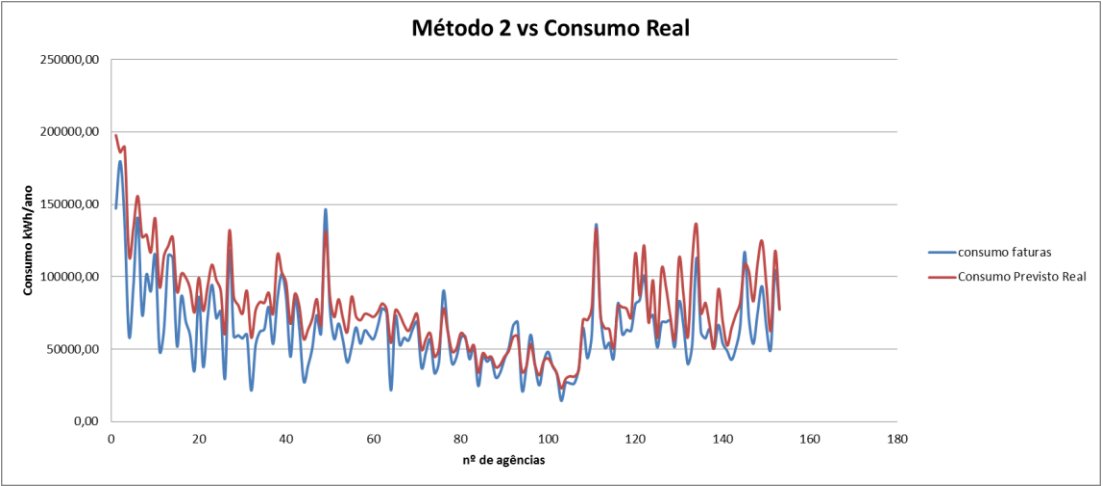


Figura 4.4 - Comparação entre método 2 e real faturado

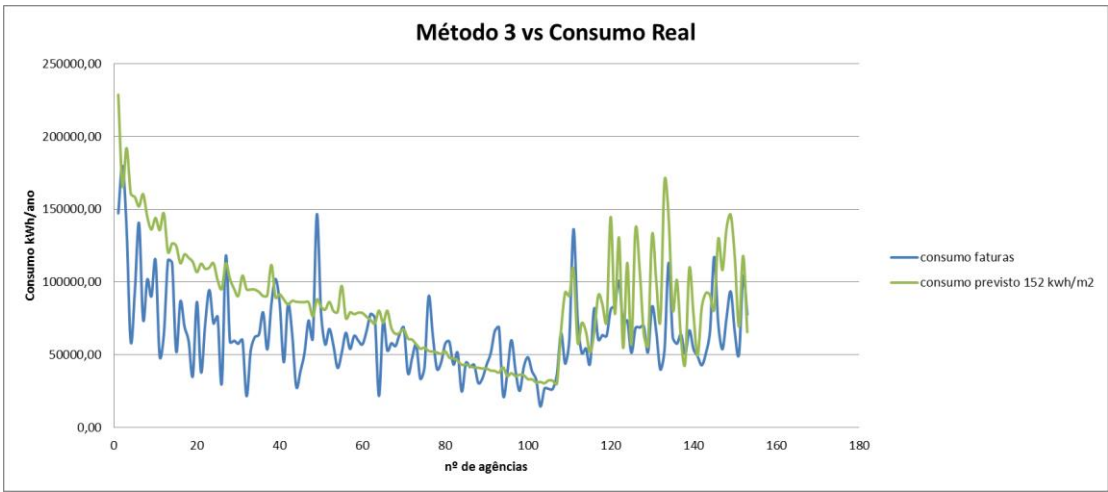


Figura 4.5 - Comparação entre método 3 e real faturado

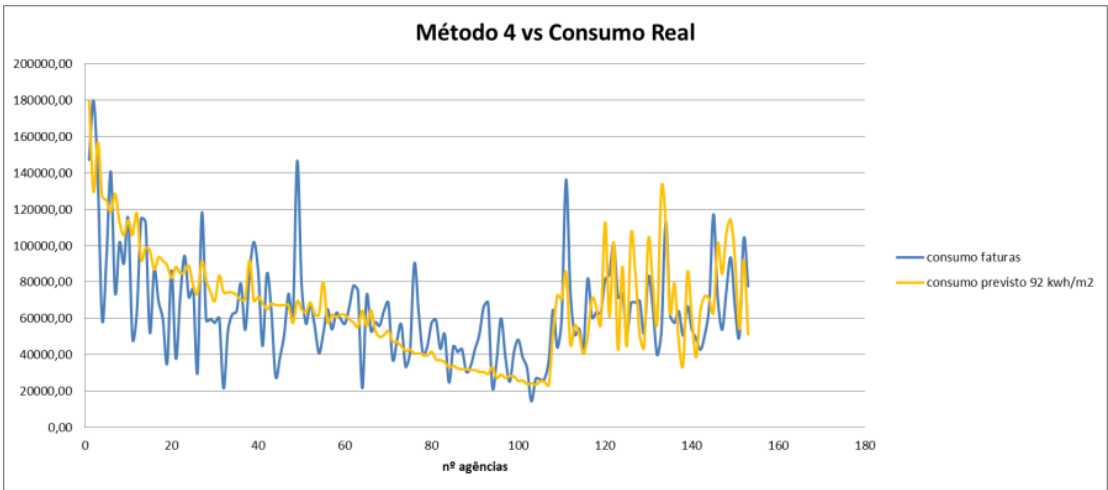


Figura 4.6 - Comparação entre método 4 e real faturado

4.7.1. Análise de dados - Data Mining

Para analisar os dados de ambas as instituições bancárias foram utilizados métodos de *data mining*. Este procedimento permite explorar grandes quantidades de dados, para encontrar padrões consistentes, para assim obter um relacionamento sistemático entre variáveis. Este método serve-se de várias técnicas de análise estatística, inteligência artificial e reconhecimento de padrões. Neste caso em particular, recorreu-se à *toolbox* de *Data Mining* do MS Excel 2010.

Em primeiro lugar foi efetuada uma regressão linear entre o consumo anual (kWh) e a área útil da agência bancária A, como se pode ver na figura 4.7.

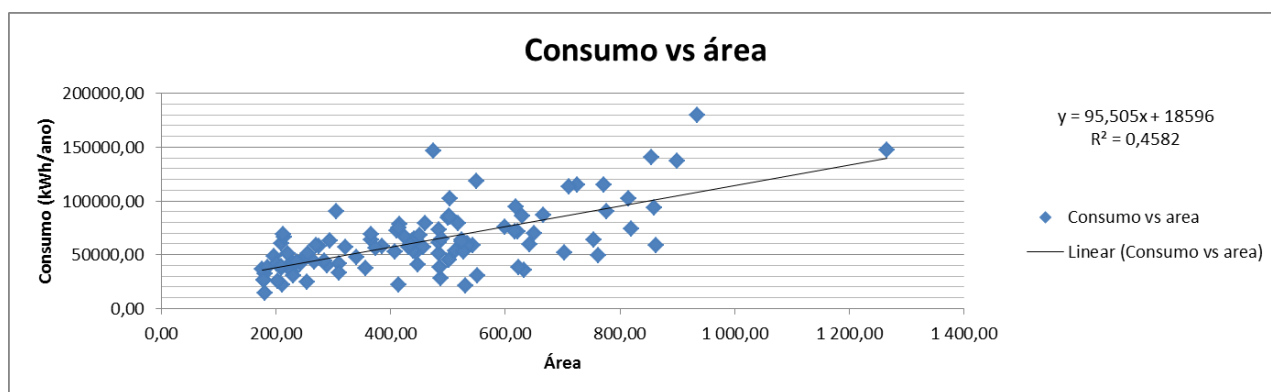


Figura 4.7 - Gráfico regressão linear Consumo vs Área

Como se pode observar, desta regressão linear resultou um coeficiente de correlação (R) de 0,4582, ou seja aproximadamente 46% da variação do consumo energético está relacionada diretamente com a variação da área útil. Os restantes 54% são resultantes de outros fatores não considerados. Analogamente, efetuando a mesma regressão entre consumo e as restantes variáveis obtiveram-se os seguintes coeficientes de correlação:

Tabela 5 - Coeficientes de correlação entre variáveis externas e consumo anual (kWh)

Variável Correlacionada	Coeficiente R
Área útil	45,82%
Amplitude térmica	4,02%
Temperatura exterior projeto	3,65%
Graus Dia	0,05%
Temperatura média anual	0,34%
Humidade média anual	4,13%

Da Tabela 5 podemos concluir que conseguimos explicar 58,01% da variação do consumo energético. Os restantes 41,99% não foram possíveis quantificar. No entanto revendo a literatura científica relacionada com o tema, é possível concluir que esta percentagem resulta de outras variáveis já supramencionadas.

Se analisarmos comparativamente certos casos é notório o maior impacto destas variáveis. Será feita a análise entre o método 1 e 3, ambos tem como base 157 kWh/ano/m². A diferença entre os dois métodos está no método 3, em que estão presentes as necessidades de climatização do espaço.

Tabela 6 - Comparação Agências Évora vs Setúbal

Agência	Área	kWh/ano	Temp. média	GD	Amp. Térmica	Desvio entre método 1 e real faturado	Desvio entre método 3 e real faturado
ÉVORA	474	146557	16,60	1390	17	49,21%	39,96%
SETÚBAL	855	140625	18,10	1190	12	4,54%	-8,04%

Como se pode ver na Tabela 6, Évora e Setúbal apresentaram consumos anuais idênticos. No entanto, Setúbal apresenta um desvio relativamente à norma da ASHRAE apenas de 4,54%, o que nos indica que o seu consumo anual está próximo do ótimo, não necessitando para já de qualquer intervenção crítica. Évora apresenta uma área útil com quase metade do valor relativamente à agência de Setúbal, o facto de apresentar consumos idênticos pode ser explicado pela diferença na amplitude térmica na região de Évora, assim como mais *Graus-Dia* na estação de aquecimento. No método 3, o desvio não é tão elevado precisamente porque considera a região climática e as suas características no cálculo de necessidades de climatização.

Tabela 7 - Comparação Agências Reguengos Monsaraz vs Vila Real

Agência	Área	kWh/a no	Temp média	GD	Amp. Térmica	Temp. ext. projeto	Desvio entre método 1 e real faturado	Desvio entre método 3 e real faturado
REGUENGOS MONSARAZ	502	85546	16,60	1310	17	37	7,87%	-7,06%
VILA REAL	504	84759	14,90	2660	15	33	6,64%	-31,87%

Analisando as duas agências presentes na Tabela 7 com área útil idêntica, em regiões climáticas diferentes, mas ambas com elevada severidade climatérica, apresentam um consumo anual idêntico. No caso de Reguengos de Monsaraz, este consumo justifica-se pela maior amplitude térmica e temperatura exterior de projeto, assim como temperatura média mais elevada comparativamente com Vila Real. Em Vila Real o que poderá pesar mais na fatura energética será a baixa temperatura média e o número de graus-dia de aquecimento.

De notar que ambas apresentam valores de consumo energético próximos do estipulado pela norma da ASHRAE. No entanto, calculando pelo RTCCE, Vila Real apresenta um défice no que diz respeito às necessidades de aquecimento.

Tabela 8 - Comparação Agências Júlio Dinis vs Viana do Castelo

Agência	kWh/ano	Temp. Média	Humi.	GD	Desvio entre método 1 e real faturado	Desvio entre método 3 e real faturado
JÚLIO DINIS	56641	16,60	67,90	1610	11,11%	-0,95%
VIANA DO CASTELO	68559	14,90	80,40	1760	16,19%	1,65%

Na tabela 8, não estão presentes as variáveis amplitude térmica, área (+- 345m²) e temperatura exterior do projeto, porque este valor é idêntico entre estas agências em análise. Deste modo, é possível analisar que outros fatores podem ter influência no consumo energético. Na agência de Viana do Castelo, o desvio da norma da ASHRAE é de 16,19%. Isto pode ser explicado pela menor temperatura média anual, o que conduz a uma utilização mais intensiva do sistema AVAC na estação de aquecimento. Essa necessidade é visível no método 3, onde o desvio é insignificante, precisamente porque tem em conta as características do clima nas necessidades de aquecimento. Por outro lado, na estação de Verão, a elevada humidade relativa do ar vai criar uma maior sensação de calor nos ocupantes do edifício, levando também a um maior gasto para arrefecimento do ar.

No caso da agência Júlio Dinis (Porto), o desvio em relação à norma ASHRAE deve-se provavelmente ao maior número de pessoas que se dirigem à agência bancária diariamente, que leva a um maior fluxo de pessoas, e a um maior uso dos equipamentos informáticos. No entanto tal como no caso anterior, quando incluídas as necessidades de climatização, o consumo geral já apresenta valores mais próximos do considerado ideal pelo RCCTE.

Este método de *benchmarking* permitiu concluir que a área útil da agência é que tem maior influência no consumo. Os casos aqui apresentados servem de exemplo ao estudo das variáveis externas que em parte ajudam a explicar as variações de consumo nas agências. As conclusões tiradas nestes exemplos não foram atos isolados, mas também se repetem para outros casos comparativos. Por isso, foi possível concluir que para além da área útil a amplitude térmica, humidade relativa do ar e temperatura exterior do projeto têm o maior peso nas necessidades de aquecimento e arrefecimento. De notar ainda que, analisando a performance apenas pela norma da ASHRAE pode levar a erros de interpretação, uma vez que ao contrário do RCCTE, não contempla a severidade dos climas.

Recorrendo novamente à *toolbox* do Excel, foi possível determinar as variáveis que mais influenciam o consumo final. Esta imagem é produzida automaticamente pelo Excel, recorrendo a um algoritmo baseado em árvores de decisão, e permite conhecer quais as ligações mais fortes à variável consumo anual, o próprio *software* despreza as variáveis menos influentes. Neste caso obtivemos o seguinte resultado:

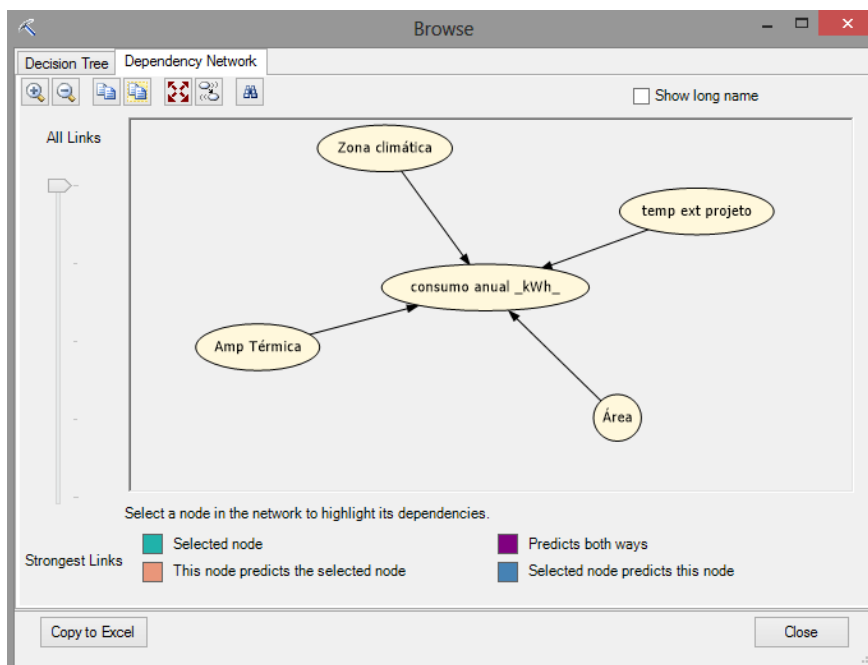


Figura 4.8 - Variáveis mais influentes no consumo anual

- 1º Área
- 2º Amplitude Térmica
- 3º Temperatura exterior projeto
- 4º Zona climática

Esta confirmação analítica veio comprovar a análise empírica feita anteriormente.

Até este ponto foi estudado o comportamento das variáveis independentes a nível nacional com recurso ao Banco A. Com dados do Banco B podemos perceber como varia o consumo com outro tipo de variáveis mais específicas:

- Área útil;
- Ocupantes;
- N° de Pisos;
- Horas funcionamento;
- Consumo de eletricidade anual;

Variável	Valor	Consumo Anual (kWh)	Relative Impact
ocupantes	< 7	< 57349.62	
horas funcionamento	9.5 - 10	< 57349.62	
ocupantes	7 - 8	57349.62 - 72425.45	
horas funcionamento	< 7.5	57349.62 - 72425.45	
horas funcionamento	10 - 10.5	87819.36 - 117340.95	
ocupantes	8 - 18	87819.36 - 117340.95	
horas funcionamento	>= 10.5	87819.36 - 117340.95	
nº Pisos	4	>= 117340.95	
ocupantes	7 - 8	>= 117340.95	

Figura 4.9 - Impacto relativo das variáveis independentes no consumo geral

Para esta análise recorreu-se novamente à *toolbox* da data mining do Excel, desta vez com recurso a uma ferramenta mais simples, porém eficaz, como podemos ver na Figura 4.9. É uma ferramenta que faz a correlação entre várias colunas de dados, analisando como esses valores variam em relação a uma coluna de referência, neste caso “consumo anual”. Analisando os resultados é possível comprovar que para consumos até 72425 kWh/ano, a variável “ocupantes” é a que tem maior influência, sendo praticamente irrelevante o seu horário de funcionamento.

Para um valor de consumo entre 87819 e 117348 kWh/ano, verificamos que o nº de funcionários continua a ser relevante e horário de funcionamento de cerca de 10 H/dia tem um peso mais significativo no consumo, deixando de ser relevante quando este nº de horas é ultrapassado, isto porque podem continuar a operar no entanto sem as portas abertas ao público.

Por último, para valores superiores a 117349 kWh/ano, nota-se que o nº de ocupantes deixa de ter tanta influência, passando a ser mais determinante o nº de pisos do edifício na fatura energética. Para além destes dois grupos de variáveis, foi estudado um terceiro:

- Temperatura máxima
- Temperatura média
- Ponto de orvalho⁶
- Humidade Relativa⁷
- Pressão
- ⁸Velocidade média do vento
- Rajadas⁹

⁶ Ponto de orvalho designa a temperatura à qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação

⁷ Humidade relativa é a relação entre a pressão de vapor do ar (medida em pascal) e a pressão de vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação sobre uma superfície de água líquida ou gelo.

⁸ A pressão atmosférica é a força exercida por unidade de área, neste caso a força exercida pelo ar em um determinado ponto da superfície.

⁹ Rajada de vento é um vento forte e de curta duração.

Este grupo de variáveis representa as que afetam o conforto térmico no ambiente de trabalho. Como o conforto térmico é proporcionado de forma ativa pelo sistema AVAC, apenas foi analisado o consumo deste equipamento em função da alteração destas variáveis. Para isto foi monitorizada uma agência bancária, situada em Lisboa. Foi possível obter monitorizações desde o final do mês de Novembro de 2012 até a data do término deste trabalho. Cruzando os dados de consumo do sistema AVAC com os dados destas variáveis recolhidas através de uma estação meteorológica próxima da agência foi possível obter a relação descrita da Figura 4.10. Foram apenas considerados os dias úteis da semana.

Variável	Valor	Consumo	Relative Impact
Ponto orvalho	≥ 11	< 15.782193272	
Humidade	≥ 86	< 15.782193272	
Temperatura Média	13 - 15	< 15.782193272	
Temperatura Máxima	17 - 21	< 15.782193272	
Ponto orvalho	3 - 6	25.1394535936 - 35.461020576	
Ponto orvalho	6 - 9	25.1394535936 - 35.461020576	
Temperatura Média	≥ 18	35.461020576 - 44.562976992	
Temperatura Máxima	≥ 25	35.461020576 - 44.562976992	
Humidade	59 - 67	35.461020576 - 44.562976992	
Humidade	< 59	35.461020576 - 44.562976992	
Temperatura Máxima	21 - 25	35.461020576 - 44.562976992	
Ponto orvalho	< 3	≥ 44.562976992	
Temperatura Média	< 11	≥ 44.562976992	
Temperatura Máxima	< 15	≥ 44.562976992	
Ponto orvalho	3 - 6	≥ 44.562976992	
Humidade	67 - 76	≥ 44.562976992	

Figura 4.10- Impacto relativo das variáveis de conforto no consumo de AVAC

Devido à pouca exposição da envolvente deste edifício às condições climatéricas, não foi possível detetar influência da velocidade média do vento e das rajadas no consumo de AVAC. O ponto de orvalho, que está diretamente relacionado com a humidade relativa do ar, tem uma grande influência na sensação de conforto no ser humano, o que representou uma influência direta nos resultados. De acordo com a fonte consultada, é considerado um ambiente confortável com o ponto de orvalho entre 10 e 16 °C. Quando este valor é menor que 10 e superior a 16 °C pode gerar algum desconforto [41]. Como se pode ver na figura 4.9, quando o ponto de orvalho ronda os 11°C e a humidade relativa do ar é alta, estas duas variáveis apresentam um elevado impacto no baixo consumo de AVAC. Quando o ponto de orvalho é inferior a 11°C, é notório o gradual aumento do consumo. Pode verificar-se na figura que para valores de ponto de orvalho entre 3-6°C o impacto no consumo vai ser superior do que para valores entre 6-9°C, e para valores onde o ponto de orvalho se situou entre 3 e 0, foi quando se verificaram os valores de consumo mais elevados.

