

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Desenvolvimento de um Sistema de Ajuda à Decisão para Avaliação de Propostas de Eficiência Energética em Edifícios de Serviços

Rita Chaves Rebelo

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

Orientador: Prof. Cláudio Monteiro
Presidente do Júri: Prof. Artur Costa

Julho de 2008

© Rita Chaves Rebelo, 2008

Resumo

A União Europeia, ciente das alterações climáticas e do esgotamento dos recursos, tem vindo a impor aos Estados Membros a **adopção de políticas mais ambiciosas na área da eficiência energética**. Este facto, aliado aos sucessivos aumentos do preço da energia, levam a que os proprietários de edifícios estejam cada vez mais sensibilizados para esta temática.

O facto de a eficiência energética não ter sido uma grande preocupação, até aos dias de hoje, faz com que exista um longo caminho a percorrer num curto intervalo de tempo, pois os prazos legais a cumprir são apertados. Os proprietários de edifícios de serviços têm, assim, que actuar rapidamente e numa área em que têm pouco *know-how*. O problema assume uma dimensão superior nas empresas detentoras de vários edifícios de serviços, como é o caso da PT Comunicações.

A falta de recursos humanos na área da energia das próprias empresas obriga à contratação de empresas especializadas em aumentar a eficiência energética, denominadas de ESCO. Surge, assim, a necessidade de estruturar uma abordagem-tipo para a contratação destes serviços e elaborar uma metodologia objectiva para a escolha da melhor proposta. Para que a obtenção do resultado seja rápida e o método possa ser utilizado por diferentes pessoas, foi estudada e implementada uma metodologia, onde o decisor tem que introduzir os seus critérios de valorização e as informações que caracterizam as propostas. Como *output*, é indicada a avaliação final de cada proposta numa escala de zero a cem e é analisada a robustez do resultado obtido através de uma análise de sensibilidade.

Este relatório apresenta inicialmente as áreas de informação que foi necessário aprofundar para criar uma ferramenta útil, que cobre todos os campos relevantes na escolha das propostas, e que produz resultados fiáveis e ajustados à realidade na escolha de contratos de eficiência energética em edifícios de serviços.

A aplicação dos conhecimentos adquiridos dá origem a uma aplicação informática, que implementa de uma forma simples e rápida o método de decisão desenvolvido, que é explicitado neste documento, e que se baseia no modelo da soma ponderada.

Para validar o método desenvolvido, a ferramenta desenvolvida é utilizada na avaliação das propostas obtidas pela PT Comunicações, em resposta a um concurso lançado para o melhoria da eficiência energética de quatro dos seus edifícios mais emblemáticos.

Dado o resultado positivo obtido, fica a esperança de futura aplicabilidade deste método de decisão em casos semelhantes.

Abstract

Aware of the climatic changes and the possible end of the natural resources, the European Union has been developing stricter rules about energy efficiency. This fact, together with the successive rise of the energy price, has the benefit of making the building owners more sensitive to this theme.

Till nowadays, energy efficiency was never a matter of worry. This means that there is a long way to go and a short time to do so, because the laws that are being made will soon have to be followed. The building owners face the necessity to act quickly and in a field of knowledge that they don't have the know-how. The problem is even bigger in big companies that are the owners of a large number of commercial buildings, like PT Comunicações.

The lack of people in the energy field within the company, leads to the need to contract a company specialized in energy efficiency (an ESCO). This leads to the need of defining a structure to this kind of situations, and to create an object method that aids in the choice of the best proposal. In order for the process to be quick and the method used by different people, it has been developed an Excel file, where the decision maker has to specify his preferences and the proposals' information. As outputs, it is given the evaluation of each proposal, in a scale from zero to one hundred, and is made a sensitivity analyses to the solution found.

In order to present the system and the work developed, primarily it's described the information searched, which covers several fields or knowledge to insure that the tool developed is useful and that leads to trustable results when choosing and energy efficiency contract to commercial buildings.

The Excel file is the practical application of the acquired knowledge, and implements the decision method that was developed, and that is based on the model known as the weighted sum.

The decision method was then applied to the proposals obtain by PT Comunicações, for the establishment of energy efficiency contacts in four of the company's biggest buildings, to confirm the applicability and utility of the method.

The positive result obtained gives an optimist perspective in the future application of this method in the commercial sector of activity.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à PT Comunicações, por acreditar que a eficiência energética é uma área em que vale a pena investir, e por confiar no valor do meu trabalho nesta área. Em especial, estou grata ao Eng. Mendes Bello, por me ter fornecido todos os dados necessários para a realização deste trabalho, e me ter dado valiosos conselhos e informações numa área que ele tão bem conhece. Obrigada também por me dar a possibilidade de acompanhar todo o processo e me incluir na fase de execução dos trabalhos. Uma palavra também para todos os meus colegas, em especial para a Dra. Júlia Guimarães, pela recepção calorosa no mundo do trabalho e pelo apoio e aconselhamento no desempenho das minhas funções e no meu desenvolvimento pessoal e profissional.