A influência das variáveis vento, pressão e rajadas não foram perceptíveis nesta agência, possivelmente por estar inserida num centro urbano, onde estas condições não se fazem sentir com tanta severidade.

Para o estudo destas variáveis foi usada uma agência situada na chamada “terra de moinhos de vento”. Situada na Região oeste e muito próximo da praia, Santa Cruz é um local onde é possível perceber a influência destas variáveis no consumo do AVAC. Grande parte da envolvente do edifício desta agência está em contacto com o exterior, em que parte dela está virada a norte, o que a torna vulnerável aos fortes ventos que se fazem sentir na região. Apesar do período de monitorização ser bastante mais reduzido comparativamente com o caso anterior, aproximadamente um mês, já foi notório a influência desta componente no comportamento térmico de edifício. Analisando a Figura 4.11, é novamente visível a influência do ponto de orvalho e da humidade nas condições de conforto, verificando-se mais uma vez que para valores próximos de 11°C e humidade alta o AVAC apresenta baixo consumo. Em seguida nota-se a influência das rajadas e vento no aumento gradual do consumo, isto acontece quando as rajadas se situam entre 31 e 42 km/h, assim como quando este valor é superior a 58 km/h. Para consumos superiores a 19,922 kWh/dia, é de notar que com o aumento do ponto de orvalho e da temperatura as necessidades de manter o equilíbrio térmico e do edifício são maiores. Neste caso a influência das rajadas de vento ainda se faz sentir, mas, no entanto, o seu impacto relativamente a estas variáveis é menor.

Variável	Valor	Consumo	Relative Impact
Humidade	>= 86	< 8.7331337328	
Ponto orvalho	11	< 8.7331337328	
Humidade	< 80	8.7331337328 - 14.6794915456	
Temperatura Máxima	19	8.7331337328 - 14.6794915456	
Temperatura Máxima	21	8.7331337328 - 14.6794915456	
Rajada	< 24	8.7331337328 - 14.6794915456	
Temperatura Máxima	17	8.7331337328 - 14.6794915456	
Rajada	24 - 31	8.7331337328 - 14.6794915456	
Rajada	31 - 42	14.6794915456 - 18.223859728	
Temperatura Máxima	16	14.6794915456 - 18.223859728	
Ponto orvalho	9	14.6794915456 - 18.223859728	
Rajada	>= 58	18.223859728 - 19.922832848	
Ponto orvalho	10	18.223859728 - 19.922832848	
Temperatura Máxima	14	18.223859728 - 19.922832848	
Vento	>= 10	18.223859728 - 19.922832848	
Humidade	< 80	18.223859728 - 19.922832848	
Ponto orvalho	14	>= 19.922832848	
Temperatura Máxima	22	>= 19.922832848	
Vento	< 4	>= 19.922832848	
Rajada	42 - 58	>= 19.922832848	
Rajada	< 24	>= 19.922832848	
Ponto orvalho	10	>= 19.922832848	

Figura 4.11- Impacto relativo das variáveis externas no consumo de AVAC

4.8. Modelação da baseline de consumo

A modelação matemática é utilizada na M&V para preparar o termo dos ajustamentos periódicos. A modelação implica encontrar uma relação matemática entre variáveis dependentes e independentes. A variável dependente, habitualmente a energia, é modelada como sendo regida por uma ou mais variáveis independentes X_i , (também conhecidas como variáveis ‘explicativas’). Este tipo de modelação é denominado análise de regressão.

Na análise de regressão, o modelo tenta “explicar” a variação da energia resultante das variações nas variáveis independentes individuais (X_i). Por exemplo, se um dos X s é o nível de produção, o modelo iria avaliar se a variação da energia da sua média é causada por alterações no nível de produção. O modelo quantifica a causalidade. Por exemplo, quando a produção aumenta por uma unidade, o consumo de energia aumenta por unidades “b”, onde “b” é denominado coeficiente de regressão.

Os modelos mais comuns são regressões lineares da forma:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + \varepsilon$$

onde:

- Y é a variável dependente, habitualmente sob a forma de consumo de energia durante um período de tempo específico (por exemplo, 30 dias, 1 semana, 1 dia, 1 hora, etc.);
- X_{it} ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) representa as ‘p’, variáveis independentes tais como o clima, a produção, a ocupação, a duração do período de contagem, etc;
- b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) representa os coeficientes derivados para cada variável independente, e um coeficiente fixo (b_0) que não está relacionado com as variáveis independentes;
- ε representa os erros residuais que permanecem inexplicados após a justificação do impacto das várias variáveis independentes. A análise de regressão encontra o conjunto dos valores b_i que fazem a soma dos termos de erro residual ao quadrado o mais próximo possível de zero (assim os modelos de regressão são também denominados modelos dos mínimos quadrado) [9].

No âmbito desta dissertação, foi estudada a modelação da baseline do consumo de referência de várias agências bancárias. Tendo em conta as características de funcionamento deste tipo de instalação, e depois de efetuada a desagregação de consumos, por tipo de equipamento, foi possível concluir que, em condições normais, o equipamento que reage a variáveis independentes é o AVAC.

Deste modo, foi incluído no consumo base (bo) toda a iluminação, equipamentos informáticos e outros eletrodomésticos, que por norma não se alteram ao longo do ano.

Para modelar o consumo do AVAC, foram estudadas as variáveis independentes que justificam as alterações do perfil de consumo diário. Para isto, foi usada a rede neuronal disponível na *Toolbox* do *software* MatLab. O tipo de arquitetura de rede usada foi a *Fitting Tool*.

4.8.1. Rede Neuronal

Redes neuronais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neuronal de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. É composta por várias unidades de processamento (neurónio), e geralmente estão ligadas por canais de comunicação aos quais está associado um determinado peso.

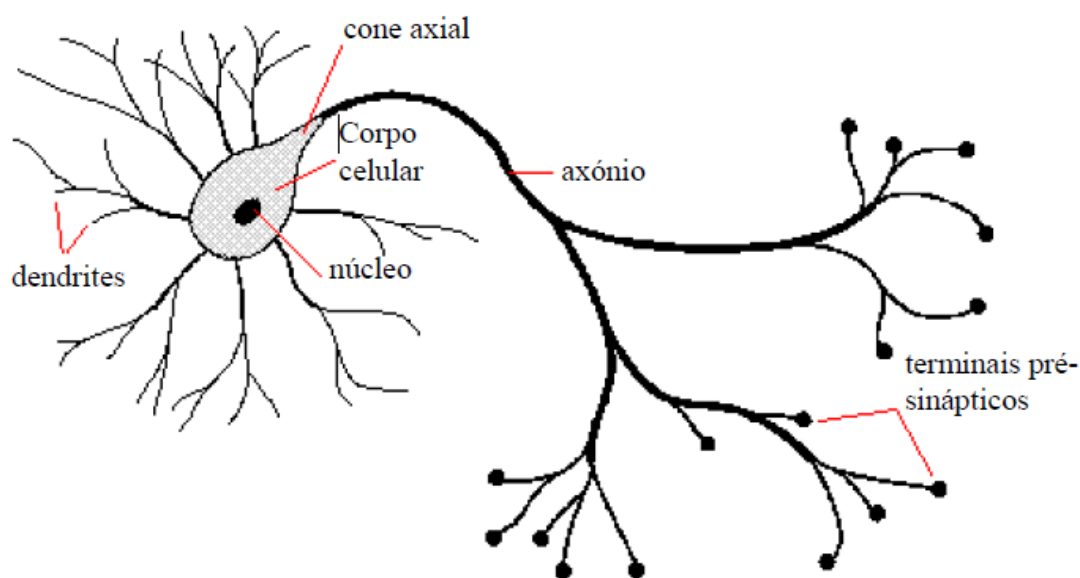


Figura 4.12 - Esquema de um neurónio biológico [43]

As redes neuronais são modelos de aprendizagem, adaptativos e geralmente não lineares. A ideia do "neurónio" como unidade de computação inspira-se na biologia dos neurónios do sistema nervoso, nomeadamente humano, cuja representação esquemática se encontra na Figura 4.12.

Os sinais eletroquímicos captados pelas dendrites, cada um com a sua intensidade própria, adicionam-se no corpo celular e, se a resultante ultrapassar um certo limiar, criam uma onda solitária de despolarização elétrica que tem início no cone axial e avança pelo axónio, até atingir os terminais pré-sinápticos onde, por intermediação química, ativará dendrites de outros neurónios.

Nas redes neuronais artificiais também se têm "neurónios" com entradas e uma saída e um processamento interno não linear que transforma aquelas nesta. É habitual, por uma questão de sistematização, organizar estes neurónios em camadas, com ligações unidireccionais sempre num sentido progressivo, da entrada para a saída da rede. As ligações entre neurónios estão associadas a pesos w , para que um sinal emitido por um neurónio seja multiplicado pelo peso da ligação antes de dar entrada num neurónio seguinte, ver Figura 4.13.

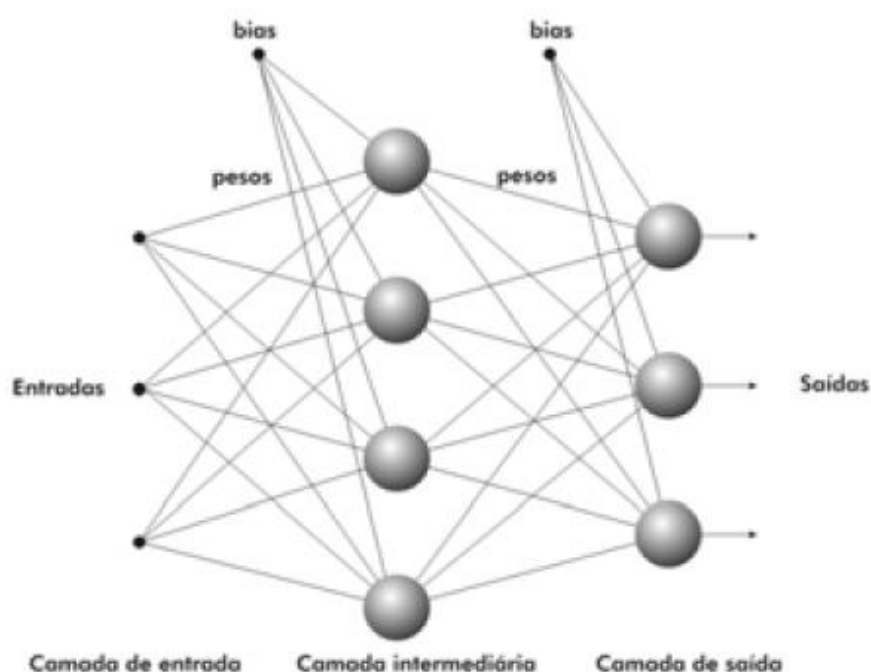


Figura 4.13 - Rede Neuronal (*Feedforward*) [43]

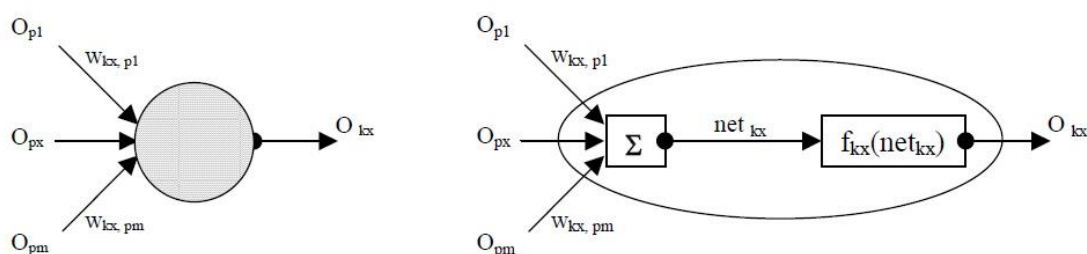


Figura 4.14 - Operações executadas num nó genérico, designado como de ordem x na camada k , recebendo sinais da camada anterior p , depois de afetados pelos pesos w das ligações [43]

Um neurónio índice x da camada k recebe sinais Opz dos neurónios da camada anterior p e efetua as seguintes transformações (ver Figura 4.14), antes de produzir um sinal de saída Okx que, por sua vez, irá ativar neurónios na camada seguinte:

A função f é chamada "função de ativação" do neurónio. As funções mais correntemente adotadas são a linear ou em rampa, em degrau e a sigmoide e suas variantes, ver Figura 4.15.

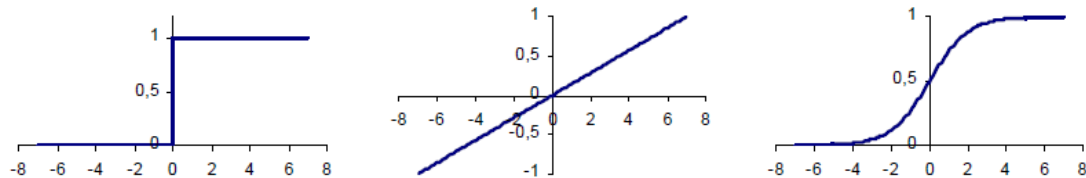


Figura 4.15 - Funções de ativação em degrau, em rampa e sigmoide [43]

No âmbito deste trabalho, foi usada a função sigmoide.

As redes neuronais podem ser classificadas como unidireccionais (*feedforward* - Figura 4.13) ou recorrentes (*feedback* - Figura 4.16). O tipo mais utilizado, o *feedforward*, funciona de uma forma progressiva sem informação adicional acerca dos processos a jusante, ou seja, sem realimentação. As redes com realimentação (*feedback*) têm conexões entre neurónios no sentido contrário.

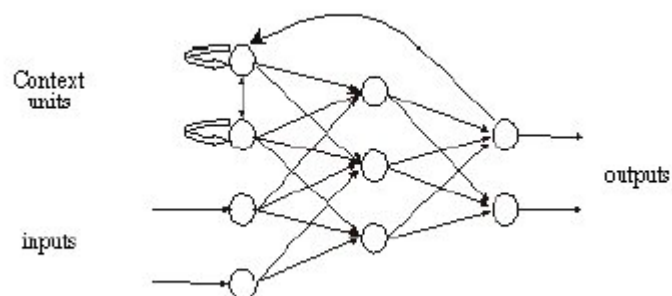


Figura 4.16 - Rede neuronal (*Feedback*) [43]

A rede neuronal usada é do tipo *feedforward*. A escolha desta tipologia de rede foi baseada na análise do estado da arte, recorrendo a artigos científicos publicados recentemente pela Elsevier B.V. Em vários artigos foram estudados os dois tipos de rede neuronal, e segundos as conclusões dos seus autores, "It was shown that this approach dominates time series approach. In addition, another unique feature of this study is utilization of ANN instead of time series to obtain better predictions for energy consumption", "The results showed that ANN is superior to conventional time series" [42].

O treino da rede foi efetuado recorrendo ao algoritmo “Levenberg-Marquardt backpropagation”, em português retropropagação. O treino da rede neuronal foi efetuado com o objetivo de minimizar o erro quadrático entre o sinal produzido pela rede e o sinal-alvo pretendido, por correção progressiva dos valores dos pesos w da rede.

A rede aprende um conjunto predefinido de pares de exemplos de entrada/saída em ciclos de propagação/adaptação. Para um padrão de entrada o estímulo é propagado até à saída. O padrão de saída é então comparado com a saída desejada e um sinal de erro é calculado para cada elemento de saída. O sinal de erro é retropropagado ao longo das várias camadas. Cada elemento das camadas interiores recebe apenas uma porção do sinal de erro total, proporcional apenas à contribuição relativa de cada elemento na formação da saída original. Finalmente, e baseado no sinal de erro recebido, os pesos das conexões são então atualizados para cada neurónio.

Cada conjunto de treino é habitualmente designado como uma época. Terminada uma época, pode-se testar o desempenho da rede no conjunto de validação, medindo o erro médio quadrático em CVL. Se não estiver atingido um resultado satisfatório, avança-se para nova época de treino. A evolução dos erros ETR no conjunto de treino e EVL no conjunto de validação pode apresentar-se num gráfico conjunto de variação com o tempo (épocas), ver Figura 4.17.

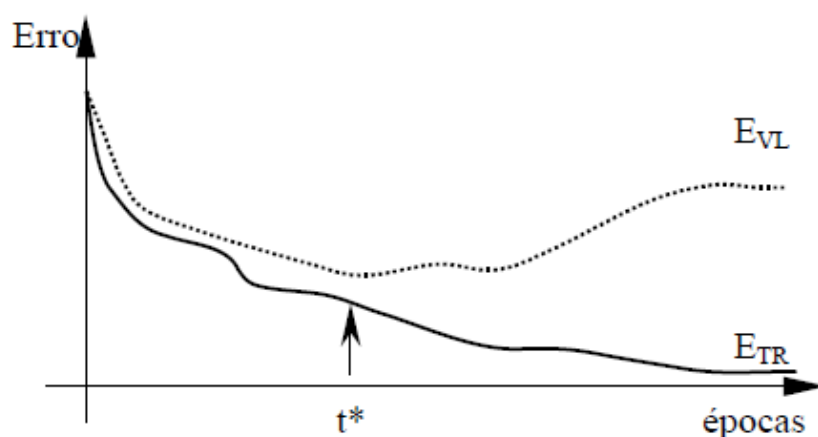


Figura 4.17 - Sobre-treino: a partir de dada época de treino t^* , o erro ETR no conjunto de treino decresce mas o erro EVL no conjunto de validação cresce, revelando que a rede se sobre adapta ao conjunto de treino mas perde capacidade de generalização [43]

Se o número de parâmetros livres da rede for excessivo, é habitual incorrer-se no perigo de sobre adaptação. Nas redes neuronais, o número de parâmetros cresce com o número de ligações, ou seja, com o número de neurónios das camadas escondidas. Um procedimento simples para controlar a qualidade da rede obtida é testar várias, com arquiteturas distintas e um diferente número de neurónios.

Quando o erro no conjunto de validação cresce consistentemente nas épocas finais do processo e se afasta do erro de treino, a rede tem parâmetros livres a mais (pode dizer-se que está flexível em excesso) e é recomendado experimentar uma nova rede de menor dimensão. Todavia, se a rede for excessivamente pequena, não disporá de graus de liberdade suficientes para se adaptar e então ambos os erros, de treino e de validação, serão excessivos. Uma rede adequada, portanto, exibirá erros de treino e validação semelhantes e pequenos, no final do processo de treino [43].

Durante o tempo disponível para a realização desta dissertação, foram recolhidos dados de monitorizações de várias agências bancárias. Foi efetuada a recolha das variáveis possíveis que possam ter influência neste consumo. O objetivo é perceber quais destas variáveis afetam com maior peso este consumo, de forma a podermos incluir as mais importantes na forma de input numa rede neuronal. Caso seja possível obter uma rede neuronal com uma boa performance, é possível prever com um relativo grau de certeza qual o consumo de AVAC que uma instalação irá sofrer.

4.9. Desenvolvimento de uma ferramenta para fornecer o potencial de poupança energética

Com o intuito de agregar todas as temas estudados e investigados nesta dissertação, foi elaborada uma metodologia para criar uma ferramenta capaz de incorporar todas as análises e cálculos efetuados nos capítulos deste trabalho. Devido à complexidade da futura ferramenta e ao tempo disponível para realizar este trabalho não foi possível desenvolver uma ferramenta sólida e passível de ser utilizada por qualquer pessoa e em qualquer negócio deste ramo. Para isso, é sugerido neste capítulo uma base e uma metodologia a aplicar futuramente numa ferramenta a desenvolver pelo autor desta dissertação.

O objetivo da futura ferramenta será introduzir as variáveis independentes que afetam o consumo de uma dada instalação, podendo ser variáveis construtivas, variáveis operacionais e variáveis climatéricas. Após a introdução destas variáveis deverá ser apresentado um valor de consumo ótimo tendo em conta as características introduzidas, mas não só. Com base no valor ótimo será efetuada a comparação com os valores das faturas energéticas ou valores de monitorização da instalação em causa. Esta diferença, se positiva, irá oferecer, desde logo, uma perspetiva geral da instalação, indicando o potencial de redução, assim como as variáveis que mais afetam este consumo. Com esta análise variável a variável será possível retribuir ao utilizador quais os campos de atuação mais críticos, como por exemplo, a envolvente do edifício, iluminação ou AVAC, fazendo uma análise percentual de quais as atuações que, para um dado caso, representarão maiores poupanças.

Com a obtenção do valor de poupanças, poderá ser possível fazer uma estimativa do valor do investimento a realizar para melhorar a eficiência energética. Por último, e já com os dados de investimento e poupança será desenhado automaticamente um contrato de desempenho energético, com vários cenários, tal como descrito anteriormente neste trabalho.

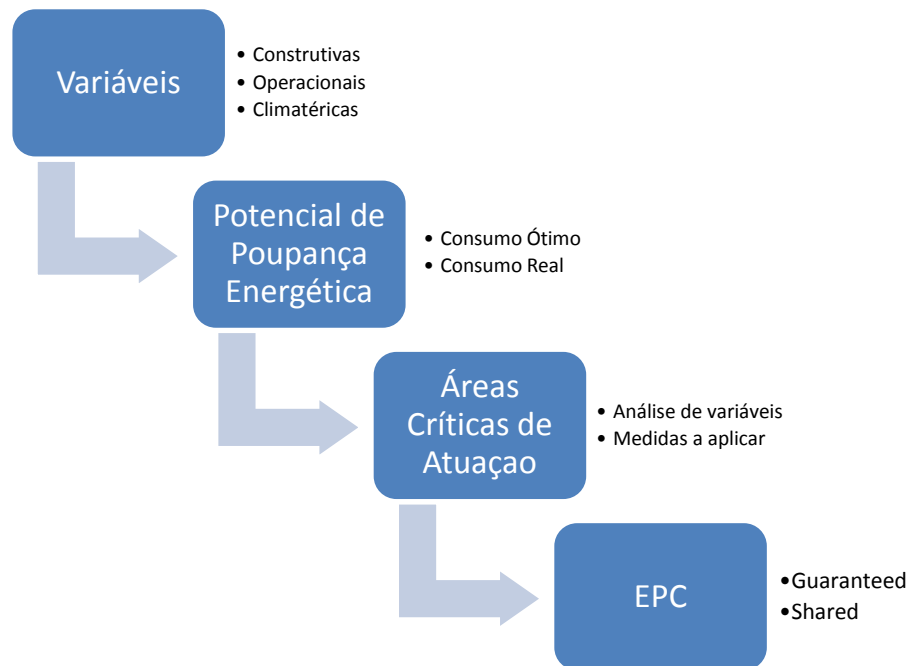


Figura 4.18 - Processos chave da ferramenta em desenvolvimento.

A ferramenta desenvolvida tem como base a rede neuronal acima descrita. Esta rede tem como objetivo retornar o consumo ótimo que uma Agência bancária deve apresentar segundo um determinado conjunto de *inputs*, que neste caso serão as seguintes variáveis:

- Área útil;
- Temperatura média;
- Humidade relativa do ar;
- Graus dia;
- Amplitude térmica;
- Temperatura externa do projeto.

A rede neuronal foi treinada com os dados de consumo obtidos através do método 4. Para testar o método previsional através de redes neuronais as amostras foram divididas em dois grupos. A percentagem de 70% foi usada para treinar, validar e testar a rede neuronal. Os restantes 30% foram usados para simular a rede e para verificar o erro das previsões.

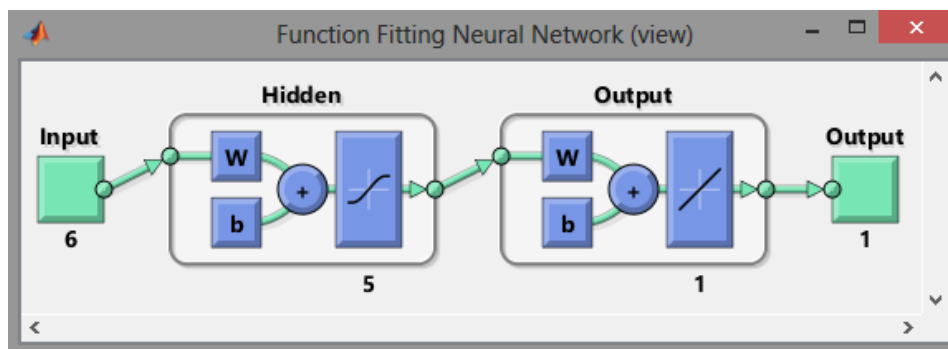


Figura 4.19 - Arquitetura da Rede Neuronal usada

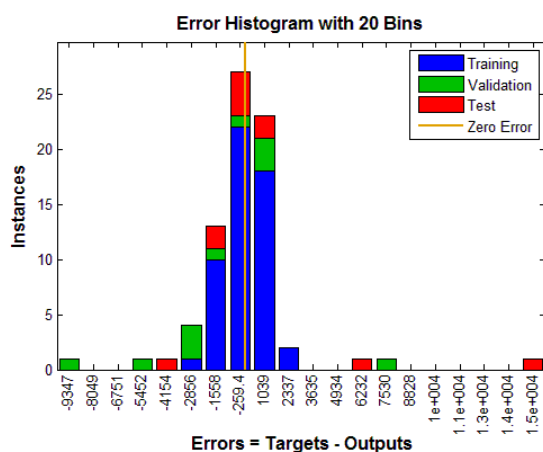


Figura 4.21 - Distribuição do erro médio quadrático

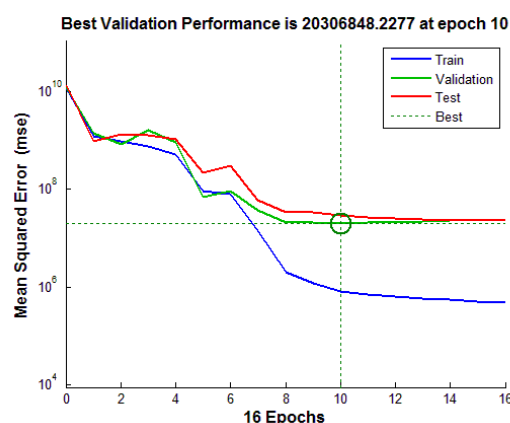


Figura 4.20 - Conjunto de iterações de treino

Na Figura 4.19 é possível observar a arquitetura de rede usada, que incorpora 5 camadas escondidas. Para esta escolha foram efetuados vários testes até obtermos um número de camadas escondidas satisfatório. No caso do erro médio quadrático, os resultados não foram os mais satisfatórios, uma vez que o ideal seria a sua distribuição apresentar a forma de uma distribuição normal, como se pode ver na Figura 4.21.

Na Figura 4.20 é possível ver a evolução do erro nos 16 conjuntos de treino, sendo a época 10 a que apresentou um erro mínimo.

Como se pode ver na Figura 4.22 foi obtido um grau de satisfatório para o coeficiente de correlação R. O valor 0,99584 significa que 99,58% das variações no consumo conseguem ser explicadas pelas variáveis em análise.

Para validar os resultados foram introduzidos os dados das variáveis de entrada acima discriminada, de 32 agências não usadas no treino a rede neuronal.

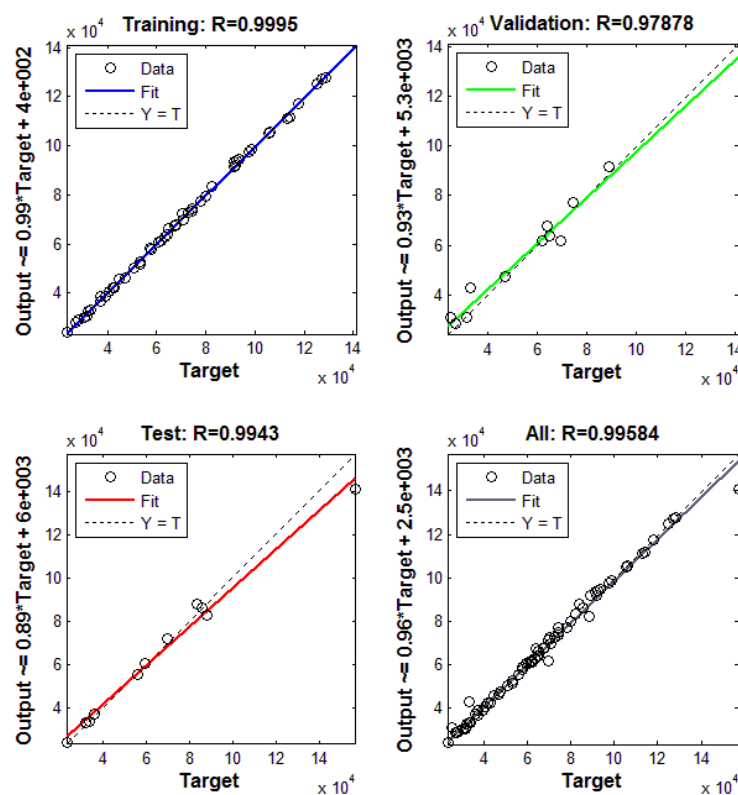


Figura 4.22 - Coeficiente R nas várias fases de criação da Rede Neuronal

Os resultados da simulação podem ser consultados no Anexo II. De salientar que o erro entre o consumo calculado através do RCCTE e os dados obtidos pela rede neuronal foi apenas de 4,71%, como se pode ver na Figura 4.23 e o número de agências com potencial de redução identificadas foram 19 comparativamente com as 18 identificadas pelo método de cálculo analítico, o que representa a razoável fiabilidade do método. Este método pode ser melhorado, porque a rede neuronal tem a capacidade de ir aprendendo ao longo do tempo com a introdução de novos dados, produzindo assim resultados ainda mais precisos.

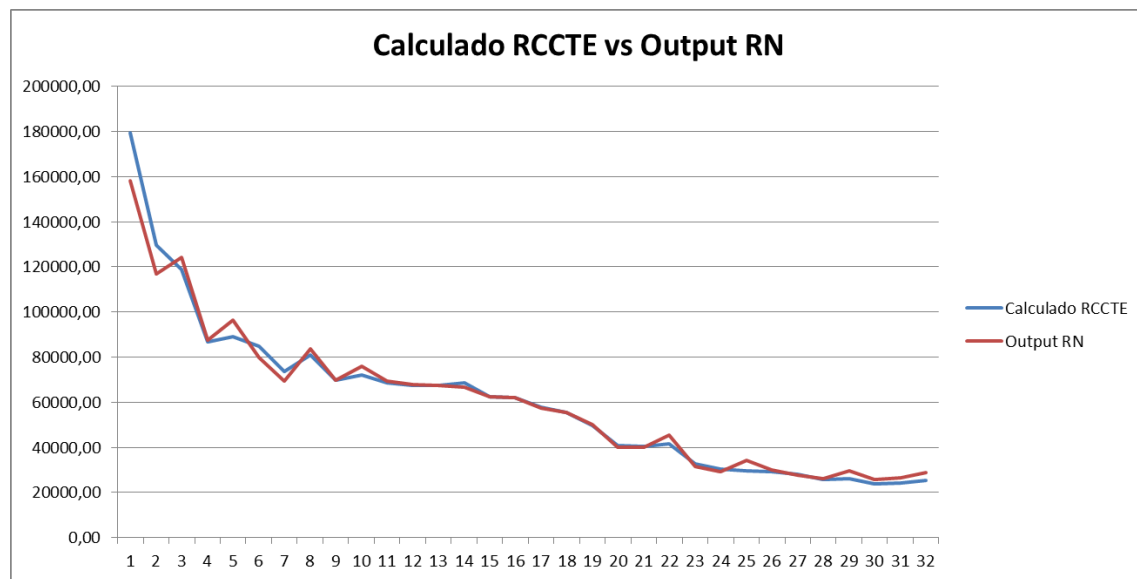


Figura 4.23 - Comparação entre consumo calculado através do RCCTE e Rede Neuronal

Foi construída uma segunda rede neuronal para prever o consumo segundo as variáveis de conforto térmico, de uma agência situada em Lisboa, com os seguintes *inputs*:

- Temperatura máxima;
- Temperatura média;
- Ponto de orvalho;
- Humidade Relativa;
- Pressão;
- Vento;
- Rajadas.

Com dados de monitorizações realizadas desde Novembro de 2012 até Maio de 2013 foi possível treinar a rede neuronal para prever qual o consumo ótimo para um conjunto de dados de *input*. Cada ponto da rede neuronal corresponde ao consumo total diário de AVAC. De seguida, para testar a rede neuronal foram usados valores de consumo diário de AVAC monitorizados entre 3 e 14 de Junho.

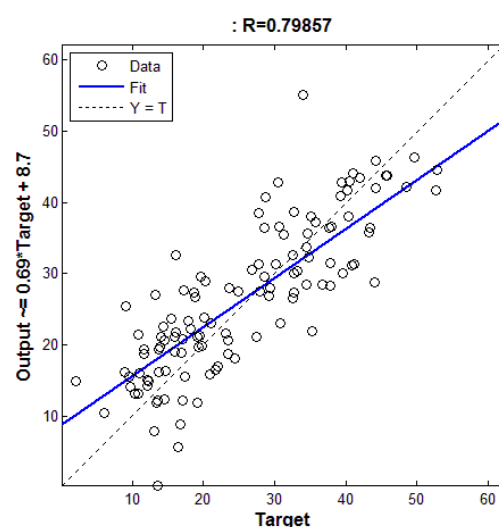
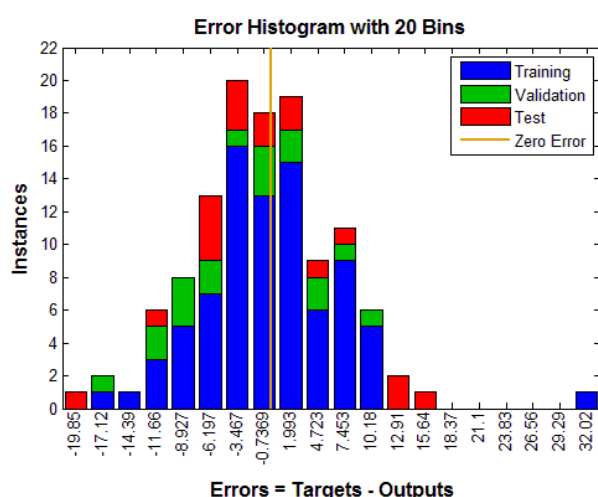


Figura 4.24 - Erro médio quadrático, RN agência Lisboa Figura 4.25 - Coeficiente R, RN agência Lisboa

Introduzindo os *inputs* apresentados da Tabela 9, com as mesmas características dos que foram usados no treino da rede neuronal foi possível prever o consumo que o sistema de climatização iria apresentar. Com a importação dos dados adquiridos através do sistema instalado para efetuar a monitorização foi possível efetuar a comparação entre os consumos reais e consumos previstos pela rede neuronal.

Tabela 9 - Inputs introduzidos no teste da rede neuronal.

Dia semana	Temp. Máx	Temp. Média	Pt. Orvalho	Humidade	Pressão	Vento	Rajada
2 ^a	32	25	9	38	1015	10	39
3 ^a	30	23	9	41	1013	4	32
4 ^a	27	19	12	62	1015	6	33
5 ^a	21	16	10	68	1018	7	43
6 ^a	20	16	11	75	1019	8	46
2 ^a	20	16	11	69	1021	3	23
3 ^a	23	18	14	79	1022	4	23
4 ^a	25	19	13	72	1022	6	32
5 ^a	23	19	13	70	1020	8	42
6 ^a	24	18	8	57	1019	9	43

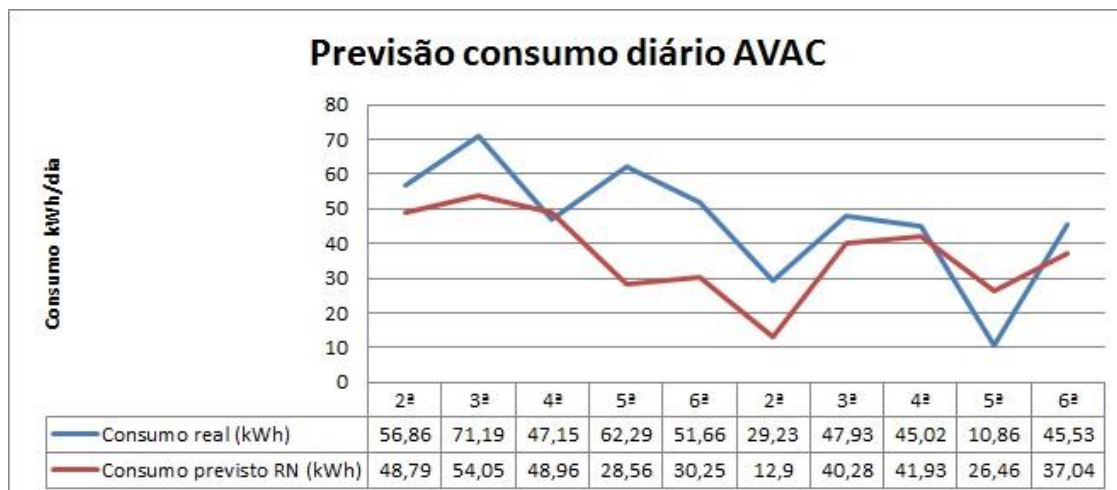


Figura 4.26 - Comparação entre consumos reais e previstos pela rede neuronal.

Como se pode ver na figura 4.26, alguns dias apresentam consumo anormal tendo em conta as condições climáticas verificadas nesses dias, o que representa uma potencialidade da ferramenta, dando um alerta ao utilizador para verificar a razão de tais consumos terem ocorrido. Uma razão possível para o sucedido é o facto de o sistema AVAC ser controlado manualmente. Caso este sistema fosse regulado automaticamente em função destas variáveis, adaptar-se-ia melhor as variáveis climáticas, sendo notório o potencial de poupança que seria alcançado.

Foram efetuadas tentativas de agregar as variáveis de diferentes agências de Lisboa com a agência situada em Santa Cruz, com o intuito de aumentar o tamanho da amostra para assim treinar melhor a rede, mas devido aos diferentes equipamentos, diferentes tipos de utilizador e diferenças na região climática, não foi possível treinar a rede neuronal de forma adequada, como é possível ver na figura 4.27.

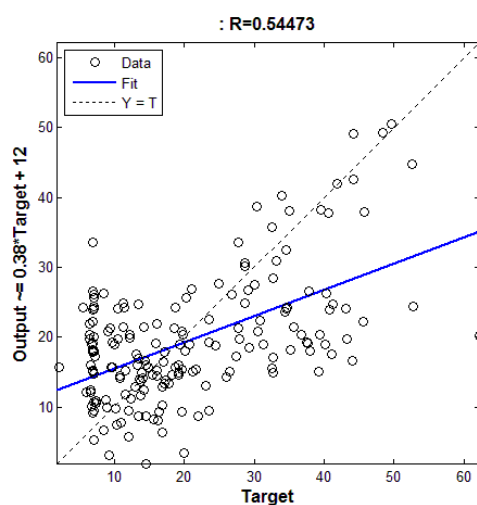


Figura 4.27- Coeficiente R, RN Total Agências

Após simular o perfil de consumo para se obter valores de potenciais poupanças, é necessário introduzir estes valores na ferramenta de análise financeira para produzir dados que podem servir de base a um contrato de desempenho energético. A ferramenta desenvolvida não define apenas contratos do tipo *Guaranteed Savings* e *Shared Savings*. Esta ferramenta permite a que o promotor do contrato seja criativo na hora de definir quem é responsável pelo risco financeiro. Este risco pode ser definido através de uma percentagem definida pelo utilizador. O valor monetário das poupanças obtidas através das medidas de racionalização energética pode ser repartido entre as partes. Esta percentagem pode ser igualmente definida pelo utilizador.

Com a obtenção do valor das poupanças previsto em kWh, é necessário definir os parâmetros financeiros descritos no Capítulo 3, necessários ao contrato de desempenho energético, para mais tarde introduzir na folha de cálculo ou na interface da ferramenta. Após a introdução dos dados financeiros serão automaticamente produzidos vários tipos de contratos pré-definidos pelo programa, existindo ainda a possibilidade de personalizar os parâmetros do contrato de acordo com cada situação.