O meu obrigada ao Prof. Cláudio Monteiro, por estar sempre disponível e por me orientar de forma tão presente, desde a ideia inicial até à conclusão deste trabalho.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice	ix
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xiv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1 - Introdução	19
Capítulo 2 - Estado da Arte	23
2.1 A Legislação.....	23
2.1.1 O RSECE.....	24
2.1.2 O Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	25
2.2 Preço da Energia	26
2.3 Tecnologias de melhoria da eficiência energética.....	27
2.3.1 Iluminação	29
2.3.2 Equipamento de Escritório	32
2.3.3 Água Quente Sanitária (AQS)	33
2.3.4 Climatização.....	34
2.3.5 Outros.....	41
2.4 As ESCO	42
2.4.1 Desenvolvimento de um Projecto.....	42
2.4.2 Tipos de Contrato.....	42
2.5 Os Métodos de Decisão.....	45
Capítulo 3 - Metodologia	49
3.1 Esquema Geral	49
3.1.1 Um único concurso, uma única empresa	50
3.1.2 Dois concursos, várias empresas	51
3.2 O Processo de Decisão: Metodologia Proposta.....	52
3.2.1 Objectivos.....	53
3.2.2 Especificação Técnica.....	54
3.2.3 Axiomas.....	55
3.2.4 Identificação dos atributos a considerar na avaliação das propostas	55
3.2.5 Determinação dos Desempenhos dos Atributos para cada Proposta	57
3.2.6 Cálculo dos pesos dos atributos	62
3.2.7 Cálculo da avaliação final e escolha da melhor alternativa.....	64
3.2.8 Análise de Sensibilidades	65
3.2.9 Comentários ao Método Desenvolvido.....	67
3.3 O Processo de Decisão: Implementação da Aplicação.....	68
3.3.1 1. Preço.....	68
3.3.2 2. Pontos Obrigatórios	69
3.3.3 3. Explicitação.....	69
3.3.4 4. Calendarização.....	69
3.3.5 5. Empresa e Equipa.....	69
3.3.6 6. Mais Valias	69
3.3.7 7. Cálculo dos Pesos.....	69
3.3.8 8. Pesos.....	71
3.3.9 9., 10., 11. e 12. Análises de sensibilidade	71
Capítulo 4 - Caso de Estudo.....	73
4.1 Lançamento da Consulta	73

4.1.1 Objectivos.....	73
4.1.2 Especificação Técnica.....	75
4.1.3 Análise Crítica do Lançamento da Consulta.....	77
4.2 Avaliação das Propostas da Consulta	80
4.2.1 Avaliação das Propostas feita pelo decisor da PT Comunicações	80
4.2.2 Aplicação do Método Proposto para Avaliação das Propostas do Caso de Estudo .	82
4.2.3 Análise Crítica do Processo de Avaliação das Propostas	96
Capítulo 5 - Conclusões e Trabalhos Futuros	99
Referências	102

Lista de Figuras

Figura 2.1- Consumo de energia do sector dos serviços na última década, em Portugal, por fonte de energia, segundo disponíveis em [11].	26
Figura 2.2 - Divisão do consumo de energia eléctrica de edifícios de serviços pelas áreas de utilização, segundo dados de [14].	28
Figura 2.3 - Esquema de funcionamento de um sistema de climatização com <i>chiller</i> a água.	35
Figura 2.4 - Fotografia de bombas de circulação da marca <i>Wilo</i> , de um edifício da PT Comunicações.	37
Figura 2.5 - Fotografia dos ventiladores de unidades compactas da <i>Liebert Hiross</i> , do edifício da PT Comunicações na Rua do Tenente Valadim, Porto.....	39
Figura 2.6 - Esquema de um sistema de recuperação de calor (fonte: site AREAM [28]).	41
Figura 2.7 - Divisão das poupanças num contrato de performance do tipo Economias Partilhadas.	44
Figura 3.1 - Estrutura a seguir para a realização de contratos de eficiência energética.	49
Figura 3.4 - Estrutura do segundo concurso.....	52
Figura 3.5 - Árvore para avaliação das propostas.	56
Figura 3.6 - Forma do gráfico que relaciona a duração com a avaliação desse atributo, para cada etapa.	60
Figura 3.7 - Correspondência utilizada entre avaliação do decisor e valores numéricos.	61
Figura 3.8 - Árvore de atributos utilizada na avaliação das propostas e respectivos pesos. ...	64
Figura 4.1 - Árvore utilizada na avaliação das propostas por parte do cliente.	80
Figura 4.2 - Representação gráfica da Função de Valor da avaliação do preço em relação a este atributo.....	83
Figura 4.3 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso da proposta técnica. .	93
Figura 4.4 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso do preço.	94
Figura 4.5 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso das Mais Valias.....	95
Figura 4.6 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso dos Recursos.	95

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Sistemas/equipamentos dos edifícios de serviços e respectivos parâmetros a serem auditados no âmbito do RSECE [5].	24
Tabela 2.2 - Sistemas/equipamentos dos edifícios de serviços e respectivos parâmetros a serem auditados no âmbito do RGCE [10].	26
Tabela 2.3 - Dados do consumo do sector dos serviços em Portugal, na última década, segundo [11].	27
Tabela 2.4 - Tipos de lâmpadas e principais características (dados extraídos de [17]).	30
Tabela 2.5 - Outras formas de poupar energia nos sistemas de climatização [20],[27],[29],[30],[31],[32].	41
Tabela 4.1 - Consumos de energia eléctrica dos 10 edifícios mais consumidores entre Julho de 2006 e Junho de 2007.	74
Tabela 4.2 - Conversão de kWh para kgep, segundo valores indicados em [4].	74
Tabela 4.3 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RGCE.	75
Tabela 4.4 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RSECE.	76
Tabela 4.5 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RGCE, indicados na Especificação Técnica.	78
Tabela 4.6 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RSECE, indicados na Especificação Técnica.	79
Tabela 4.7 - Empresas e respectivas propostas a concurso.	81
Tabela 4.8 - Tabela com a avaliação do decisor da PT Comunicações.	81
Tabela 4.9 - Pontos da função de valor que relaciona o preço com a avaliação desse atributo.	83
Tabela 4.10 - Tabela com os preços apresentados em cada proposta, respectivo VAL e avaliação.	83
Tabela 4.11 - Avaliação dos Pontos Obrigatórios para o caso de Picoas.	84
Tabela 4.12 - Avaliação do parâmetro Explicitação das propostas a concurso.	84
Tabela 4.13 - Definição dos valores preferidos e das propostas para cada etapa.	85
Tabela 4.14 - Avaliação das propostas, no atributo Calendarização.	86
Tabela 4.15 - Resumo da informação relativa aos parâmetros para avaliação da equipa técnica e da empresa.	86
Tabela 4.16 - Avaliação qualitativa dos atributos relativos à equipa técnica e empresa.	87
Tabela 4.17 - Avaliação quantitativa dos atributos relativos à equipa técnica e empresa.	87
Tabela 4.18 - Mais Valias apresentadas por cada proposta.	88
Tabela 4.19 - Avaliação das Mais Valias de cada proposta.	88
Tabela 4.20 - Resumo da avaliação de todos os atributos de cada proposta.	89
Tabela 4.21 - Equivalências entre propostas.	89
Tabela 4.22 - Avaliação final das propostas.	92
Tabela 4.23 - Pesos máximo e mínimo possíveis dos atributos de mais alto nível.	93
Tabela 4.24 - Conjuntos de pesos que vão definir as rectas de avaliação das propostas em função do peso da proposta técnica.	93
Tabela 4.25 - Tabela comparativa dos pesos definidos na Especificação Técnica e dos pesos calculados pelo método proposto.	96
Tabela 4.26 - Tabela com as avaliações totais, sem preço, obtidas pelo decisor da PT Comunicações e pelo método proposto.	97

Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Água Quente Sanitária
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
AREAM	Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CEEETA	Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente
COP	<i>Coefficient Of Performance</i>
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
DL	Decreto-Lei
DOE	<i>U.S. Department of Energy</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPC	<i>Energy Performance Contracts</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESCO	<i>Energy Services Company</i>
G.E.S.	Grupo Eléctrogéneo de Socorro
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEE	Índice de Eficiência Energética
INE	Instituto Nacional de Estatística
kgep	Quilograma equivalente de petróleo
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
lm	Lumen
MCDC	International Society on Multiple Criteria Decision Making
°C	Graus Celsius
PIB	Produto Interno Bruto
PRCE	Plano de Racionalização dos Consumos de Energia
PREn	Plano de Racionalização dos Consumos de Energia
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REN	Redes Energéticas Nacionais
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo

UPS	<i>Uninterruptible power supply</i>
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VRV	Unidades de Volume de Refrigerante Variável
VSD	<i>Variable Speed Drive</i>
W	Watt
Wh	Watt-hora

Lista de Símbolos

€	euro
$\text{duração}_{\text{pref}}$	Duração preferida de uma determinada etapa
$\text{EER}_{\text{aquecimento}}$	<i>Energy Efficiency Ratio</i> quando máquina está a fazer calor
$\text{EER}_{\text{arrefecimento}}$	<i>Energy Efficiency Ratio</i> quando máquina está a fazer frio
i	Taxa de juro real anual
k_i	Constantes
n	Anos de duração do contrato
N_{PO}	Número total de pontos obrigatórios
$P_{\text{aquecimento}}$	Potência de calor produzida
$P_{\text{arrefecimento}}$	Potência de frio produzida
$P_{\text{eléctrica}}$	Potência eléctrica consumida para produzir a potência térmica
V'_x	Nova avaliação final da proposta X, quando se varia o peso de um atributo
V_0	Preço a pagar à ESCO no ano zero
VAL_{max}	Valor Actualizado Líquido do máximo que o decisor está disposto a pagar pelo serviço
$\text{VAL}_{\text{pagamento}}$	Valor Actualizado Líquido dos preços propostos
$v_c(x)$	Função de valor da avaliação em função da duração de cada etapa
$v_{\text{cTOTAL}}(x)$	Função de valor que relaciona a duração das etapas com a avaliação desse atributo
$v_{\text{curriculos}}(x)$	Função de valor que relaciona os currículos com a avaliação desse atributo
$v_{\text{empresa}}(x)$	Função de valor que relaciona a empresa com a avaliação desse atributo
$v_{\text{expl}}(x)$	Função de valor que relaciona a explicitação com a avaliação desse atributo
v_i e v'_i	Avaliações de propostas em relação ao atributo i
$v_{\text{MV}}(x)$	Função de valor que relaciona as mais valias com a avaliação desse atributo
$v_p(x)$	Função de valor que relaciona o preço x com a avaliação desse atributo
$V_{\text{p/ano}}$	Valor a pagar pelo acompanhamento em cada um dos n anos
$v_{\text{PO}}(x)$	Função de valor que relaciona os pontos obrigatórios com a avaliação desse atributo
$v_{\text{peritosSCE}}(x)$	Função de valor que relaciona a existência de peritos SCE com a avaliação desse atributo
V_{poupa}	Poupança anual gerada pelo contrato de eficiência energética
$v_{\text{tecncred}}(x)$	Função de valor que relaciona a existência de técnicos credenciados com a avaliação desse atributo
V_x	Avaliação final da proposta X
γ_i	Peso de cada mais valia
Δ_{max}	Variação máxima admissível na duração de uma determinada etapa
λ_{analise}	Peso original do atributo em análise
$\lambda'_{\text{analise}}$	Novo peso do atributo em análise
λ_i	Peso parcial relativo ao atributo i

Capítulo 1

Introdução

Em 2007, segundo dados da REN [1], o consumo de electricidade em Portugal aumentou 1,8%. Se a análise for feita através da intensidade energética (energia necessária para produzir uma unidade de produto interno bruto - PIB), verifica-se que, no ano de 2005, Portugal apresentava um valor de 241,41 kgep por 1000 euros, enquanto que a Europa a 15 tinha uma intensidade energética de 184,85 kgep por 1000 euros e a Europa a 27 apresentava um valor de 208,05 kgep por 1000 euros. Estes valores são apresentados pelo *Eurostat* [2].

Embora em 2007 se tenha verificado, em Portugal, e pela primeira vez desde 2003, uma diminuição da intensidade energética, com os consumos a crescerem menos que o PIB, a situação continua a ser preocupante.

O aumento dos preços da energia e a forte dependência de Portugal da importação de fontes primárias de energia trazem o tema para a ordem do dia, e afectam todos os sectores da sociedade. Os efeitos que a produção e consumo de energia têm sobre o ambiente são outra grande preocupação da actualidade, já que estão bem visíveis através do aquecimento global.