No capítulo 5, irão ser apresentados exemplos que permitem avaliar o desempenho desta ferramenta financeira.

No futuro, além dos *inputs* em cima descritos, está prevista a inclusão de outras variáveis, algumas já abordadas neste trabalho, para que o método se aproxime mais da realidade:

- Ocupantes;
- N° de Pisos;
- Horas funcionamento;
- Características da envolvente (paredes, telhado, chão, janelas);
- Ganhos internos (iluminação, pessoas, equipamentos);
- Especificação dos equipamentos (tecnologia, set-points, tipo de lâmpadas, horários).

Para além desta ferramenta proporcionar dados sobre o potencial de redução numa instalação, devido à natureza das variáveis construtivas, poderá servir também como aconselhamento na escolha de futuras instalações de empresas em expansão ou de novas empresas a iniciar a sua atividade. Isto é, por exemplo, no caso de empresas que façam uso de edifícios de serviços, fornecendo dados sobre o número de colaboradores, tipo de equipamentos, perfis de consumo e horários de trabalho, em vez de futuramente estes clientes solicitarem o serviço das ESCO nas suas instalações por estas apresentarem baixa performance energética, pode vir a ser a ESCO a aconselhar qual o edifício mais aconselhável ao seu tipo de atividade, de forma a minimizar esta necessidade.

4.10. Equipamentos usados para monitorização

De forma a sustentar o plano de racionalização de energia elétrica e o estudo das variáveis independentes que influenciam o consumo de energia elétrica, foi instalado nas agências o sistema *Rulergy™*. Este sistema disponibiliza ao utilizador vários recursos úteis para uma melhor perceção do estado real da instalação. Permite uma monitorização contínua dos consumos, custos e temperaturas no interior da instalação, criando relatórios personalizados à medida de cada utilizador, assim como notificações caso se verifiquem alterações no estado normal de funcionamento da instalação. Além disto, é possível controlar equipamentos e definir horários de funcionamento para os mesmos. Todas estas aplicações são possíveis de acompanhar *online* e em tempo real a partir do portal do sistema.

O sistema de aquisição e transmissão de dados foi colocado ao lado do quadro geral da agência, como se pode ver na Figura 4.28.



Figura 4.28 - Quadro do sistema *Rulergy™*

Na Figura 4.29 vemos o aspeto geral do Portal onde é possível consultar os consumos de energia, assim como controlar alguns dos equipamentos.



Figura 4.29 - Aspeto geral do Portal de Monitorização Remota

Além do sistema supracitado foi usada uma pinça amperimétrica da marca Fluke 345 e um analisador de energia Fluke 434, ver Figuras 4.31 e 4.30, respectivamente. O Fluke 345 é um equipamento que combina a função de pinça amperimétrica com analisar de potência ideal para análises pontuais. O Fluke 434 é uma ferramenta trifásica completa para a detecção de avarias, que mede praticamente todos os parâmetros de sistemas de energia: tensão, corrente, frequência, potência, consumo de energia, desequilíbrio, oscilações e harmônicos. Capta eventos como, efeitos transitórios, interrupções e alterações rápidas de tensão. Este equipamento é mais aconselhável para monitorizações mais alargadas no tempo, quando é necessário traçar perfis de consumo diários ou semanais.



Figura 4.31 - Fluke 345 [50].



Figura 4.30 - Fluke 434 [50].



Figura 4.32 - Exemplo de aplicação do Fluke 434.

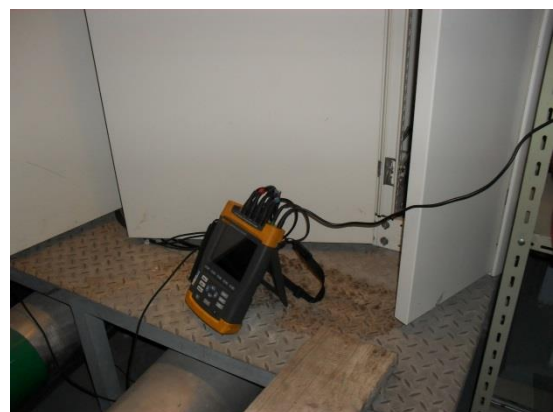


Figura 4.33 - Exemplo de montagem do fluke 434 (2).

Capítulo 5

Casos de Estudo

Durante o período disponível para a realização desta dissertação foram realizados vários casos de estudo com o intuito de cobrir os vários objetivos propostos. Para responder ao primeiro objetivo proposto, produzir contratos de desempenho energético em diferentes instalações, foram realizados 2 casos de estudo. O primeiro numa agência bancária, o segundo num edifício de serviços.

Para responder ao objetivo de estudar as variáveis que influenciam o consumo energético de uma instalação, foram analisadas agências de uma instituição bancária, porque só neste caso foi possível a aquisição dos dados de forma mais pormenorizada dessas variáveis.

5.1. Caso de estudo - Edifício de Serviços

Este caso de estudo teve como base um relatório de planeamento estratégico já elaborado pela empresa recetora do estágio. Em que as medidas de melhoria da eficiência energética a implementar já estavam identificadas, assim como vários cenários de poupança.

5.1.1. Descrição do Edifício

O edifício em questão data de 1992, tendo sido, então, uma referência a nível de automação e domótica. Abrange uma área de 6231 m² distribuídos por 11 pisos, 8 andares e 3 caves. O edifício é ocupado por 203 colaboradores, sendo que a ocupação média é de 25 colaboradores por piso.

5.1.2. Desagregação consumos

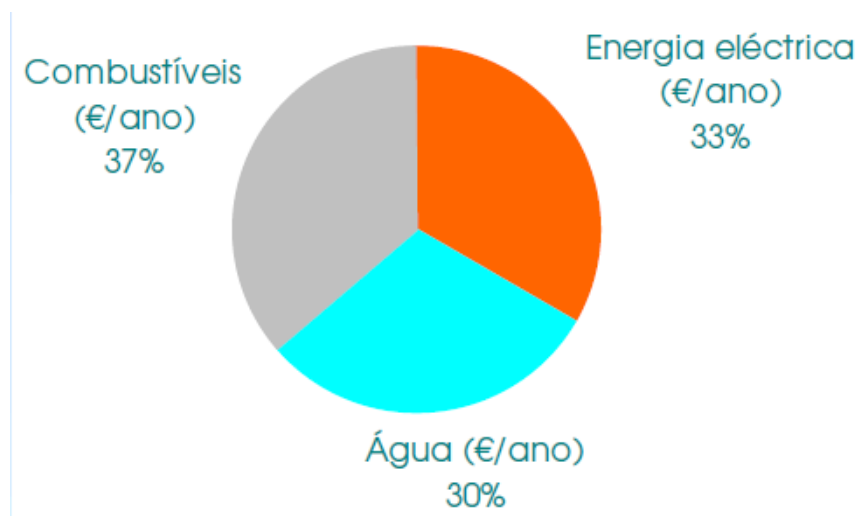


Figura 5.1 - Desagregação dos custos pelas várias áreas de consumo

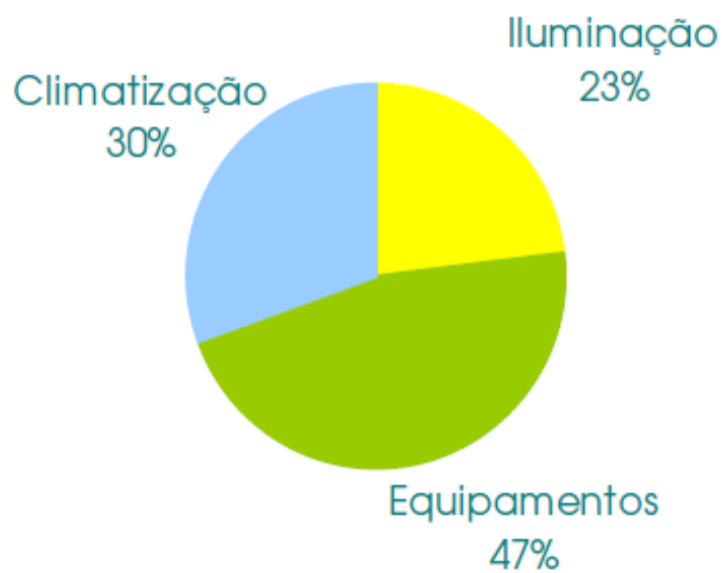


Figura 5.2 - Desagregação de consumos de energia eléctrica

5.1.3. Medidas de Racionalização Energética

Medidas a implementar para a energia elétrica são:

- ✓ A troca dos focos exteriores para iodetos metálicos de 70W. Os focos existentes são de halogéneo, de 250W, e a instalação de sensores crepusculares - para garantir que os focos funcionem o tempo estritamente necessário;
- ✓ A troca dos focos de halogéneo para focos fluorescentes compactas de 13W - os focos propostos são esteticamente semelhantes aos existentes;
- ✓ Instalação de sensores de movimento nas caves e instalação de luminárias mais eficientes com lâmpadas T5 de 35W - as lâmpadas existentes consomem 58W;
- ✓ Substituição dos sensores de movimento nas casas de banho e instalação de sensores de presença nos compartimentos individuais;
- ✓ Substituição da iluminação de emergência existente por tecnologia LED - as lâmpadas existentes consomem 8W e as LED 1W;
- ✓ Instalação de sensores de presença nas escadas - a ocupação deste espaço é muito reduzida, desta forma é garantido o funcionamento da iluminação de cada andar apenas quando é detetada presença;
- ✓ Instalação de sensores de luminosidade e presença nas linhas de luminárias junto às fachadas Norte e Sul - o edifício em questão possui um potencial de iluminação natural considerável e que, atualmente, se encontra desaproveitado;
- ✓ Instalação de sensores de luminosidade e presença nos gabinetes individuais virados a oeste - estes gabinetes possuem um potencial de iluminação natural elevado e, desta forma, evita-se que a iluminação em alguns gabinetes nesta ala esteja ligada apenas o tempo necessário;
- ✓ Instalação de sensores de presença nos corredores do rés-do-chão e salas de reunião da sobreloja. São áreas com frequência de passagem e nível de ocupação relativamente reduzidos, desta forma, garante-se o funcionamento da iluminação o tempo estritamente necessário;
- ✓ Desligar equipamentos de escritório no período noturno e fim de semana.

São atualmente consumidos 20 251 litros por ano, o que corresponde a um custo de cerca de 13 000 Euros (período de análise compreendido entre Dezembro 2006 e Novembro de 2007).

É proposta a conversão da caldeira existente, para funcionamento a gás natural, através da mudança do queimador existente. Para maximizar a redução implícita à conversão da caldeira, é também sugerida a instalação de um recuperador/permutador de gases de combustão na caldeira. Este equipamento permite reduzir o consumo de combustível em cerca de 10%.

A proposta para reduzir o consumo de água consiste em converter os autoclismos existentes para dupla descarga, e instalar redutores de caudal nas torneiras.

5.1.4. Análise financeira

Apesar da ferramenta desenvolvida permitir definir livremente a partilha de risco entre cliente e a ESCO, assim como os pagamentos a fornecer à mesma, foi efetuada uma comparação entre os modelos de contratos mais presentes atualmente no setor com base nos dados de poupança deste caso de estudo.

Para esta análise foi considerado um preço do kWh/h de 0,10€ e uma taxa de crescimento do preço da energia elétrica de 3% por ano.

No modelo de contrato *Guaranteed Savings*, em que o cliente financia o seu próprio projeto e efetua pagamentos regulares à ESCO pelo serviço prestado, são apresentados os seguintes resultados:

Tabela 10 - *Guaranteed Savings*

Partilha de risco	%
Risco para cliente	100,00%
Risco para Empresa	0,00%
Percentagem de Poupança Remunerada	20,00%
Período contrato	6,00

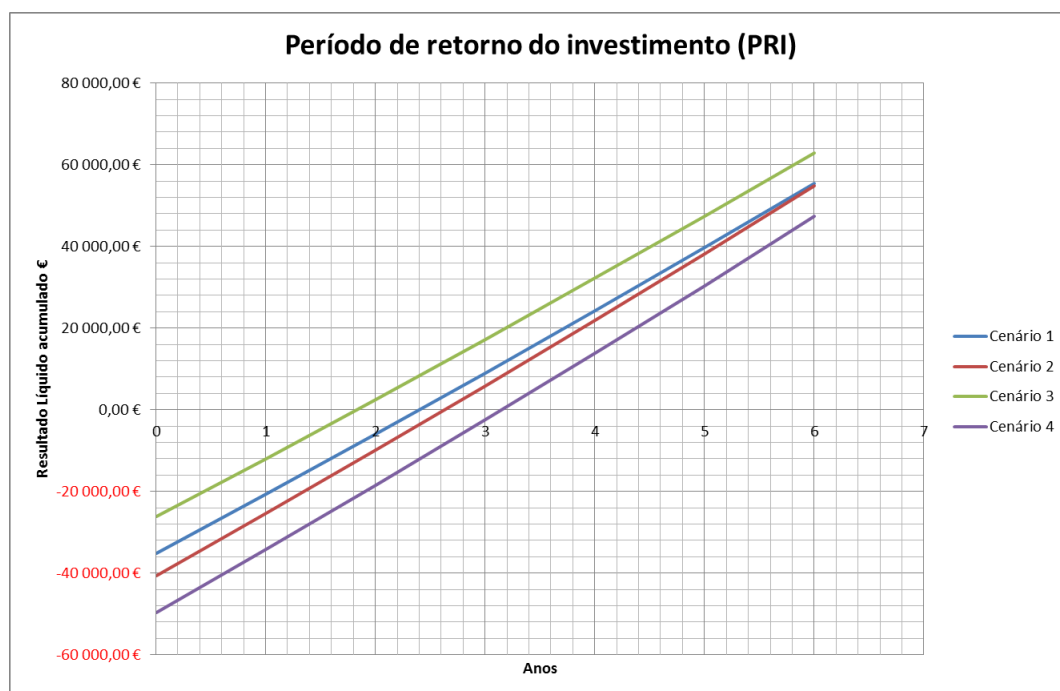


Figura 5.3 - Período de recuperação do investimento para cliente e resultado líquido acumulado (risco 100% cliente); contrato 6 anos; remuneração 20%.

Tabela 11 - Taxa interna de rentabilidade cliente, investimento e poupanças (€ e kwh/ano).

	TIR	Investimento (€)	Poupança (€)	Poupança (kwh/ano)
Cenário 1	35%	35237,26	18112,182	80832,92
Cenário 2	31%	40559,46	18981,708	89528,18
Cenário 3	51%	26184,46	18035,33853	77732,51
Cenário 4	23%	49612,26	19569,6358	92628,6

Para a escolha do melhor cenário, recorreremos à ajuda de representação gráfica, tal como nas figuras em baixo apresentadas. Este tipo de representação cartesiana permite formar, desde logo, uma ideia global sobre o conjunto das alternativas. Nas Figura 5.4, por exemplo, percebe-se que, à medida que o investimento aumenta, aumentam respetivamente, as poupanças monetárias.

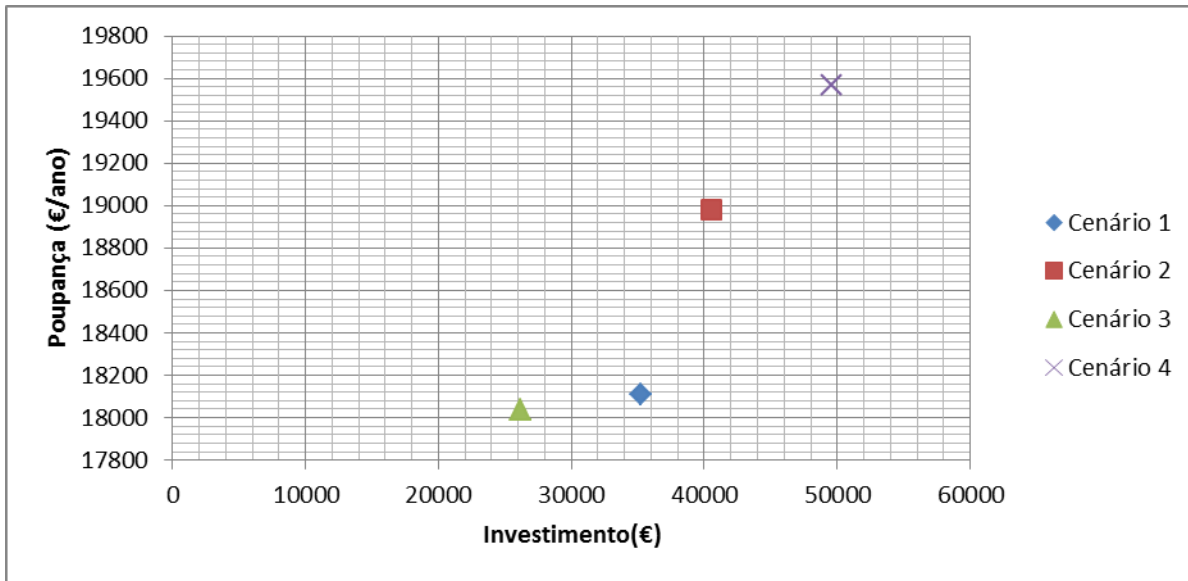


Figura 5.4 - Relação entre investimento e poupança anual (€).

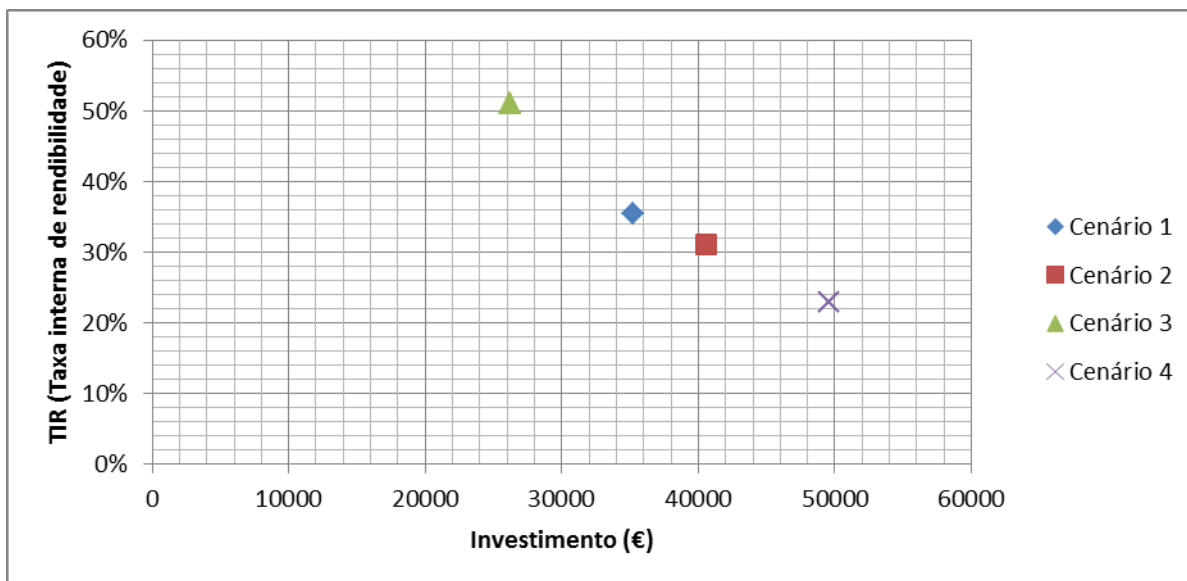


Figura 5.5 - Relação entre investimento e taxa interna de rentabilidade.

Analisando as duas representações gráficas, figuras 5.4 e 5.5, é possível concluir que, olhando para este investimento de uma perspectiva puramente financeira, o cenário 3, é mais favorável em relação aos restantes. Apresenta uma taxa de rentabilidade de 51% para um período de contrato com a duração de 6 anos. Se por outro lado, tivermos em consideração a componente ambiental, o cenário 4 é aquele que permite uma maior redução das emissões de gases de efeito estufa e de despesas com energia e água por ano.

Comparando os cenários 3 e 4, e apesar das poupanças anuais do Cenário 4 serem superiores ao Cenário 3, apenas ao final de aproximadamente 18 anos começaria a compensar investir no cenário 4. Comparando o cenário 3 com os restantes, cenários 1 e 2, apenas começam a ser mais vantajosos economicamente no final de 33 e 14 anos, respetivamente.