Na Europa, segundo dados da ADENE [3], cerca de 40% do consumo de energia é da responsabilidade dos edifícios, e esse valor pode ser reduzido para metade através da implementação de medidas de eficiência energética.

Foi com base nestes factos, que a União Europeia decidiu agir e criar a Directiva nº 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este documento traça as linhas gerais de um sistema de avaliação e certificação do desempenho energético dos edifícios, que tem que ser adoptado pelos Estados Membros.

Desta forma, surgem em 2006 e em Portugal, dois regulamentos: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [4] e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [5], que definem as bases do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [6]. Estes Regulamentos apresentam regras a cumprir, não só em edifícios residenciais mas também nos edifícios de serviços, novos e existentes.

Recorrendo a dados de 2004 do *Eurostat* relativos a Portugal (ver [7]), chega-se à conclusão que o consumo dos serviços representa cerca de 10% do consumo de energia final. Juntando a imposição regulatória com a necessidade de reduzir custos, e sabendo que a preocupação ambiental é hoje em dia muito valorizada nas empresas, conclui-se que a procura de solução de aumento de eficiência energética vai certamente aumentar nos próximos anos.

À medida que este mercado cresce, aumenta também a necessidade das grandes empresas, detentoras de edifícios de serviços, estarem preparadas para esta nova realidade. Embora não seja viável para uma empresa ter colaboradores especializados e material adequado para a identificação e implementação de medidas de melhoria da eficiência energética, tem que possuir metodologias estruturadas para a elaboração de concursos de adjudicação deste tipo de serviço de forma a fazerem a escolha adequada.

Dada a complexidade deste tipo de concursos e das propostas apresentadas, surge a necessidade de desenvolver métodos que facilitem essa função e que permitam lidar com várias variáveis ao mesmo tempo, de forma a se garantir que o trabalho é adjudicado à empresa que apresentou a melhor proposta.

A metodologia desenvolvida neste documento procura fazer isso mesmo: definir a estrutura que deve ser seguida no lançamento de um concursos de melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços e ajudar na avaliação das propostas apresentadas.

Este trabalho pretende, ao mesmo tempo, apresentar de forma sucinta, os conhecimentos que um colaborador responsável por estes concursos deve ter, ao nível da legislação em vigor, do preço da energia, das tecnologias de melhoria da eficiência energética, das empresas concorrentes (ESCO) e dos métodos de decisão. Por essa razão, estes pontos são desenvolvidos no Capítulo 2 - Estado da Arte.

Só com base nestes conhecimentos foi possível identificar as necessidades, os pressupostos e desenvolver toda a metodologia apresentada no Capítulo 3. Em primeiro lugar, é apresentada a estrutura a seguir, desde que a empresa decide contratar outra para avaliara e aumentar a eficiência energética de um edifício de serviços até que esses trabalhos são efectuados. Em seguida, é descrita toda a metodologia desenvolvida de avaliação das propostas. Por fim, é apresentada a ferramenta desenvolvida, que implementa de forma prática e expedita o método desenvolvido.

A PT Comunicações, ciente da necessidade de certificar os seus edifícios, de proteger o meio ambiente e de reduzir os custos com a electricidade, foi das primeiras empresas em Portugal a iniciar os trabalhos necessários para a certificação dos seus edifícios. Embora a autora não tenha participado do lançamento do concurso e da escolha dos adjudicatários, teve o privilégio de acompanhar todo o processo. Como tal, está em condições de aplicar o método desenvolvido a este caso de estudo. Essa aplicações e respectivas conclusões estão no Capítulo 4.

Espera-se, assim, ter desenvolvido um documento útil, enquadrado com as necessidades actualidades e com aplicabilidade no mundo real.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste documento, são fundamentalmente exploradas cinco áreas de conhecimento, que se pretendem interligar para obter uma ferramenta eficiente e útil na avaliação de propostas de eficiência energética em edifícios de serviços.

A problemática da eficiência energética em edifícios de serviços surge por três razões fundamentais: a **legislação**, que é obrigatório cumprir, o aumento do **preço da energia**, que trouxe uma nova importância a esta parcela nos encargos das empresas, e as questões ambientais, com várias empresas a elaborar relatórios anuais de sustentabilidade. Neste cenário, o mercado das **tecnologias de melhoria da eficiência energética** tem aumentado bastante, assim como o número de empresas especializadas em **serviços de eficiência energética** (ESCOs). Como tal, os colaboradores das empresas que pretendem contratar serviços de eficiência energética têm que estar aptos para fazerem a melhor escolha, utilizando **métodos de ajuda à decisão**, problema que se torna ainda mais importante em empresas detentoras de dezenas de imóveis.

No presente capítulo, será feita uma breve descrição do estado da arte destas cinco áreas.

2.1 A Legislação

A área dos edifícios de serviços e o respectivo consumo anual de energia determinam a legislação que tem que ser cumprida em cada caso.

Em relação à área, e se for um edifícios de serviços existente, deve-se aplicar o Decreto-Lei nº 79/2006 de 2006-04-04 [5] onde existe distinção entre grandes edifícios (com mais de 1000 m² de área) e pequenos edifícios de serviços (com área inferior a 1000 m²). Ambos os casos são abrangidos pelo RSECE [5], mas com exigências diferentes.

No que se refere ao consumo anual de energia, o Decreto-Lei nº 71/2008 de 2008-04-15 regula o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) [8], que exige que as instalações consumidoras intensivas de energia (consumo energético superior a 500 tep/ano) tenham um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn). Estes planos são elaborados com base em auditorias energéticas, que analisam as condições de utilização da energia, a concepção e o estado da instalação.

2.1.1 O RSECE

Os edifícios de serviços que não atinjam os 500 tep/ano, estão unicamente abrangidos pelo RSECE [5], que é muito menos exigente no que toca às limitações do consumo de energia. Para cumprir este regulamento, têm que ser analisados os parâmetros que se encontram na tabela seguinte:

Tabela 2.1- Sistemas/equipamentos dos edifícios de serviços e respectivos parâmetros a serem auditados no âmbito do RSECE [5].

Sistema/equipamento analisado	Parâmetro a verificar
Totalidade do edifício	Velocidade do ar interior
Auditorias à Qualidade do Ar Interior (QAI)	Renovação do ar e concentrações de substâncias poluentes
Todo o edifício	Consumo global específico de energia calculado através de auditorias energéticas (IEE)
Equipamentos de série dos sistemas de climatização	Certificados de conformidade
Equipamentos	Chapa de características e documentação técnica
Sistemas de climatização	Mecanismos de protecção
Instalações e equipamentos	Planos de manutenção preventiva e acessos para efeitos de manutenção
Sala das máquinas	Diagramas dos sistemas de climatização, cópia do projecto actualizado e instruções de operação e actuação em emergência
Caldeiras e ar condicionado	Eficiência

De facto, os pequenos edifícios de serviços não têm limitações no consumo de energia (Artigo 9º), enquanto que os grandes edifícios de serviços estão obrigados a apresentar um Índice de Eficiência Energética (IEE) inferior a um determinado limite (Artigo 7º). O valor deste limite depende da tipologia e dimensão do edifício, bem como da actividade nele desenvolvida. Se este requisito não for cumprido, é obrigatória a elaboração de um Plano de Racionalização Energética (PRE) que apresente medidas para redução do consumo energético. A execução dessas medidas é obrigatória se apresentarem viabilidade económica aceitável.

Em relação à QAI, a situação é semelhante para todos os edifícios de serviços: se forem ultrapassadas as concentrações máximas definidas, é obrigatório preparar um plano de acções correctivas (Artigo 12º). Após a aplicação dessas acções, tem que ser realizada nova auditoria, que prove que todos os limites passaram a ser cumpridos.

A partir de 1 de Janeiro de 2009, e conforme legislado em [9], todos os edifícios de serviços vão estar abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE, Portaria nº 461/2007, de 2007-06-05) [6], e terão que

cumprir os requisitos do RSECE para que lhes seja atribuído o certificado de eficiência energética e a respectiva qualificação, calculada com base na performance energética do edifício.

2.1.2 O Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

Este decreto-lei veio substituir o Decreto-Lei nº58/82 de 1982-02-26 [10] e a grande alteração introduzida está no valor limite a partir do qual as instalações passam a estar abrangidas por este documento. O valor está agora fixado em 500 tep/ano de consumo de energia, enquanto que na anterior legislação se situava em 1000 tep/ano. Por esta razão, o número de instalações que têm que cumprir o Decreto-Lei nº 71/2008 [8] aumentou significativamente.

Embora esta legislação seja destinada à indústria, também poderá ser aplicada aos edifícios de serviços. A dúvida reside no facto de muitas empresas terem no mesmo edifício, pisos administrativos e pisos técnicos, como é o caso da PT Comunicações. Nestes casos, estamos perante edifícios de serviços, onde se produz ao mesmo tempo o negócio da empresa. Por esta razão, este decreto-lei tem também que ser considerado quando se está perante requisitos energéticos em edifícios de serviços.

O prazo máximo fixado para a realização das auditorias nas instalações abrangidas pelo SGCIE é de quatro meses após o registo, para as instalações com um consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano, e de um ano após o registo, se o consumo estiver entre os 500 e os 1000 tep/ano (Artigo 6º). Assim se percebe a urgência do dono do edifício em realizar a auditoria e em elaborar o Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn), ambos obrigatórios segundo o Decreto-Lei em análise.

O PREn tem que ser apresentado à ADENE e apresentar medidas que melhorem, em seis anos, a intensidade energética da instalação em questão. Para além desta redução obrigatória, têm também que ser implementadas nos primeiros três anos as medidas que tenham um período de retorno do investimento igual ou inferior a cinco anos para instalações com consumo anual de energia superior a 1000 tep e igual ou inferior a três anos, para as restantes (Artigo 7º).

Assim que o PREn é aprovado, passa a denominar-se ARCE (Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia - Artigo 8º). Outra grande alteração introduzida por este Decreto-Lei está no ressarcimento de parte dos custos que o operador da instalação teve com a auditoria energética obrigatória e de parte dos investimentos realizados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos (Artigo 12º).

Os pontos a avaliar nas auditorias realizadas no âmbito do SGCIE deverão sair brevemente em portaria, e devem incidir sobre as condições de utilização da energia e a concepção e o estado das instalações (Artigo 6º). Como tal, a execução das mesmas ainda se rege pela anterior legislação (Decreto-Lei nº58/82 de 1982-02-26, e Portaria n.º 359/82, de 1982-04-07):

Tabela 2.2 - Sistemas/equipamentos dos edifícios de serviços e respectivos parâmetros a serem auditados no âmbito do RGCE [10].

Sistema/equipamento analisado	Parâmetro a verificar
Equipamentos de combustão e grupos electrogéneos	Controlo da combustão e medida dos rendimentos energéticos
Instalações de transporte e distribuição de energia	Verificação do estado
Aparelhos de controlo e equipamento de conversão e de utilização de energia	Verificação da existência e do bom funcionamento
Balanços energéticos	Global da instalação e da conversão de energia
Consumos específicos de energia	Determinação por tipo de produto

2.2 Preço da Energia

Segundo dados da DGEG e do INE [11], que podem ser visualizados na Figura 2.1 e na Tabela 2.3, o consumo de energia no sector dos serviços em Portugal tem vindo a aumentar de forma acentuada ao longo da última década, não só em valor absoluto mas também em peso relativo do consumo total de energia do país. A descida verificada no ano de 2006, deve-se exclusivamente à diminuição drástica do consumo de petróleo, tendo o consumo de electricidade, gás natural e entre outros aumentado.