Para concluir a análise, é necessário aferir o que se ganha e perde quando se troca uma alternativa por outra. Por exemplo, comparando o cenário 3 com 4, seria necessário investir no cenário 3 mais 23.427,8€ inicialmente, para se obter a mesma poupança anual do cenário 4, ou seja, mais 1534,29€/ano, o que resulta em 15,3€ investidos inicialmente por cada euro de poupança anual.

Tabela 12 - Taxa interna de rendibilidade e resultado líquido acumulado ESCO - *Guaranteed Savings*

Cenários	Rendibilidade ESCO			
	1	2	3	4
TIR	17%	19%	17%	20%
VAL	8 823,58	9 867,01	8 451,53	10 239,06

No caso do cliente obter financiamento externo para implementar as medidas de racionalização energética, podemos ver na tabela 13 que, em cada ano, irá ter resultados líquidos positivos, isto é, o valor das poupanças alcançadas são suficientes para pagar o empréstimo bancário e os serviços da ESCO. Analisando o pior caso, ou seja, o cenário 3 onde são atingidas menos poupanças, verificam-se excedentes monetários razoáveis.

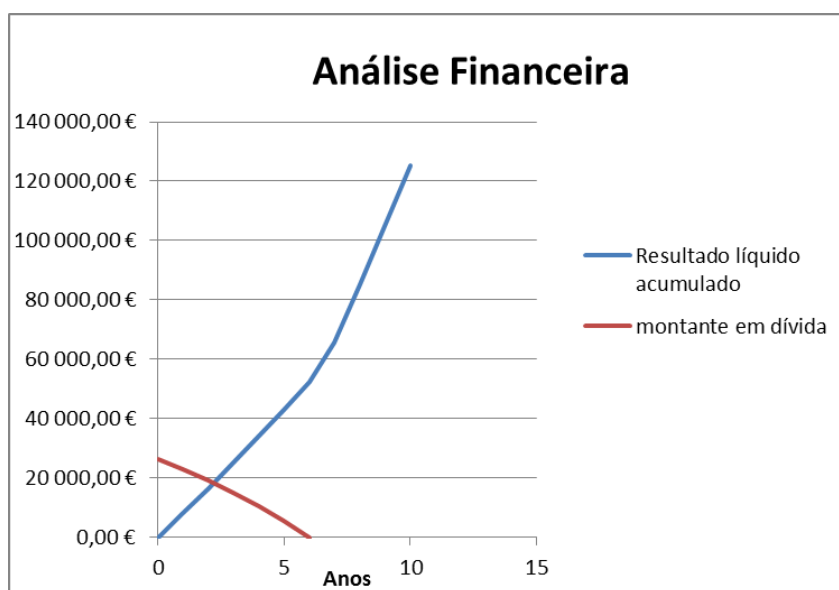


Figura 5.6 - Análise financeira EPC edifício de serviços

Esta solução mostra-se vantajosa, porque obtendo uma poupança anual inicial de 17 802,14 €, subtraindo a renda anual do empréstimo bancário a pagar e o custo do contrato com a empresa de serviços energéticos, ainda é possível alcançar um lucro anual inicial de 8 229,57 €. Ao final de 6 anos, após ser paga a última renda, o cliente dispõe de um resultado acumulado líquido de 53 018,47 €. Ao final de 10 anos, e já após o término do contrato com a ESCO, este projeto retribui ao cliente um resultado líquido acumulado de 131 965,07 €.

Tabela 13 - Balanço financeiro Cliente de ESCO - Edifício Serviços.

Ano	Montante em Dívida	Prestação anual	Juros	Amortização	Custo kWh	Poupança Eletricidade	Total Poupança energia anual	Custo pagamento ESE	Resultado liquido acumulado
0	26 184,46 €	-	-	-	-	-	-	-	-
1	22 790,76 €	6 012,15 €	2 618,45 €	3 393,70 €	0,10 €	7 773,25 €	17 802,14 €	3 560,43 €	8 229,57 €
2	19 057,69 €	6 012,15 €	2 279,08 €	3 733,07 €	0,10 €	8 006,45 €	18 035,34 €	3 560,43 €	16 692,33 €
3	14 951,32 €	6 012,15 €	1 905,77 €	4 106,38 €	0,11 €	8 246,64 €	18 275,53 €	3 560,43 €	25 395,29 €
4	10 434,30 €	6 012,15 €	1 495,13 €	4 517,01 €	0,11 €	8 494,04 €	18 522,93 €	3 560,43 €	34 345,65 €
5	5 465,59 €	6 012,15 €	1 043,43 €	4 968,72 €	0,11 €	8 748,86 €	18 777,75 €	3 560,43 €	43 550,83 €
6	0,00 €	6 012,15 €	546,56 €	5 465,59 €	0,12 €	9 011,33 €	19 040,22 €	3 560,43 €	53 018,47 €
7	-	-	-	-	0,12 €	9 281,67 €	19 310,56 €	-	72 329,03 €
8	-	-	-	-	0,12 €	9 560,12 €	19 589,01 €	-	91 918,04 €
9	-	-	-	-	0,13 €	9 846,92 €	19 875,81 €	-	111 793,85 €
10	-	-	-	-	0,13 €	10 142,33 €	20 171,22 €	-	131 965,07 €

No modelo *Shared Savings*, a ESCO assume tanto o desempenho do projeto como o risco financeiro, o que leva à retirada deste passivo do balanço financeiro do cliente. No entanto para o efeito da implementação das medidas não se fazer sentir, 20% das poupanças são entregues ao cliente devido a custos de manutenção e da própria disponibilidade de recursos humanos para interagirem na gestão do projeto. A ESCO financia-se para ser capaz de levar a cabo implementação do projeto, assumindo portanto todo o risco financeiro.

Tabela 14 - *Shared Savings*

Partilha de risco	%
Risco para cliente	0,00%
Risco para ESCO	100,00%
Percentagem de Poupança Remunerada	80,00%
Período do contrato	6,00

Neste caso como a ESCO assume todo o desempenho do projeto e o risco financeiro, é necessário avaliar a rentabilidade do mesmo, para avaliar se vale a pena o risco do projeto.

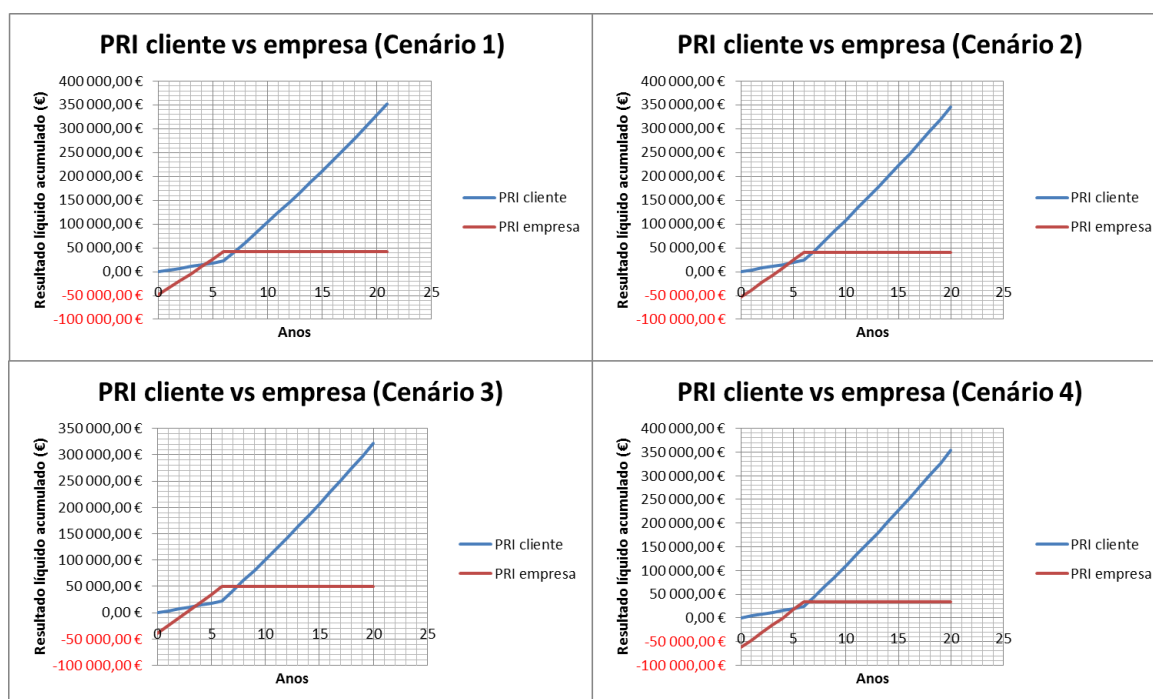


Figura 5.7- PRI, 0% cliente - 100% empresa - remuneração 80% - contrato 6 anos.

Tabela 15 - Taxa interna de rentabilidade e resultado líquido acumulado ESCO -*Shared Savings*

Cenários	Rendibilidade ESCO			
	1	2	3	4
TIR	21%	19%	29%	14%
VAL	41 819,21	40 996,57	49 267,63	33 548,15

Analisando as tabelas 12 e 15, que dizem respeito aos modelos de contrato, *Guaranteed* e *Shared Savings* respetivamente, podemos destacar logo a diferença nos resultados líquidos da empresa.

No modelo de contrato *Guaranteed Savings* o resultado líquido conseguido pela ESCO durante o contrato é inferior, no entanto obtém-se boa taxa de rentabilidade nos diversos cenários tendo em conta o baixo risco, o que permite o bom funcionamento do negócio. Como o cliente apenas paga o serviço à ESCO em função da performance e não da poupança monetária, os pagamentos podem ser fixos ou variáveis caso ultrapasse limites superiores ou inferior de performance, mas geralmente são fixos, pois o nível de poupança em energia não se altera se o perfil de consumo/equipamentos instalados não for modificado, o que faz com o cenário 4, que gera maior poupança seja naturalmente o que apresenta maior rentabilidade para a ESCO.

No modelo de contrato *Shared Savings*, como a ESCO assume o risco financeiro do montante aplicado no investimento, o resultado líquido do projeto irá ser em média 4 vezes superior durante o tempo de contrato. Neste caso as remunerações à ESCO já são em função das poupanças monetárias, o que ao longo do tempo gera mais lucro, isto se o preço da energia subir. O cenário 3 gera menos lucro para o cliente durante o tempo de contrato, mas como é necessário menos investimento vai ser mais rentável à ESCO.

Neste caso de estudo o uso da ferramenta desenvolvida não retornou bons resultados, o que já era de esperar, uma vez que, as características do edifício, nomeadamente o valor da área útil vai muito para além dos valores com que a rede neuronal foi treinada. O valor de área útil máximo que a rede recebeu durante o treino foi de 1 266 m², como este edifício apresenta uma área de 6 231 m² ultrapassa muito o espetro de treino da ferramenta.

5.2. Caso de estudo - Agência Bancária

Foi realizado um levantamento exaustivo de dados de 4 agências bancárias e foi feita a instalação da solução de monitorização que compreende a monitorização do consumo total de energia da agência assim como a de alguns dos diferentes circuitos de energia elétrica.

Tendo por base a informação recolhida e o histórico de monitorização disponível, será feita uma descrição detalhada de uma agência, identificando os principais pontos de atuação e quais os potenciais de poupança identificados. Foi realizado o mesmo procedimento para as restantes agências.

5.2.1. Descrição Agência X

Localizada na cidade de Lisboa, a Agência X tem as características descritas na Tabela 16.

Tabela 16 - Descrição Geral da Agência

Dados Gerais	
Agência:	X
Área:	139 m ²
Número de Pisos:	1
Dados de Funcionamento	
Horário de Funcionamento:	8:10 - 19:00
Número de Funcionários:	2
Dados de Consumo de Energia Elétrica	
Número de Ligações à Rede Elétrica:	1
Tarifa Contratada:	BTN-Simples 3,45 até 20,7 kVA
Potência Contratada:	20,7 kVA

5.2.2. Circuitos Monitorizados

Na Tabela 17, encontra-se a descrição dos circuitos elétricos alvos de monitorização. No caso da iluminação foram identificados os espaços no interior da agência a que corresponde cada circuito monitorizado.

Tabela 17 - Circuitos Monitorizados Agência X

<i>Descrição Circuitos monitorizados</i>
Geral Fase R
Geral Fase S
Geral Fase T
AC Fase R
AC Fase S
AC Fase T
Ventilador Extração
Ventilador Ar Novo
Bastidor
Publicidade
WC + Sala AVAC + Corredor + Reclame + Cofre
Back Office
Sala ATM + 4 focos
Front Office B + Lobby Entrada
Front Office A

Recorrendo à Figura 5.8 é possível perceber mais facilmente como está a ser feita a monitorização da iluminação.



Figura 5.8 - Planta da Agência X

5.2.3. Auditoria

De forma a fazer um estudo exaustivo dos consumos verificados na agência do Areeiro, foi feito um levantamento de toda a iluminação e equipamentos instalados. Foram também recolhidas informações gerais que possibilitam a perceção do funcionamento da agência.

Iluminação		
Tipo de Iluminação	Potência [W]	Quantidade
Emergência	8	1
Fluorescente Compacta com Balastro não Integrado	18	12
	36	32
	42	1
Fluorescente Tubular com Balastro Convencional - Tipo TLD	18	11
	36	15
Fluorescente Tubular com Balastro Eletrônico - Tipo T5	35	9
Reclame	455	1
Painel Publicitário Grande	115	1
Painel Publicitário Pequeno	58	1
Painel Publicitário Interior	45	1

Equipamentos			
Classe de Equipamentos	Tipo de Equipamentos	Potência [W]	Quantidade
Climatização	AVAC	6 498	1
	Ventilador	não disponível	1
Circuito de Vigilância	Câmara Dome	8	2
	Câmara Exterior	15	1
	Câmara Interior	5	3
	Equipamento de Gravação	90	1
	Equipamento Videoporteiro	35	1
	Monitor CCTV LCD	61	2
Equipamentos Gerais	Destruidor de Papel	470	1
	Aspirador	1 100	1
Equipamentos Bancários	Contador de Notas	60	1
	ATM	190	1
	Leitor de Cartões	1	2
	Leitor de Cheques	20	1
Equipamentos de Copa	Micro-ondas	700	1
	Frigorífico Pequeno	78	1
	Chaleira	1 500	1
Equipamentos Informáticos	Bastidor	371	1
	Monitor	154	5
	Desktop	275	4
	Impressora Olivetti	85	1
	Impressora Lexmark X364dn	440	1
	Impressora Lexmark E460dn	500	1
	Impressora Lexmark E460dw	500	1
	Portátil	90	1

5.2.4. Desagregação consumos

Para a avaliação dos consumos foi considerado o período de monitorização de 22 de abril a 12 de Maio de 2013 e o levantamento da informação feito em sede de auditoria.

No Figura 5.9 é possível perceber como se distribuíram os consumos ao longo do período de análise. Na categoria “Outros”, estão incluídos os equipamentos não monitorizados como exemplo computadores, monitores, impressoras, etc.

Distribuição dos Consumos

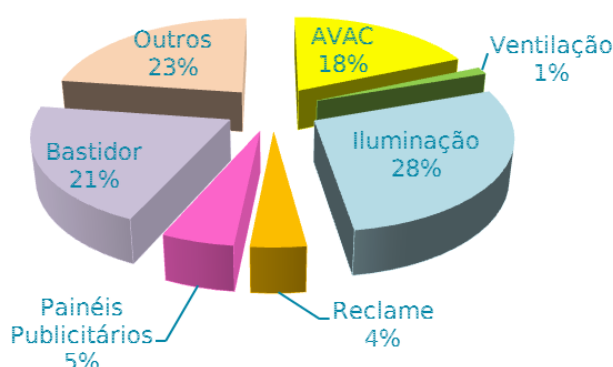


Figura 5.9 - Desagregação de consumos por tipo de equipamento.

Como é possível observar por este gráfico, a Iluminação tem o maior peso no consumo da agência durante o período de análise, por isso foi efetuada a sua desagregação para assim obtermos uma melhor análise que nos permita identificar medidas de racionalização energética.

A Figura 5.11 apresenta a distribuição de consumos por espaço e, como era de esperar a zona de acesso ao público é a zona de maior consumo. No entanto, é de notar que o espaço de *BackOffice*, não sendo ocupado em permanência apresenta um peso considerável na distribuição do consumo de energia afeto à iluminação.

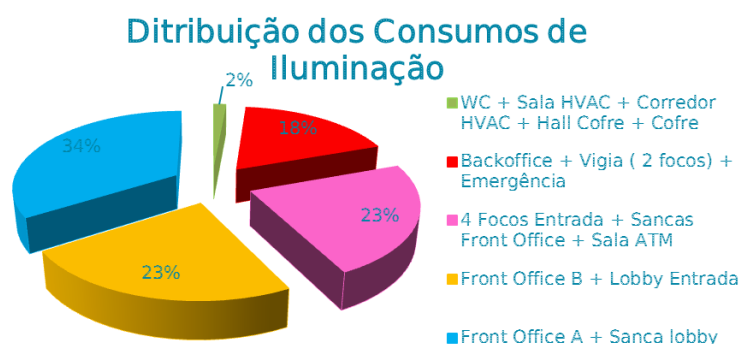


Figura 5.11 - Desagregação dos consumos da iluminação.

5.2.5. Resultados dos questionários de melhoria do conforto no ambiente de trabalho

A melhoria do conforto no contexto de otimização dos consumos energéticos requer o conhecimento das necessidades reais destes consumos. Uma boa gestão do consumo energético permite maximizar o nível de conforto na vida interna de um edifício com um nível aceitável dos consumos de energia a ele associado. No sentido de participar na melhoria da qualidade e conforto da vida no edifício em que trabalham, solicitamos que os colaboradores fornecessem a informação que o inquérito pretende, a estrutura completa do inquérito encontra-se no anexo III. Foi conseguida uma amostra de 3 agências, e um total de 10 colaboradores.

Serão aqui apresentados os resultados com mais relevância para uma potencial redução do consumo e/ou melhoria do conforto no ambiente de trabalho.

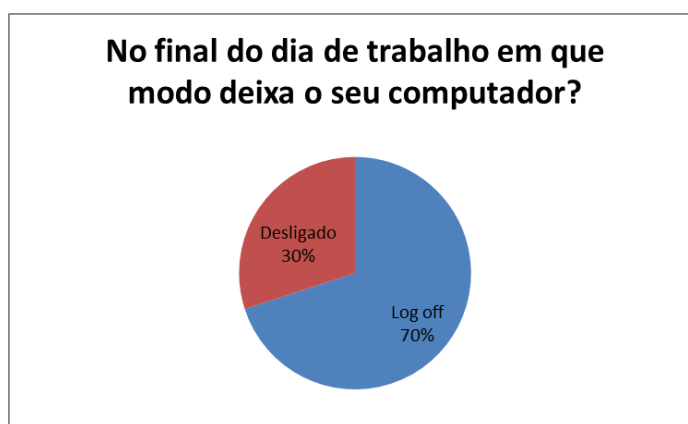


Figura 5.12- Questão 1



Figura 5.13 - Questão 2



Figura 5.14 - Questão 3

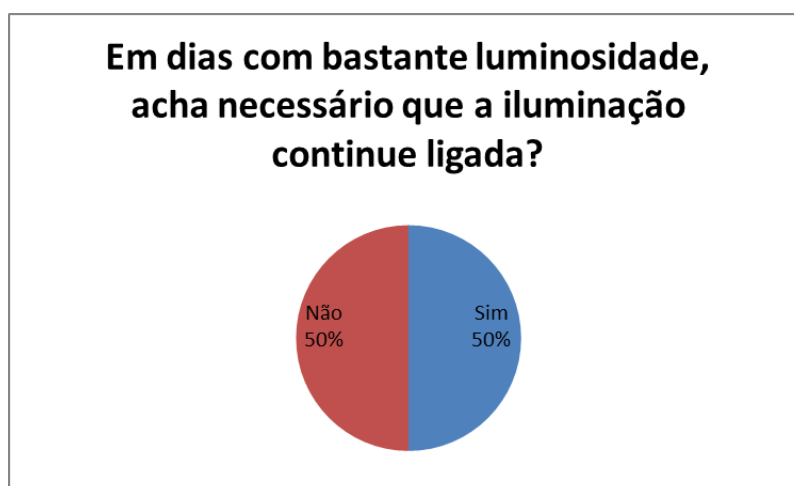


Figura 5.15 - Questão 4

Como já foi referido anteriormente, e confirmando-se pelos resultados da questão descrita na figura 5.14, as sensações são subjetivas, isto é, dependem das pessoas, portanto um ambiente confortável para uma pessoa pode ser frio ou quente para outra.

Estes resultados dizem respeito apenas a uma agência, sendo notória a falta de consenso e a dificuldade em avaliar este parâmetro.

5.2.6. Medidas de Racionalização Energética

Com base em toda a informação analisada é possível identificar os pontos passíveis de atuação, que levarão a uma redução de consumos e custos:

- ✓ Eliminação dos consumos do sistema AVAC fora do horário de funcionamento da agência;
- ✓ Alteração das luminárias no *Front Office*;
- ✓ Redução do tempo de funcionamento da iluminação do *Back Office*;
- ✓ Substituição dos balastros dos Painéis Publicitários;
- ✓ Redução dos consumos de equipamentos em *standby*;
- ✓ Redução da potência contratada;
- ✓ Separação dos circuitos de iluminação, iluminação junto a fontes de luz natural da restante.

Durante a auditoria foi possível fazer um levantamento luminotécnico da zona de atendimento ao público. Nesta análise foi possível constatar que os níveis de iluminância, para o tipo de espaço em causa, se encontravam abaixo dos limites estabelecidos pela Norma Europeia EN 12464-1. Esta norma recomenda que em postos de trabalho destinados a escrita, leitura, tratamento de dados e trabalho assistido por computador se verifiquem níveis médios de iluminância¹⁰ na ordem dos 500 lux. Na auditoria foram efetuadas medições onde se verificou níveis de iluminância na ordem dos 300 lux em vários postos de trabalho.

O guia 90.1-2004 da ASHRAE estabelece requisitos mínimos para um design energético eficiente em edifícios. A tabela de densidade de potência de iluminação do *space-by-space method* ilustra valores típicos de LPD (*lighting power density*) permitidos nos guias ASHRAE para cada tipologia [38]. De acordo com esta norma o LPD recomendado pela ASHRAE para edifícios do setor bancário é de 16,15 W/m².

De forma a colmatar esta falha e ao mesmo tempo promover uma redução de consumos, foi efetuada uma simulação no *software DIALux 4.11*, com intuito de verificar de modo mais preciso os valores de iluminância e estudar uma possível alternativa às luminárias atuais.

¹⁰ A iluminância (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área dessa superfície, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade é o “lux”, definido como a iluminância produzida por um fluxo de 1 lm, distribuído de modo uniforme sobre uma superfície de 1 m². A iluminância é uma unidade base da luminotecnia, à qual fazem referência todas as recomendações e tabelas relativas ao nível de iluminação.

Para tal, foram introduzidos os valores das áreas do espaço, assim como algum equipamento e mobiliário de escritório, de maneira a que os resultados obtidos através da simulação representem o mais fiável possível as condições reais, como se pode ver na Figura 5.16. Após várias simulações, foi possível chegar ao cenário apresentado na Figura 5.17. O resumo da simulação luminotécnica de ambos os cenários pode ser consultado no Anexo IV.

Ao modelizar os espaços utilizando o *Dialux* é necessário a inserção dos seguintes elementos:

- Planta do espaço;
- Pé direito do espaço;
- Índices de reflexão do teto, paredes e pavimento;
- Marca e modelo dos aparelhos de iluminação;
- Disposição dos aparelhos de iluminação no espaço.



Figura 5.16 - Cenário atual



Figura 5.17 - Cenário futuro

Propõe-se a substituição das 11 luminárias de duas lâmpadas fluorescentes compactas de 2x36W por 16 luminárias circulares de duas lâmpadas fluorescentes compactas de 2x13W.



Figura 5.19 - Imagem luminária atual 2x36W



Figura 5.18 - Imagem luminária futura 2x13 W

Segundo a descrição do fabricante, a luminária da Figura 5.19 é um equipamento de luz suave, indireta, mais indicado para proporcionar conforto visual para atividades de maior relaxamento. Por outro lado, a luminária da Figura 5.18 é uma *downlights* compacta de alta qualidade de materiais e *design* técnico avançado, onde são incorporados detalhes de inovação destinados a conseguir uma maior eficácia na instalação e uma maior eficiência lumínica, otimizando os tempos de montagem, os sistemas de troca de lâmpadas e acessórios, otimizando ao máximo as prestações luminotécnicas de cada ótica e fonte de luz, reduzindo ao máximo as perdas de luz na luminária.

Depois de efetuar uma simulação luminotécnica do espaço, verificou-se que com estas luminárias, será possível melhorar as condições de iluminação do espaço assim como diminuir a potência instalada por unidade de área. Passando a iluminância média de 344 para 418 lux, e a densidade de potência instalada de 20,67 W/m² para 10,85 W/m² assim como elevar os níveis de conforto visual do espaço para níveis mais próximos do que a norma recomenda, assim como obter um LDP dentro da norma da ASHRAE. Com isto é esperado atingir as poupanças descritas na Tabela 18.

Tabela 18 - Substituição das Luminárias do Front Office

	Situação Atual	Situação Futura	Poupança	Retorno investimento
Consumo de Energia Elétrica [kWh/ano]	1 789	940	849	3 anos e 4 meses
Custo de Energia Elétrica [€/ano]	310	163	147	

Além disto, outra alteração que permite melhorar a eficiência da agência é a separação dos circuitos de iluminação no *Front Office*, ou seja, tornar independente a iluminação dos postos de trabalho com mais ganhos de luz natural, separando-os daqueles que necessitam de mais luz artificial.

Outra medida de redução de custos estudada foi a redução da potência contratada.

Através dos dados monitorizados constatou-se que a potência contratada é superior aos requisitos de energia elétrica da agência. Neste momento está com uma potência contratada de 20,7 kVA, o que corresponde a 30 A por fase.

Para identificar o pior caso, ou seja, um dia do período de análise com o consumo mais elevado, foi selecionado o dia com maior consumo e efetuado neste dia o estudo das correntes de pico.

Na Figura 5.20 constata-se o desequilíbrio de fases, em que, o valor de pico da corrente requerida na fase mais sobrecarregada (Fase T) atingiu os 11,5 A.

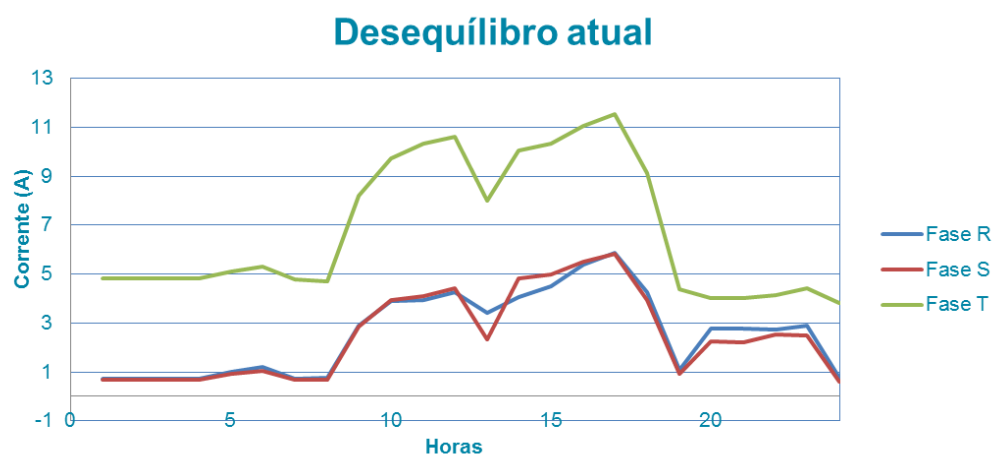


Figura 5.20 - Desequilíbrio entre fases atual

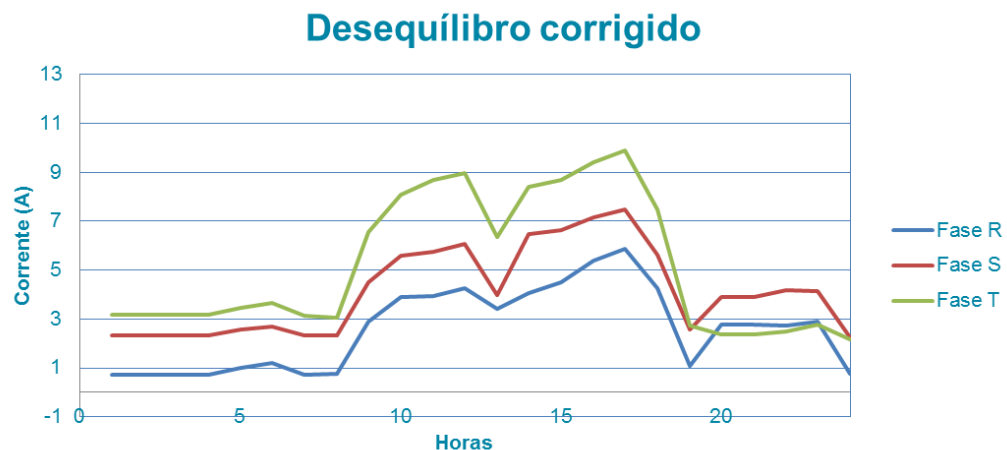


Figura 5.21 - Desequilíbrio entre fases corrigido

Com base na informação apresentada verifica-se a possibilidade de baixar esta potência contratada para os 13,8 kVA, ou seja 20 A por fase. Esta medida é possível ser concretizada depois de corrigir o desequilíbrio de fases registado nos consumos gerais da agência, nomeadamente alterar o circuito do Bastidor da Fase T para a Fase S, assim como efetuar um estudo mais aprofundado dos consumos de pico, isto porque podem existir correntes de pico que não possíveis de visualizar na aquisição de dados, devido à sua resolução máxima de 5m. Na Figura 5.21 observa-se a distribuição das correntes por fase após a alteração do circuito do Bastidor.

Após implementação das medidas em cima descritas, assim como das restantes identificadas, prevê-se uma redução total do consumo de energia de 19%.

Tabela 19- Balanço medidas agência X.

Total de Poupança	Situação Atual	Situação Futura	Poupança
Consumo de Energia Elétrica [kWh/ano]	21 275	17 241	4 033
Custo de Energia Elétrica [€/ano]	3 682	2 984	698

Para atingir os resultados apresentados é fundamental fazer um investimento de 625 euros. Para além destas poupanças, é ainda possível reduzir 120 euros nos custos associados à potência contratada, fazendo com que o tempo de retorno das medidas apresentadas seja de cerca de 10 meses.

O procedimento em cima descrito foi efetuado de igual modo para as restantes agências em análise. Assim, foi possível construir um contrato de desempenho energético englobando as 4 agências, uma vez que elaborar apenas um contrato para cada uma das agências não iria representar lucros para a empresa promotora dos contratos.

Tabela 20 - Balanço medidas 4 agências

Instalação	Consumo Atual (kWh/ano)	Consumo Futuro (kWh/ano)	Poupança (kWh/ano)	Investimento (€)	% Poupança	Consumo Previsto Ferramenta (kWh/ano)	% Poupança ferramenta
Agência X	21 275	17 241	4 033	625	19%	20 586	3,24%
Agência Y	19939	18552	1387	0	7%	22684	-13,77%
Agência Z	21005	18379	2626	381	13%	17014	19,00%
Agência K	-	-	8192	600	25%	-	-
Total Agências	-	-	16 238	1 606	-	-	-

Para testar a fiabilidade da ferramenta desenvolvida no capítulo anterior, foram introduzidas as características das agências necessárias ao uso da mesma:

- Área útil;
- Temperatura Média anual;
- Humidade relativa do ar;
- Amplitude térmica;
- Graus dia;
- Temperatura exterior do projeto.

A ferramenta indicou que a agência X apenas tinha 3,35% de potencial de poupança energética, o que fica aquém dos 19% identificados após auditoria e planeamento estratégico. Isto pode dever-se ao facto das MRE identificadas serem bastante específicas e não existirem *inputs* na ferramenta capazes de traduzirem o potencial de poupança das medidas identificadas. A agência Y apresentou menor potencial de poupança, porque situa-se na mesma cidade que a agência X, e tem maior área útil, o que faz com que a ferramenta retorne um consumo superior. A previsão da agência Z situada numa região diferente das agências X e Y apresenta um bom resultado face ao potencial identificado após a auditoria e o planeamento estratégico. Quanto à agência K apenas foram possíveis obter dados de poupança e investimento para assim serem usados na construção do EPC.

Perante o balanço das medidas apresentado na Tabela 20 foi possível construir o seguinte contrato de desempenho energético:

Tabela 21 - Dados financeiros para construção do EPC

Valor investimento	1 606,00 €
Taxa Anual Efetiva	10,00%
Períodos de Capitalização crédito	6
Períodos de Capitalização anual	1
Prestação anual	368,75 €
Taxa crescimento do preço do kwh	3,00%
Percentagem de Poupança Remunerada	40%

Tabela 22 - Balanço financeiro Cliente de ESCO - Agências Bancárias

Ano	Montante em Dívida	Prestação anual	Juros	Amortização	Poupança eletricidade (kwh/ano)	Custo kwh	Poupança Eletricidade	Custo pagamento ESE	Resultado líquido	Resultado liquido acumulado
0	1 606,00 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1 397,85 €	368,75 €	160,60 €	208,15 €	16238,00	0,17 €	2 809,17 €	1 123,67 €	1 316,75 €	1 316,75 €
2	1 168,89 €	368,75 €	139,79 €	228,96 €	16238,00	0,18 €	2 893,45 €	1 123,67 €	1 401,03 €	2 717,79 €
3	917,03 €	368,75 €	116,89 €	251,86 €	16238,00	0,18 €	2 980,25 €	1 123,67 €	1 487,83 €	4 205,62 €
4	639,98 €	368,75 €	91,70 €	277,05 €	16238,00	0,19 €	3 069,66 €	1 123,67 €	1 577,24 €	5 782,86 €
5	335,23 €	368,75 €	64,00 €	304,75 €	16238,00	0,19 €	3 161,75 €	1 123,67 €	1 669,33 €	7 452,19 €
6	0,00 €	368,75 €	33,52 €	335,23 €	16238,00	0,20 €	3 256,60 €	1 123,67 €	1 764,18 €	9 216,37 €
7	-	-	-	-	16238,00	0,21 €	3 354,30 €	-	3 354,30 €	12 570,68 €
8	-	-	-	-	16238,00	0,21 €	3 454,93 €	-	3 454,93 €	16 025,60 €
9	-	-	-	-	16238,00	0,22 €	3 558,58 €	-	3 558,58 €	19 584,18 €
10	-	-	-	-	16238,00	0,23 €	3 665,33 €	-	3 665,33 €	23 249,52 €

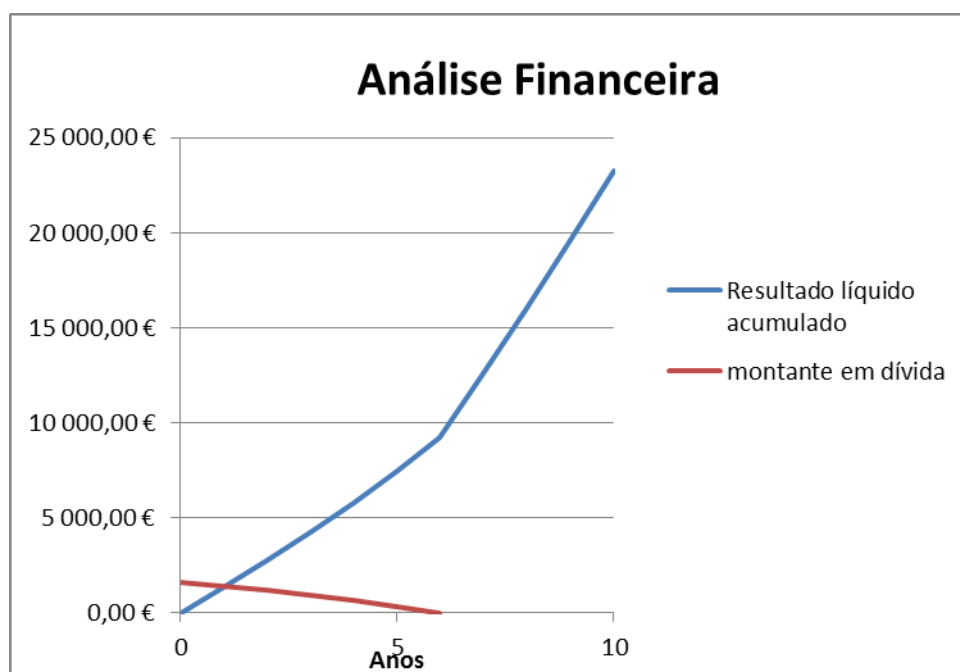


Figura 5.22 - Análise financeira EPC agências bancárias

Neste caso, o contrato de desempenho energético é inspirado no tipo de contratos *Guaranteed Savings*, em que o cliente se financia e ESCO garante as poupanças através das medidas implementadas. Como se constata na Tabela 22, o contrato com duração de 6 anos proporciona ao cliente um resultado líquido acumulado no final do contrato de 9 216,37 e para a empresa 2 238,34 € € com uma taxa de rendibilidade de 13%. De notar que o cliente apesar de fazer o investimento obteve ao longo líquido positivo em todos os anos, visto que o valor das poupanças foi suficiente para cobrir o valor do empréstimo do montante financiado. Após o período de contrato, o cliente deixa a obrigação de efetuar os pagamentos do serviço à ESCO podendo usufruir da totalidade das poupanças, o que faz com que aumento o rendimento líquido anual, como se pode verificar na figura 5.22.

No modelo *Shared Savings*, a ESCO assume tanto o desempenho do projeto como o risco financeiro, o que leva à retirada deste passivo do balanço financeiro do cliente. No entanto para o efeito da implementação das medidas não se fazer sentir no balanço financeiro do cliente, 20% das poupanças são entregues ao cliente devido a custos de manutenção e da própria disponibilidade de recursos humanos para interagirem na gestão do projeto. A ESCO financia-se ou aplica o seu capital para ser capaz de levar a cabo implementação do projeto, assumindo portanto todo o risco financeiro.

Tabela 23- Shared Savings

<i>Partilha de risco</i>	%
Risco para cliente	0,00%
Risco para ESCO	100,00%
Percentagem de Poupança Remunerada	80,00%
Período do contrato	6,00



Figura 5.23 - PRI, Risco 0% cliente - 100% empresa, remuneração 80% - contrato 6 anos.

Como se pode verificar na tabela 24, mais uma vez no modelo de contrato *Guaranteed Savings* o resultado líquido conseguido pela ESCO durante o contrato é inferior.

Analogamente, no modelo de contrato *Shared Savings*, em que a ESCO assume o risco financeiro do montante aplicado no investimento, o resultado líquido do projeto irá ser bastante mais apelativo durante o tempo de contrato, assim como a taxa de rendibilidade do negócio.

Tabela 24 - Rendibilidade e resultados líquidos ESCO

Modelo de contrato	Rendibilidade ESCO	
	<i>Guaranteed Savings</i>	<i>Shared Savings</i>
TIR	13%	31%
VAL	2 238,34 €	8 427,03 €

Neste caso de estudo, foi estudada a importância da primeira fase de negociação. É necessário analisar como variam os resultados finais do projeto, TIR e VAL, de acordo com a negociação do período de contrato e da percentagem de poupança remunerada.

Por exemplo, no modelo de contrato *Guaranteed Savings*, analisando a representação gráfica presente na Figura 5.24, desde logo nota-se que para remunerações inferiores 25% da poupança, o projeto não se traduz em resultados líquidos positivos para a ESCO.

Ao aumentar substancialmente a percentagem de remuneração de poupanças para a ESCO pode representar no final do contrato resultados bastante mais interessantes, em que, a TIR apresenta um crescimento quase proporcional à percentagem remunerada.

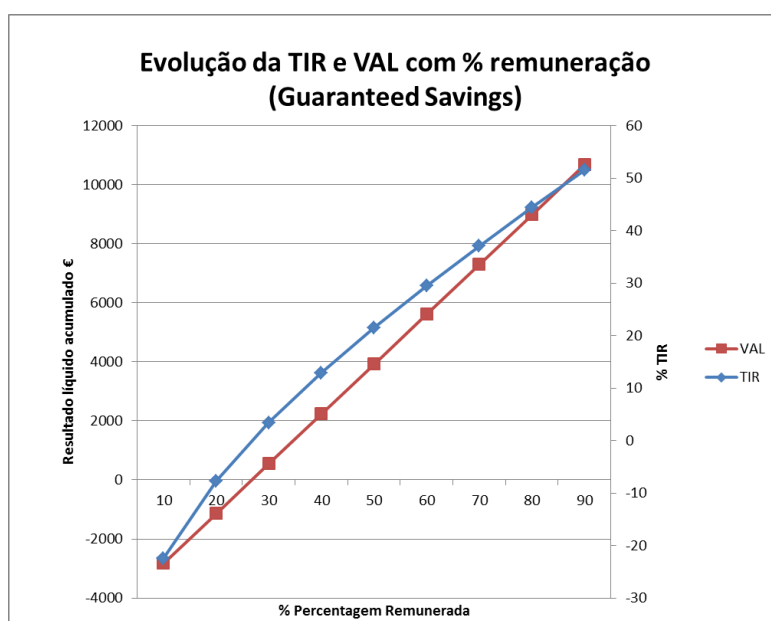


Figura 5.24 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o aumento da percentagem de poupanças remunerada à ESCO (*Guaranteed Savings*).