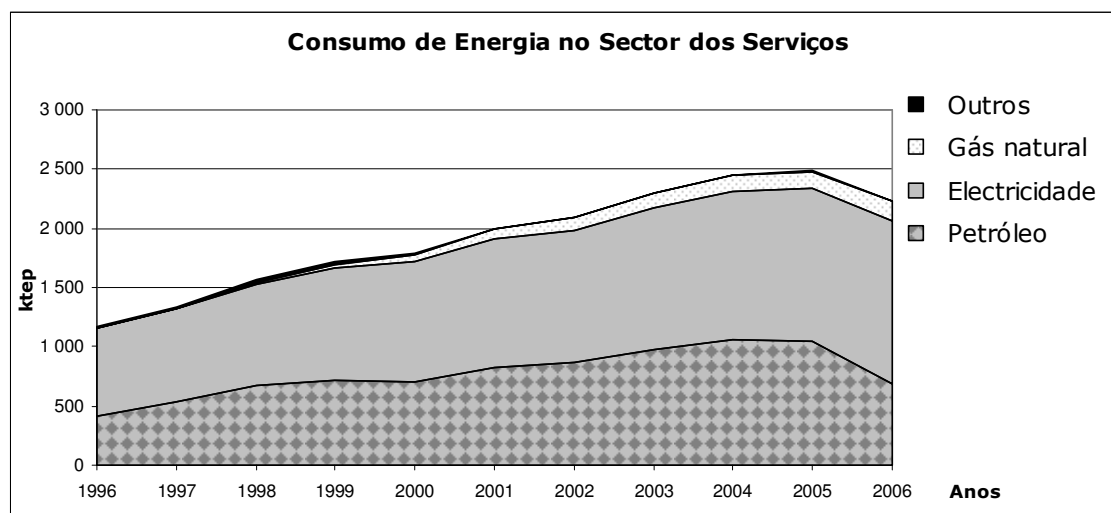


Figura 2.1- Consumo de energia do sector dos serviços na última década, em Portugal, por fonte de energia, segundo disponíveis em [11].

Tabela 2.3 - Dados do consumo do sector dos serviços em Portugal, na última década, segundo [11].

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
% do consumo de electricidade no consumo total dos serviços	59	55	55	57	54	54	52	51	52	62
% do consumo de petróleo no consumo total dos serviços	40	43	42	39	41	41	42	43	42	31
% do consumo dos serviços no consumo total do país	10	10	11	11	12	12	13	14	14	13

Pode também observar-se que a electricidade representa mais de metade do consumo total de energia dos serviços, e que a tendência é para um aumento do consumo desta forma de energia. Em seguida vem o petróleo, mas neste caso os dados revelam que o seu consumo tem vindo a diminuir nos últimos anos.

Analizando os preços unitários para a electricidade (€/MWh) entre 1999 e 2000, apresentados em [12], verifica-se que existiu uma diminuição entre 1999 e 2000, mas desde 2001 até 2006 o aumento do preço dos combustíveis tem vindo a reflectir-se nas tarifas reguladas. De tal forma que, entre 1999 e 2006, a parcela de Energia e Potência aumentou 57,2% (passou de 47,2 €/MWh para 74,2 €/MWh) e o preço médio unitário aumentou 31,0% (passou de 91,4 €/MWh para 119,7 €/MWh). Mesmo assim, o aumento deveria ser muito superior, se reflectisse o aumento de custos do sistema electroprodutor.

Embora seja difícil prever o aumento do preço do petróleo nos próximos anos, a sua dependência em relação à procura e ao investimento e política de um pequeno número de países do Médio Oriente que detêm as principais reservas de petróleo, leva a crer que o aumento será uma tendência que se vai verificar até 2030, conforme indicado em [13]. Embora o preço regulado da electricidade esteja indexado à inflação, conforme definido na legislação, o aumento do preço do petróleo vai certamente reflectir-se nas tarifas da energia eléctrica.

Estes factos levam a concluir que a tendência para os próximos anos é que os preços continuem a aumentar, e a uma taxa superior à actual. No sector liberalizado, os preços são ainda mais elevados que os preços no SEP, pelo que também não é uma alternativa para reduzir os custos com a electricidade.

Os dois factores apresentados (aumento do consumo de electricidade e aumento do preço), fazem com que os encargos das empresas com a electricidade tenham aumentado de forma dramática. A única forma de reduzir ou, pelo menos, manter o valor destes custos é através da redução do consumo, que também tem sido incentivada pela constante consciencialização ambiental.

2.3 Tecnologias de melhoria da eficiência energética

Segundo dados do *U.S. Department of Energy* de 1994 [14], a divisão do consumo de energia eléctrica de edifícios de serviços pelas diferentes áreas de utilização é feita, conforme a Figura 2.2:

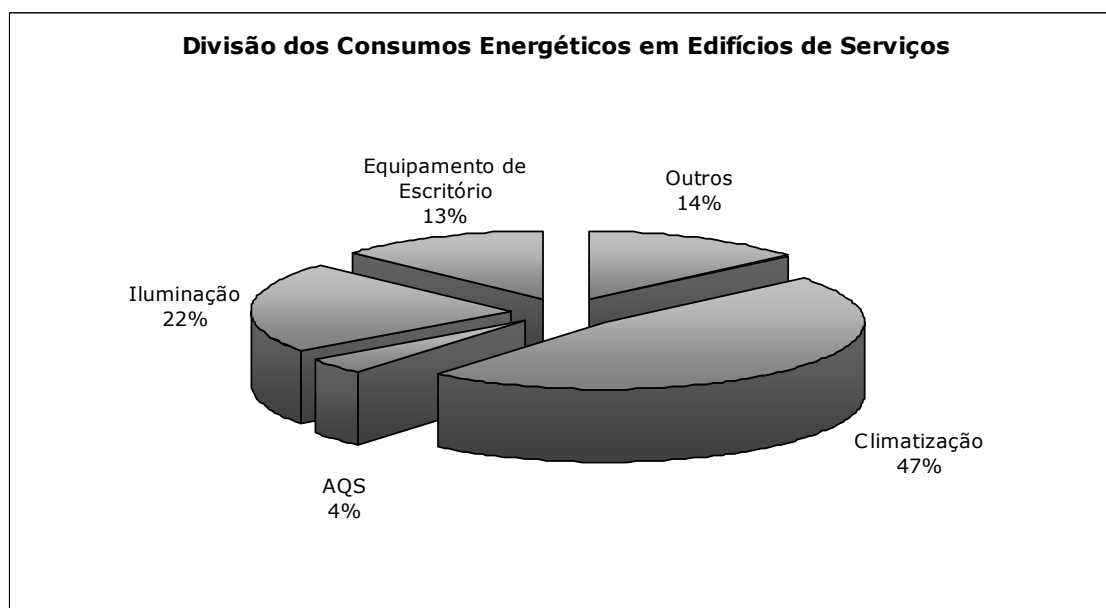


Figura 2.2 - Divisão do consumo de energia eléctrica de edifícios de serviços pelas áreas de utilização, segundo dados de [14].

Para se aumentar a eficiência energética destes edifícios, pode-se actuar sobre todos os sistemas indicados. Existem determinadas acções que são comuns a todos os sistemas, como por exemplo a manutenção, que permite aumentar o tempo de vida dos equipamentos e garantir que estão sempre a funcionar com a eficiência próxima da que é esperada para aquele tipo de equipamento. Cada equipamento tem uma rotina e periodicidade de manutenção diferentes, que geralmente são definidas pelo fabricante e executadas através de contratos de manutenção celebrados com prestadores de serviços.

Os actuais sistemas de gestão integrada permitem monitorizar o funcionamento e as rotinas de manutenção de todos os equipamentos, de forma a garantir que tudo funciona quando e como o gestor do edifício pretende.

A integração de sistemas de produção distribuída de energia nos edifícios de serviços, como sistemas de cogeração e painéis fotovoltaicos, ajuda também à poupança energética. Por um lado, diversificam-se as fontes de energia e reduzem-se as emissões de gases de efeito de estufa, por outro, constroem-se sistemas mais eficientes e que, nos casos das fontes de energia renovável, utilizam fontes primárias de energia que são gratuitas. Segundo dados da *GreenBuilding*, em [15], a cogeração permite obter uma redução de 10 a 25% no consumo de fonte primária de energia, quando comparado com a produção separada das mesmas quantidades de calor e electricidade.

Mesmo sem alterar o padrão de consumos ou fazer qualquer modificação nos sistemas consumidores de energia, é possível melhorar os sistemas energéticos dos edifícios de serviços através da correcta e equilibrada distribuição das cargas pelas três fases. Desta forma, tem-se menores perdas nos equipamentos, optimização da utilização e ainda maior segurança da instalação.

De seguida, vão ser apresentadas algumas considerações sobre os sectores de consumo representados na Figura 2.2, referindo-se para cada um deles as tecnologias que podem existir e as alterações que se podem efectuar com vista à poupança de energia.

2.3.1 Iluminação

A iluminação representa cerca de um quinto da energia consumida num edifício de serviços e é provavelmente o sector que mais facilmente pode ser remodelado, pois implica poucos trabalhos e investimentos não muito avultados, ou seja, com pouco risco. Provavelmente por isso, a indústria associada à iluminação está constantemente a desenvolver novos produtos, sempre no sentido do melhoria da eficiência energética.

A iluminação tem três componentes fundamentais: lâmpadas, luminárias e sistemas de controlo. Actuando nestes três componentes, podem-se obter poupanças entre os 30 e os 50%, segundo dados da *GreenBuilding* em [16].

Lâmpadas

A grande maioria dos edifícios de serviços já não tem lâmpadas incandescentes, pois apresentam rendimentos luminosos muito baixos e um tempo de vida curto. Cerca de 95% da energia fornecida a estas lâmpadas é convertida em calor, o que vai ainda contribuir para o aumento da temperatura dos espaços, com consequente aumento de consumo na climatização. As lâmpadas incandescente apenas têm aplicação em locais onde a iluminação é intermitente, pois o seu tempo de vida não depende do número de acendimentos e apresenta baixo custo e fácil manutenção.

Estas lâmpadas foram substituídas na sua maioria por lâmpadas fluorescentes, que dissipam menos energia térmica, têm uma eficiência elevada e boa duração média de vida. A alteração é bastante fácil, já que as fluorescentes compactas substituem directamente as lâmpadas incandescentes, nos casquilhos existentes, com um consumo 80 % menor (ver [17]). Como desvantagens, alcançam 80% do fluxo luminoso 1 minuto depois de serem ligadas, a longevidade diminui muito com o aumento da frequência dos arranques e necessitam de balastro para funcionar, que também consome energia eléctrica.

Os novos balastros electrónicos fazem muito mais do que simplesmente permitir o funcionamento da lâmpada: melhoram a eficiência das lâmpadas e diminuem o efeito estroboscópico e de *flicker*. Embora sejam muito mais eficientes que os balastros ferromagnéticos (consomem menos 25% de energia eléctrica [16]), e o investimento seja rapidamente amortizado, a sua utilização ainda não está generalizada pois têm um custo inicial muito superior.

Dentro das lâmpadas fluorescentes tubulares, existem ainda vários tipos, sendo as mais comuns as T8, as T10 e, mais recentemente, as T5. A simples substituição de uma lâmpada T8 por uma lâmpada T5 gera poupanças energéticas na ordem dos 20% (ver [17]), mas essa alteração não é simples pois têm comprimentos e balastros diferentes. A rentabilidade económica fica, assim, posta em causa, pois é necessário alterar as armaduras e balastro ou colocar adaptadores de comprimento. Para além disso, manter os mesmo pontos de luz provoca fenómenos de encandeamento, pois a luminância das lâmpadas T5 é superior à das T8.