Por outro lado, mantendo as condições iniciais, 40% de poupança remunerada e apenas aumentando o tempo de contrato com a intenção de obter melhor resultado líquido e melhor taxa de rendibilidade já não se revela tão vantajoso, uma vez que o crescimento desta taxa tende a estabilizar ao longo do tempo, como se pode verificar na figura 5.25.

Para este modelo de contrato, é um bom indicador para o negociador focar mais os seus argumentos na percentagem de remuneração partilhada do que no aumento do período de contrato.

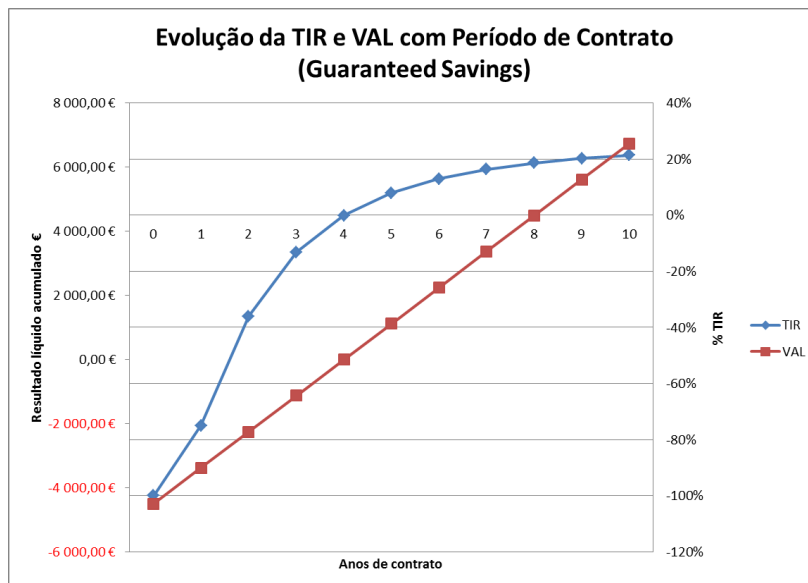


Figura 5.25 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o Período de Contrato (*Guaranteed Savings*).

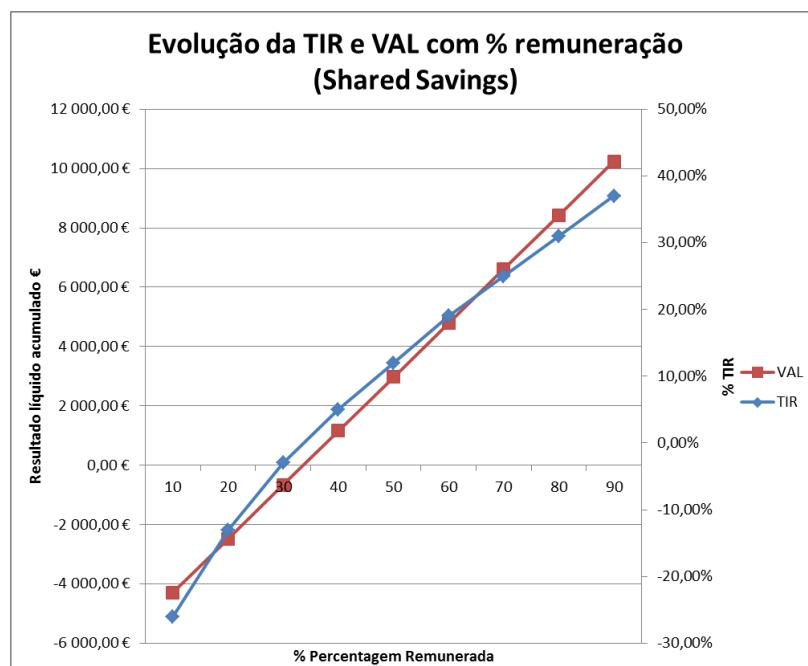


Figura 5.26 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o aumento da percentagem de poupanças remunerada à ESCO (*Shared Savings*).

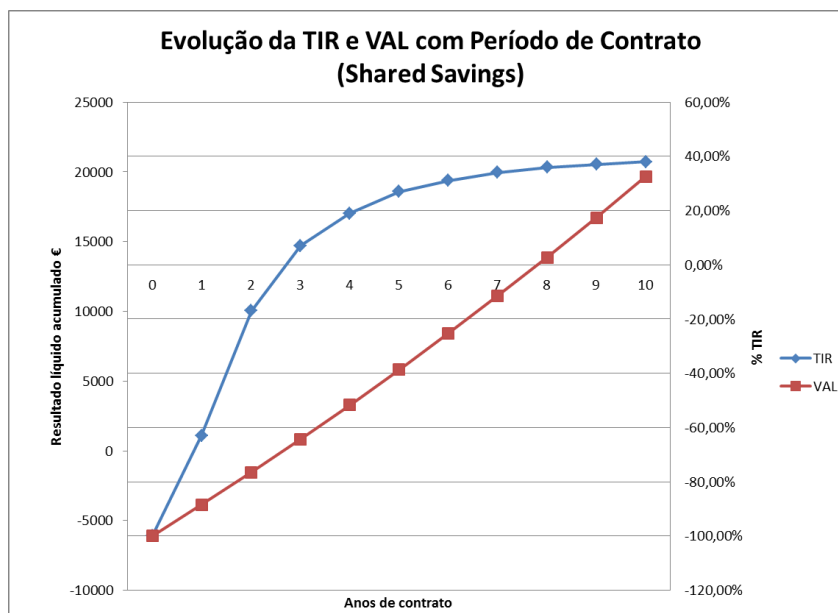


Figura 5.27 - Evolução dos indicadores TIR e VAL com o Período de Contrato (*Shared Savings*).

Realizando a mesma análise, mas para o caso do modelo *Shared Savings*, podemos ver na Figura 5.26, que as negociações da percentagem remunerada terão de iniciar na percentagem de 35% de poupança remunerada, uma vez que para valores inferiores a este, o projeto não se torna rentável para a ESCO.

Tal como aconteceu no modelo *Guaranteed Saving*, novamente a TIR cresce proporcionalmente com o aumento da percentagem de poupança remunerada, no entanto a diferença para o modelo anterior está no momento em que se prolonga o período do contrato. Na figura 5.27 conclui-se que, quando se alarga o período de contrato, em ambos os modelos o aumento da taxa de rentabilidade tende a estabilizar ao longo do tempo, mas no caso do modelo *Shared Savings*, o resultado líquido aumentou de forma significativa, ao contrário do que aconteceu no modelo *Guaranteed Savings*. Como neste modelo já não existe muita margem para aumentar a percentagem de remuneração, porque usualmente já apresenta valores elevados (80%), a alternativa para o contrato apresentar ainda melhores resultados líquidos é negociar o período de contrato, neste caso superior a 6 anos.

Capítulo 6

Conclusão

O tema desta dissertação foca-se numa área de engenharia que tem concentrado muita atividade de investigação e desenvolvimento pela importância que a eficiência energética está a tomar na sociedade atual. Sendo uma dissertação realizada em ambiente empresarial, foi necessário, tirando proveito da experiência da empresa na sua área de atividade, objetivar com precisão o tema da dissertação de modo a não se sobrepor quer com *know-how* já adquirido e validado pela empresa, quer com trabalhos de dissertação publicados pela FEUP e, deste modo inserir melhor o trabalho no estado da arte nesta área.

O propósito do trabalho realizado parte da atual situação dos clientes das ESCO, na sua maioria PMEs. Situação esta de baixa liquidez financeira, o que se afigura como oportunidade para a promoção da redução de custos operacionais relacionados com despesas energéticas, de forma contínua e não pontual, assim como, de mudança de consciência que os investimentos em medidas de racionalização energética apenas trazem custos e não proveitos. Para isto, contratam os serviços das ESCO, que, recorrendo a contratos de desempenho energético, conseguem produzir resultados líquidos positivos para o cliente após o investimento em melhorias na eficiência. A maioria das ESCO também são PME's, e a falta de liquidez também se faz sentir, especialmente se tiverem envolvidas em múltiplos projetos, o que cria excessivo endividamento.

Desta forma, para transportar o conceito de eficiência não só para os clientes mas também para as próprias ESCO, foi criada uma metodologia para o início do desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao negócio capaz de ajudar a desenvolver e validar os contratos de desempenho energético, na medida em que permitirá poupar tempo e custos de recursos humanos à ESCO, e por outro lado, auxiliar a análise de potencial de redução energética em cada instalação. Esta ferramenta poderá trazer mais-valias a este setor e, desta forma, aumentar e estimular o mercado ESCO em Portugal.

A ferramenta tem como base modelos de data mining e algoritmos matemáticos baseados em inteligência artificial que vão produzindo resultados cada vez mais fiáveis à medida que a ferramenta vai sendo desenvolvida e novos dados alimentam tanto a rede neuronal, como o processo de *benchmarking*. Este processo permite a produção de indicadores, através da comparação de edifícios com as mesmas características operacionais. Estes indicadores revelam o desempenho energético atual de uma dada instalação, servindo de base para o cálculo do potencial de poupanças que poderá a ser alcançado no futuro. Realizando este processo apenas com a relação entre os consumos e a sua área útil, revelou-se impreciso, na medida em que este método não prevê as mudanças das condições climáticas de região para região no nosso país. Os métodos que desagregam o consumo geral do consumo do sistema de climatização não se aproximaram, na sua maioria, dos casos reais, mas geraram resultados que refletem melhor as diferenças entre as zonas climáticas presentes em Portugal, e assim aproximam-se mais da realidade.

Para perceber quais as variáveis que têm maior peso na fatura energética, foi efetuado um estudo a nível nacional que permitiu concluir que a variável com maior peso no consumo é a área útil do edifício, seguida da severidade do clima, isto é, a amplitude térmica sentida no verão que aumenta as necessidades de arrefecimento e os graus-dia anuais, que aumentam as necessidades de aquecimento na estação de inverno. Para um estudo mais local, foram usadas 50 agências, 25 em Lisboa e 25 no Porto, em que foi possível complementar o método anterior concluindo que o número de colaboradores e o número de pisos do edifício influenciam de forma significativa os valores de consumo energético.

Analisando as variáveis climáticas como, temperatura, humidade, ponto de orvalho, vento, foi possível perceber a influência que estas apresentam no consumo de AVAC. A temperatura, e humidade relativa do ar influenciam a sensação de conforto térmico no local de trabalho, sendo que em edifícios com uma envolvente exterior bastante exposta ao vento, foi notória a influência desta variável no seu equilíbrio térmico. Introduzindo estas variáveis na ferramenta desenvolvida, foi possível treinar uma rede neuronal para fornecer previsões do consumo de AVAC e retornar o valor apropriado de acordo com o histórico registado até ao momento. Este valor retornado pela rede neuronal pode ser usado para detetar falhas no equipamento, não só falhas técnicas, como falhas operacionais, na medida em que pode fornecer alertas ao utilizador que está a consumir mais do que são as necessidades de climatização num determinado dia. O método foi validado com um caso real, em que depois de inseridas as variáveis climáticas, foi comparado o consumo real com o consumo previsto e foram notórias as potencialidades da ferramenta caso seja feita a interligação dos resultados com o controlo automático do sistema de climatização.

O alcance do equilíbrio térmico não pode ser visto como um problema de uma só solução, uma vez que a perceção de conforto varia de pessoa para pessoa, como foi possível

comprovar através das respostas aos questionários distribuídos pelos colaboradores das agências bancárias. Para perceber melhor este tema é necessário olhar para um edifício como um sistema dinâmico, onde existem ganhos e perdas térmicas através de vários fatores e fenómenos físicos. No entanto, como este tema se distancia da área científica do curso em que esta dissertação foi efetuada, não foi possível uma abordagem mais cirúrgica a este nível.

Como o objetivo final da ferramenta é converter o potencial de poupança energética em ganhos monetários tanto para os clientes como para as ESCOs, foram estudados os dois tipos de contratos mais convencionais neste setor de negócio.

No modelo de contrato *Guaranteed Savings* o resultado líquido conseguido pela ESCO durante o contrato é inferior, tendo-se obtido, no entanto, boas taxas de rendibilidade tendo em conta o baixo risco, o que permite o bom funcionamento do negócio. Como o cliente apenas paga o serviço à ESCO em função da performance e não da poupança monetária, os pagamentos podem ser fixos ou variáveis caso ultrapassem os limites superiores ou inferiores de performance. Porém, geralmente são fixos porque o nível de poupança em energia não se altera se não se alterar o perfil de consumo/equipamentos instalados, o que faz com que projetos que gerem elevadas poupanças sejam aqueles que apresentam maior rendibilidade para a ESCO. A melhor forma de aumentar os resultados líquidos da ESCO neste modelo é negociar o aumento da percentagem de remuneração.

No modelo de contrato *Shared Savings*, como a ESCO assume o risco financeiro do montante aplicado no investimento, o resultado líquido do projeto irá ser em média 4 vezes superior durante o tempo de contrato. Neste caso as remunerações à ESCO já são em função das poupanças monetárias, o que ao longo do tempo gera mais lucro, isto se o preço da energia subir. Os projetos que apresentam maior rentabilidade para as ESCO irão ser aqueles com melhor rácio entre poupanças/investimento, isto porque tanto o valor do investimento como os ganhos em eficiência vão estar a cargo da ESCO. É possível aumentar os resultados líquidos de forma significativa aumentando o período de contrato.

Como sugestão para futuros trabalhos, propõe-se uma análise mais detalhada dos aspetos construtivos dos edifícios, para cálculo das perdas e ganhos térmicos, através da envolvente do edifício, equipamentos e ocupantes, de modo a conseguir uma otimização mais precisa das suas necessidades térmicas. Importava, igualmente, aplicar esta metodologia ou similar, em instalações com as mesmas características, por forma a aumentar a base de dados e melhorar a precisão dos métodos usados. Em alternativa, pode ser aplicada esta metodologia em instalações de diferentes características das que foram alvo de estudo neste trabalho, no intuito de tornar este tipo de abordagem mais polivalente.

Referências

- [1] Orlando, Paraíba;, “Apresentação ENA - Seminário de Formação Avançada ISO 5001,” Outubro 2012.
- [2] Lehni, M., A Eco-eficiência, North Yorkshire, UK: WBCSD, 2001.
- [3] D. R. L. H. a. X. S. Jas Singh, Public Procurement of Energy Efficiency Services - Lessons from International Experience, Washington DC: The World Bank, 2010.
- [4] Parlamento Europeu e do Conselho, “Jornal Oficial das Comunidades Europeias.,” *Diretiva 2002/91/CE*, 16 Dezembro 2002.
- [5] “Decreto Lei nº 78/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº 67/2006 - I Série A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.”.
- [6] “ADENE (2012). SGCIE. Acedido em 13 de Dezembro de 2012, em: <http://www.adene.pt/pt-pt/subportais/sgcie/Paginas/Homepage.aspx>”.
- [7] “Decreto Lei nº 71/2008 de 15 de Abril. Diário da República nº 74/2008 - I Série. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.”.
- [8] “ECO.AP(2012). ADENE. Acedido em 15 de Dezembro de 2012, em <http://ecoap.adene.pt/>”.
- [9] EVO (2007). Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético. 1ª edição, Editora. San Francisco.
- [10] NP EN ISO 50001 (2012). Norma Portuguesa para Sistemas de gestão de energia. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.
- [11] Ecoinside® (2013). Acedido em 12 de Fevereiro de 2013, em: http://www.ecoinside.pt/ecoinside-conteudos.php?id_menu=4.
- [12] Pedro Vasconcelos. Modelo de negócio Ecoinside v1.3, Fevereiro 2013.
- [13] R. J. GUIMARÃES, APLICAÇÃO DO MODELO ENERGY SERVICE COMPANY (ESCO) EM RETROFITTING INDUSTRIAL NO CONTEXTO PORTUGUÊS, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

- [14] E. Union, "Official Journal of the European Union," *DIRECTIVE 2006/32/EC*, 5 Abril 2006.
- [15] NAESCO, site "<http://www.naesco.org/resources/esco.htm>", Acedido em 30/3/2013, Washington, DC.
- [16] E. Commission, <http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/european-energy-service-companies/energy-performance-contracting>, 2013.
- [17] e. -. E. A. o. E. S. Companies, <http://www.eu-esco.org/index.php?id=21>, 2013.
- [18] A. B. Christophe MILIN, *ENERGY RETROFITTING OF SOCIALHOUSING THROUGH ENERGY PERFORMANCE CONTRACTS*, IEE, 2011.
- [19] J. Shonder, "The Economics of Energy Savings," 2010.
- [20] C. G. a. J. M. Nicole Hopper, *Public and Institutional Markets for ESCO Services: Comparing Programs, Practices and Performance*, Berkeley, California: University of California Berkeley, 2005.
- [21] R. M. d. S. Azevedo, *Desenvolvimento de um Sistema de Ajuda à Negociação de Contratos de Performance para Medidas de Eficiência Energética*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [22] T. M. P. S. Brandão, *Serviços de Eficiência Energética em Edifícios Públicos*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [23] P. B. S. R. Angelica Marino, *Energy Service Companies Market in Europe - Status Report 2010 -*, European Commission, 2010.
- [24] M. C. GmbH, *Missing Client Confidence - A Barrier to Energy Services in Europe*, DG Joint Research Centre, Florence, April 2011.
- [25] "Portaria n.º 60/2013 de 5 de Fevereiro. Diário da República nº 25/2013 - II Série. Ministério das Finanças e da Economia e do Emprego. Lisboa."
- [26] M. Matos, *Ajuda Multicritério à Decisão - Introdução*, Porto: FEUP, 2005.
- [27] Cipriano, X., Carbonell, J., Cipriano, J. (2009). *Monitoring and modelling energy efficiency of municipal public buildings: case study in Catalonia region*. Politechnical University of Catalonia, Terrassa, Barcelona, Spain.
- [28] Marianakis, V., Karakosta, C., Doukas, H., Androulaki, S., Psarras, J. (2012). *A building automation and control tool for remote and real time monitoring of energy consumption*. National Technical University of Athens, Greece.
- [29] Pisello, A., Bobker, M., Cotana, F. (2012). *A Building Energy Efficiency Optimization Method by Evaluating the Effective Thermal Zones Occupancy*. Department of Industrial Engineering, University of Perugia, Italy.
- [30] A. E. P. C. Association, *A Best Practice Guide to Measurement and Verification of Energy*

Savings, Australia, 2004.

- [31] G. M. d. Silva, “Sistemas de Apoio à Medição e Verificação do Desempenho Energético,” em *Dissertação de Mestrado*, Porto, FEUP, 2009.
- [32] ASHRAE, Measurement of energy and demand Savings, Guideline 14-2002, 2002.
- [33] A. C. Ruas, Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho, São Paulo: FUNDACENTRO, 1999.
- [34] L. Corceiro, “Eficiência energética aplicada a edifícios de serviços,” em *Dissertação de Mestrado*, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2008.
- [35] B. P. N. J. D. S. Velimir Congradaca, Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals, Serbia: Faculty of Technical Sciences , 2012.
- [36] Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril. Diário da República nº 67/2006 - I Série A. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa..
- [37] P. Isolani, Eficiencia energética nos edificios residenciais, Lisboa: Energy Building, 2008.
- [38] ASHRAE, Energy Standard for Buildings Except low-rise residential buildings, Atlanta: Standard 90.1-2004, 2004.
- [39] X. W. Zara Fahim, Improving the Energy Performance of a University Building through Fault Detection and Building Systems Diagnostics, Los Angeles: ASHRAE, 2012.
- [40] E. F. Alexandre J. Freire, “Energy Demand-Side Management,” Abril 2012.
- [41] S. L. Horstmeyer, 2008 . [Online]. Available:
<http://www.shorstmeyer.com/wxfaq/humidity/humidity.html>. [Acedido em Maio 2013].
- [42] S. G. S. T. M. S. A. Azadeh, Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption, Iran: Elsevier Inc, 2007.
- [43] V. Miranda, Redes Neurais - Treino por retropropagação, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [44] PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011,” 12 Janeiro 2011.
- [45] D. Coelho, A. Campos e D. Coelho, “Energy efficiency in a hospital building case study: Hospitais da universidade de Coimbra,” 2011.
- [46] S. ALZUBAIDI e P. SOORI, “Energy Efficient Lighting System Design for Hospitals Diagnostic and Treatment Room—A Case Study,” *J. Light & Vis. Env.*, Vols. %1 de %2Vol 36, No 1, Outubro 2012.
- [47] V. Ribeiro, Custos instalação iluminação, Porto: Disciplina Luminotecnia, 2011.
- [48] F. Ascione, N. Bianco e R. De Masi, “Rehabilitation of the building envelope of hospitals:

Achievable energy savings and microclimatic control on varying the AVAC systems in Mediterranean climates,” *Energy and Buildings*, p. 125-138, 2013.

[49] m. d. cors.

[50] “Fluke home,” 4 Junho 2013. [Online]. Available:

<http://www.fluke.com/fluke/brpt/Ferramentas-de-Qualidade-de-Energia/Logging-Power-Meters/434-PWR-Power-Analyzer.htm?PID=70790>.

Anexos

Anexo I

Agência Banco A	Área	Consumo (kWh/ano)	Indicador (kWh/m2)	Desvio Norma ASHRAE
FIGUEIRA DA FOZ	174,90	36583,00	209,17	24,94%
ARCOZELO	179,10	26564,00	148,32	-5,85%
SÃO JOAO MADEIRA SUL	179,20	26485,00	147,80	-6,23%
CARCAVELOS	179,35	26716,00	148,96	-5,40%
MIRA	180,15	14485,00	80,41	-95,26%
ESTARREJA	180,75	32669,00	180,74	13,14%
GAIA ARRÁBIDA	184,50	38471,00	208,51	24,71%
CARCAVELOS	196,10	48256,00	246,08	36,20%
PORTO	201,15	41652,00	207,07	24,18%
FOZ	203,15	25163,00	123,86	-26,75%
TORRE / CASCAIS	208,85	38948,00	186,49	15,81%
CARVALHIDO	209,20	60020,00	286,90	45,28%
CASCAIS/BAIRRO S° JOSE	209,35	37160,00	177,50	11,55%
BOAVISTA-BURGO	211,10	21960,00	104,03	-50,92%
POMBAL	212,90	68742,00	322,88	51,38%
CORTEGACA	214,55	66374,00	309,36	49,25%
CHIADO	220,15	51079,00	232,02	32,33%
ALTO ST AMARO	227,65	43104,00	189,34	17,08%
MATOSINHOS SUL	228,30	33818,00	148,13	-5,99%
MOUZINHO SILVEIRA	230,05	30575,00	132,91	-18,13%
SANTA CLARA / COIMBRA	236,15	43023,00	182,19	13,82%
PARDILHO	242,95	41519,00	170,90	8,13%
LAPA S. BERNARDO	244,30	44451,00	181,95	13,71%
FORCA / AVEIRO	253,55	24665,00	97,28	-61,39%

GAIA AVENIDA	255,65	51333,00	200,79	21,81%
SA BANDEIRA	266,35	43244,00	162,36	3,30%
VIA RAPIDA	269,70	58929,00	218,50	28,15%
FELGUEIRAS	275,00	57572,00	209,35	25,01%
LUMIAR	284,40	44534,00	156,59	-0,26%
CAMPO ALEGRE	289,40	40290,00	139,22	-12,77%
OLAIAS	293,65	63378,00	215,83	27,26%
VAGOS	304,35	90184,00	296,32	47,02%
LISBOA ORIENTAL	309,05	41319,00	133,70	-17,43%
COIMBRA/CHOUPAL	310,35	33386,00	107,58	-45,94%
JULIO DINIS	320,70	56641,00	176,62	11,11%
S. APOLONIA	339,75	47774,00	140,62	-11,65%
ILHAVO	356,65	37326,00	104,66	-50,01%
VIANA DO CASTELO	366,00	68559,00	187,32	16,19%
ALCANTARA	366,01	64070,00	175,05	10,31%
BUARCOS	373,95	56044,00	149,87	-4,76%
BELEM	384,20	57917,00	150,75	-4,15%
PENALVA CASTELO	406,95	53121,00	130,53	-20,27%
ESMORIZ	410,85	72655,00	176,84	11,22%
MANGUALDE	413,00	21684,00	52,50	-199,03%
SANTIAGO CACEM	413,95	75120,00	181,47	13,48%
CARNAXIDE	415,75	78124,00	187,91	16,45%
VILA FRANCA DE XIRA	425,35	66263,00	155,78	-0,78%
MOURA	431,30	57142,00	132,49	-18,50%
VILA NOVA DE FAMALICÃO	435,00	59722,00	137,29	-14,35%
ALVALADE	438,30	62965,00	143,66	-9,29%
MARINHA GRANDE	439,60	53976,00	122,78	-27,87%
OLHAO	440,45	65068,00	147,73	-6,27%
MACEDO DE CAVALEIROS	444,40	51472,00	115,82	-35,55%
CONDE BARAO	447,05	40970,00	91,65	-71,31%
AV REPUBLICA	450,00	56169,00	124,82	-25,78%
TORRES NOVAS	450,45	67759,00	150,43	-4,37%
SENHORA HORA	457,40	57087,00	124,81	-25,79%
MAIA	459,35	78834,00	171,62	8,52%
EVORA	474,10	146557,00	309,13	49,21%
PORTIMAO	483,85	61422,00	126,94	-23,68%
AV.DE BERNA	484,00	73584,00	152,03	-3,27%
GRAÇA	484,75	51365,00	105,96	-48,17%
S.SEBASTIAO PEDREIRA	484,90	38498,00	79,39	-97,75%
PERAFITA	487,80	28150,00	57,71	-172,06%
PRAÇA DO BRASIL	489,65	64815,00	132,37	-18,61%
ESTORIL	499,45	84518,00	169,22	7,22%
SOURE	501,10	44846,00	89,50	-75,43%

REGUENGOS MONSARAZ	502,00	85546,00	170,41	7,87%
ROSSIO	502,65	102058,00	203,04	22,68%
VILA REAL	504,00	84759,00	168,17	6,64%
ALTO DO CACEM	512,60	53668,00	104,70	-49,96%
ANADIA	518,10	79103,00	152,68	-2,83%
CAMPO GRANDE	524,10	63934,00	121,99	-28,70%
TROFA	524,40	62177,00	118,57	-32,41%
SALVATERRA MAGOS	526,70	52909,00	100,45	-56,29%
LORDELO-DOURO	529,80	21530,00	40,64	-286,34%
CASTELO BRANCO	533,00	60102,00	112,76	-39,23%
NOVA OEIRAS	534,30	57560,00	107,73	-45,74%
ALGES	536,00	59661,00	111,31	-41,05%
BRAGA	543,00	58771,00	108,23	-45,06%
COVILHA	549,00	118050,00	215,03	26,99%
FARO	552,00	30176,00	54,67	-187,20%
CASCAIS	598,50	76006,00	126,99	-23,63%
SACAVEM	616,10	71449,00	115,97	-35,38%
PRAÇA DO CHILE	618,70	94475,00	152,70	-2,82%
ALBUFEIRA	622,00	71246,00	114,54	-37,07%
MONTIJO	624,00	37869,00	60,69	-158,70%
AVEIRO	629,60	86318,00	137,10	-14,52%
CARTAXO	632,00	35298,00	55,85	-181,10%
BEJA	642,00	59321,00	92,40	-69,91%
LOULE	649,65	69365,00	106,77	-47,04%
PACO DE ARCOS	667,00	86739,00	130,04	-20,73%
VILA DO CONDE	703,00	52163,00	74,20	-111,59%
BENFICA	711,60	113000,00	158,80	1,13%
ALMADA	725,00	114827,00	158,38	0,87%
ABRANTES	754,50	63605,00	84,30	-86,24%
PONTINHA	763,05	48964,00	64,17	-144,67%
GUIMARAES	772,00	114815,00	148,72	-5,56%
ESPINHO	777,00	90107,00	115,97	-35,38%
PRAÇA DE LONDRES	815,40	101761,00	124,80	-25,80%
TOMAR	819,10	74022,00	90,37	-73,73%
SETUBAL	855,00	140625,00	164,47	4,54%
LEIRIA	860,00	93590,00	108,83	-44,27%
ELVAS	863,45	59030,00	68,37	-129,65%
GUARDA	900,00	137012,00	152,24	-3,13%
SALDANHA	935,00	179756,50	192,25	18,34%
SAO JOAO DA MADEIRA	1 266,00	147222,00	116,29	-35,01%
Agência Banco B	Área	Consumo (kWh/ano)	Indicador (kWh/m2/ano)	Desvio Norma ASHRAE
Boavista - Júlio Dinis	375,00	64720,00	172,59	9,03%

Boavista - Rotunda	521,00	43823,00	84,11	-86,65%
Carlos Alberto	507,00	60164,86	118,67	-32,30%
Aliados	612,00	136266,00	222,66	29,49%
Santa Catarina	329,00	74615,00	226,79	30,77%
Camões	403,00	51055,00	126,69	-23,93%
Antas	370,00	54421,00	147,08	-6,74%
Gonçalo Cristóvão	290,00	43880,00	151,31	-3,76%
Constituição	366,00	81791,00	223,47	29,75%
Foz - Avenida Brasil	509,00	60440,00	118,74	-32,22%
Pinheiro Manso	474,00	63478,00	133,92	-17,23%
Campanhã	407,00	62958,00	154,69	-1,49%
São Mamede de Infesta	817,00	81131,00	99,30	-58,10%
Matosinhos- Tomás Ribeiro	441,00	84142,00	190,80	17,71%
Matosinhos Sul / C.I. Matosinhos Sul	737,00	100725,00	136,67	-14,88%
Pedras Rubras	309,00	71570,00	231,62	32,22%
Rio Tinto - São Caetano	633,00	73545,00	116,18	-35,13%
Gondomar - Município	320,00	51363,00	160,51	2,19%
Gondomar - Souto	764,00	68405,00	89,54	-75,35%
C.I. Gaia	604,00	68732,00	113,79	-37,97%
Arcozelo - Corvo	360,00	69572,00	193,26	18,76%
Vilar Paraíso	314,00	51614,00	164,38	4,49%
Trofa	733,00	83095,00	113,36	-38,49%
Vila do Conde - Mercado	560,00	65985,00	117,83	-33,24%
Centro de Investimentos Póvoa de Varzim	418,00	39790,00	95,19	-64,93%
Saldanha	952,00	53190,00	55,87	-181,00%
São Sebastião	812,00	113128,00	139,32	-12,69%
Braamcamp	455,00	62011,00	136,29	-15,20%
Avenida Liberdade	570,00	57536,00	100,94	-55,54%
Centro de Investimentos Avenida da Liberdade	339,00	63932,00	188,59	16,75%
Avenida de Roma	248,00	50523,00	203,72	22,93%
Olivais Sul	616,00	66777,00	108,40	-44,83%
Lapa	438,00	53961,00	123,20	-27,44%
Centro de Investimentos Lapa	278,00	48922,00	175,98	10,78%
Avenida 5 de Outubro	465,00	42757,00	91,95	-70,74%
República	520,00	50997,00	98,07	-60,09%
Estados Unidos da América	511,00	66358,00	129,86	-20,90%
Lumiar	457,00	117212,00	256,48	38,79%
Praça do Chile	730,00	70899,00	97,12	-61,65%
Rossio	609,00	53775,73	88,30	-77,80%

Algueirão	772,00	75578,00	97,90	-60,37%
Amadora - Estação	822,00	93408,00	113,64	-38,16%
Buraca	655,00	65128,00	99,43	-57,90%
Póvoa de Santo Adrião	390,00	50495,00	129,47	-21,26%
Póvoa de Santa Iria	664,00	104027,00	156,67	-0,21%
Monte do Estoril	369,00	77629,00	210,38	25,37%

Anexo II

Agência	Calculado através do RCCTE	Output rede neuronal	erro (calculado/previsto)	consumo anual (kWh)	desvio do ótimo(consumo real / previsto)	Potencial redução?
1	179347,89	158332,175	11,72%	147222	-7,55%	Não
2	129689,175	116722,2344	10,00%	179756,5	35,07%	Sim
3	118592,775	124192,0737	4,72%	140625	11,69%	Sim
4	86900,095	87360,33156	0,53%	86739	-0,72%	Não
5	89159,4	96535,76616	8,27%	35298	-173,49%	Não
6	84800,37	79794,44559	5,90%	71246	-12,00%	Não
7	73730,64	69524,23474	5,71%	30176	-130,40%	Não
8	80798,4	83511,17889	3,36%	58771	-42,10%	Não
9	69720,06825	69768,72423	0,07%	102058	31,64%	Sim
10	72009,39	75981,48985	5,52%	85546	11,18%	Sim
11	68427,7105	69444,38159	1,49%	44846	-54,85%	Não
12	67370,058	67754,7798	0,57%	28150	-140,69%	Não
13	67237,24875	67236,18235	0,00%	51365	-30,90%	Não
14	68707,1385	66598,82968	3,07%	67759	1,71%	Sim
15	62417,25	62259,68991	0,25%	56169	-10,84%	Não
16	62008,07025	61836,51696	0,28%	40970	-50,93%	Não
17	57666,60375	57565,14694	0,18%	78124	26,32%	Sim
18	55403,068	55590,09927	0,34%	75120	26,00%	Sim
19	49726,00125	50220,34431	0,99%	56044	10,39%	Sim

20	40730,723 25	39886,21 33	2,07%	63378	37,07%	Sim
21	40311,973	40010,33 352	0,75%	40290	0,69%	Sim
22	41680,375	45345,59 955	8,79%	57572	21,24%	Sim
23	32594,172	31673,59 649	2,82%	41519	23,71%	Sim
24	30495,064 25	29128,09 914	4,48%	66374	56,12%	Sim
25	29403,619	34261,99 002	16,52%	68742	50,16%	Sim
26	29140,514	30120,56 434	3,36%	60020	49,82%	Sim
27	28019,189 25	27838,76 361	0,64%	41652	33,16%	Sim
28	25548,888 5	26145,95 268	2,34%	48256	45,82%	Sim
29	25918,56	29419,16 166	13,51%	38471	23,53%	Sim
30	23821,042 5	25913,17 967	8,78%	32669	20,68%	Sim
31	24311,242 5	26473,17 73	8,89%	14485	-82,76%	Não
32	25159,968	28877,51 921	14,78%	26564	-8,71%	Não

Anexo III

Melhoria do conforto no ambiente de trabalho

Informações gerais

A melhoria do conforto no contexto de otimização dos consumos energéticos requer o conhecimento das necessidades reais destes consumos. Uma boa gestão do consumo energético permite maximizar o nível de conforto na vida interna de um edifício com um nível aceitável dos consumos de energia a ele associado. No sentido de participar na melhoria da qualidade e conforto da vida no edifício em que trabalha vimos solicitar-lhe que forneça a informação que o inquérito abaixo pretende.

Este inquérito não será utilizado para quaisquer outros fins.

Género

Masculino

☐

Feminino

☐

Em média a que horas chega a agência?

por favor insira a hora no formato HH:MM, ex "8:30"

Em média a que horas sai da agência?

por favor insira a hora no formato HH:MM, ex "8:30"

Em que modo deixa o seu computador?

	Desligado	Log off	Hibernar	Suspender	Ligado
Quando vai almoçar ou efetua uma pausa prolongada?	☐	☐	☐	☐	☐
No final do dia de trabalho?	☐	☐	☐	☐	☐

Caso deixe o computador ligado em algumas destas situações, qual o motivo?

No final do dia desliga a impressora (validadora) do seu posto de trabalho?

☐ Sim

☐ Não

Quando vai ao WC costuma encontrar a iluminação ligada?

☐ Sim

☐ Não

Quando sai do WC desliga a iluminação?

☐ Sim

☐ Não

Normalmente a iluminação da sua área de trabalho costuma estar sempre ligada?

☐ Sim

☐ Não

Em dias com bastante luminosidade, acha necessário que a iluminação continue ligada?

☐ Sim

☐ Não

Como avalia o desempenho da iluminação?

por favor assinale a opção desejada.

- Bom, fornece as condições ideais à realização do trabalho
- Satisfatório, em dias com pouca luminosidade exterior por vezes não é suficiente para realizar o trabalho
- Medíocre, em geral a área de trabalho não é bem iluminada
- Mau, não existe luminosidade suficiente para realizar o trabalho
- Outra _____

Como avalia o desempenho da climatização?

por favor assinale a opção desejada.

- Bom, estou sempre confortável
- Satisfatório, por vezes existem variações na temperatura interior tornando o ambiente ligeiramente frio
- Satisfatório, por vezes existem variações na

temperatura interior tornando o ambiente ligeiramente quente

- Medíocre, muitas vezes a temperatura não está bem regulada
- Mau, a temperatura nunca está devidamente regulada para as condições ótimas de trabalho
- Outra _____

Além da sua área de trabalho, existe algum outro espaço na agência onde poderiam ser melhorados os níveis de conforto? (a nível térmico e de luminosidade) *

Muito obrigado pela sua colaboração. A sua resposta vai ser muito útil para otimizar a qualidade e conforto do seu ambiente de trabalho.

Anexo IV

Resultados da simulação em DIALux do cenário futuro:

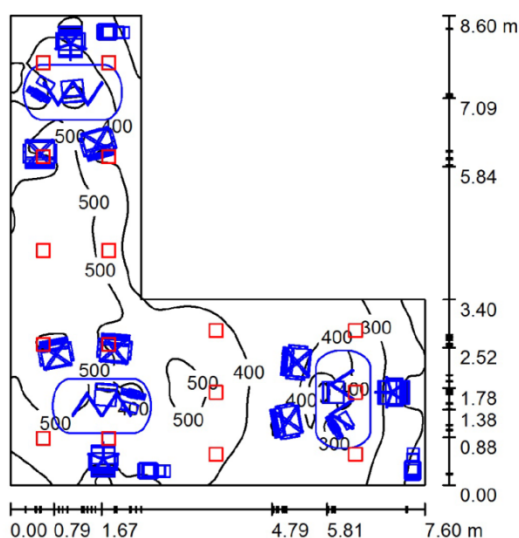
Projecto 3



23.06.2013

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Atendimento 4 / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.800 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:111

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	418	86	585	0.205
Solo	20	252	33	457	0.133
Tecto	80	110	68	147	0.622
Paredes (6)	50	244	74	876	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
Grelha: 128 x 128 Pontos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	16	INDAL Z3111307sM2 18213EL (1.000)	1582	1800	13.0
			Total: 25307	Total: 28800	208.0

Potência específica: $5.43 \text{ W/m}^2 = 1.30 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 38.32 m^2)

Resultados da simulação em DIALux do cenário atual:

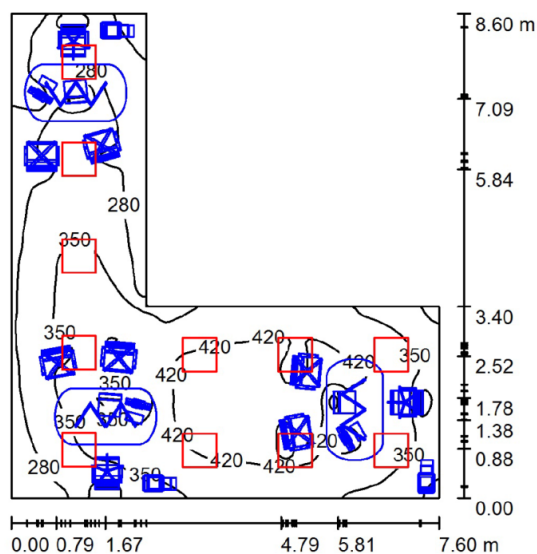
Projecto 3



23.06.2013

Editor(a)
Telefone
Fax
e-Mail

Atendimento 5 / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.800 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:111

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	344	147	462	0.428
Solo	20	206	33	359	0.159
Tecto	80	85	48	134	0.568
Paredes (6)	50	212	42	529	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
Grelha: 128 x 128 Pontos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	11	INDAL Z7042603sM1 362-IER-EL (1.000)	1995	5800	36.0
Total:			21942	63800	396.0

Potência específica: $10.33 \text{ W/m}^2 = 3.01 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 38.32 m^2)

Anexo V

Mapa de Portugal Continental - Zonas climáticas de Verão.