Existem outros tipos de lâmpadas ainda mais eficientes que as fluorescentes, mas cujas características só as tornam adequadas para determinadas aplicações:

Tabela 2.4 - Tipos de lâmpadas e principais características [17].

Tipo de Lâmpada	Vantagens	Utilização	Tempo de Vida (horas)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	Excelente reprodução de cores Baixo custo Fácil manutenção. Baixo rendimento luminoso Pouco duráveis Dissipam muita energia térmica	Onde a iluminação é intermitente	1000	10 a 15
Fluorescente	Eficiência elevada Boa duração média de vida 80% do fluxo luminoso 1 minuto depois de ser ligada Longevidade diminui com o aumento dos arranques Necessitam de balastro	Iluminação interior	7500 a 10000	Até 104
Incandescente de halogénio	Resiste a temperaturas elevadas Baixo rendimento luminoso Pouco duráveis	Onde é necessária luz intensa e bem direccionada (projectores)	2000 a 4000	17 a 22
Sódio de baixa pressão	Alta eficiência luminosa Variação da tensão influencia pouco o fluxo luminoso Radiação quase monocromática 5 a 10 minutos para atingir 80% do fluxo luminoso	Iluminação exterior	18000	80 a 140
Sódio de alta pressão	Alta eficiência luminosa Boa duração média de vida Baixo consumo de energia Elevada tensão para escorvar a descarga	Iluminação exterior	12000 a 18000	Até 130
Descarga de vapor metálico	Boa reprodução de cor Elevada eficiência	Parques de estacionamento	2500 a 14000	Até 100
LED	Elevada duração média de vida Elevados rendimentos Luz direccionável Não necessita manutenção Baixo fluxo luminoso por LED Preços elevados	Várias situações	50000 a 100000	Até 160

Na Tabela 2.4, figuram também as características dos LED's. Este novo tipo de iluminação tem uma duração de vida muito superior e um consumo muito menor (40% menos que fluorescentes e 80% menos que incandescentes), pois são dispositivos semicondutores que convertem electricidade em luz. Apresentam ainda a vantagem de não gerar praticamente calor, facto que leva a poupanças na climatização dos espaços.

Os LED's podem ser utilizados nas mais variadas aplicações, dada a sua flexibilidade e elevado número de cores possíveis. De facto, cada unidade de iluminação é composta por vários LED's, agrupados da forma mais conveniente, quer em disposição quer em número.

Relativamente às cores, existe ainda a possibilidade de associar um controlador aos LED's, que permite a alteração da cor com um padrão previamente programado.

Pelas características apresentadas, e dado que ainda é uma tecnologia muito cara, os LED's são actualmente bastante utilizados na iluminação decorativa interior e exterior e na sinalização rodoviária. A iluminação de espaços administrativos ainda não é vantajosa, dado o preço do investimento inicial, mas espera-se que a curto prazo esse preço diminua e seja compensado pela duração média de vida e a baixa necessidade de manutenção.

Luminárias

As luminárias são dispositivos que distribuem, filtram e/ou transformam a iluminação, e por isso têm bastante influência na eficiência da mesma.

Uma boa luminária melhora as condições visuais e proporciona adequada distribuição do fluxo luminoso. A reflexão é uma característica deste equipamento e pode chegar até cerca de 95%. Como facilmente se percebe, quanto maior for a reflexão, maior será a eficiência do sistema de iluminação e menor vai ser o número de pontos de luz necessários para garantir um determinado nível de iluminação. No entanto, é também necessário garantir o conforto visual dos ocupantes do espaço, e estes dois factores muitas vezes são opostos. Por isso, é necessário arranjar um ponto de equilíbrio entre quantidade de luz a reflectir e conforto visual.

A substituição das armaduras é geralmente complicada e cara, principalmente porque nos edifícios de serviços é frequente estar embutida em tecto falso. A alteração de reflectores antigos por sistemas reflectores de elevada reflexão é mais simples e produz resultados muito satisfatórios (poupança de 20 a 50% para manter o mesmo nível de iluminação, segundo dados da *GreenBuilding* [16]).

Sistemas de Controlo

Os sistemas de controlo regulam a operação da iluminação como resposta a um sinal exterior, originando redução do consumo de energia eléctrica ao ligar a iluminação apenas quando e na quantidade que é necessária:

- Horário - iluminação comandada por um relógio. As horas são definidas em função do horário de ocupação do espaço (por exemplo, horas do expediente em locais administrativos). Deve ser usado em locais com horários de ocupação bem definidos (por exemplos, salas administrativas). O controlo horário pode também ser feito por células crepusculares que implementam um horário de funcionamento de acordo com a luminosidade.
- Ocupação - o número de lâmpadas ligadas depende do número de pessoas que se encontra nesse espaço, obtido por sensores de ocupação ou de movimento. Deve ser aplicado em salas com ocupação imprevisível e muito variável.
- Gestão da iluminação - quando não é necessário estarem ligadas todas as lâmpadas, o sistema faz a rotatividade das lâmpadas acesas, de forma a que todas tenham um número de horas de funcionamento semelhante.
- Nível de iluminância constante - este tipo de controlo faz a integração com a luz natural, pois comanda o acendimento das lâmpadas de forma a que a iluminância do espaço seja constante, ou seja, se existir muita iluminação natural, é necessário

acender poucas lâmpadas, se a luz natural for fraca, acende um maior número de lâmpadas para compensar.

- Luz natural - o movimento das lâminas das persianas é comandado por causa externa (por exemplo, ângulo de incidência da luz). Desta forma, reduz-se o aquecimento, o encadeamento e o consumo de energia eléctrica. Mesmo que este sistema não seja automático, a simples existência de persianas comandadas manualmente origina poupanças significativas no consumo de energia eléctrica.
- Tempo - mantém a iluminação ligada por um período definido de tempo. Adequando para espaços em que as pessoas não estão muito tempo (por exemplo, casas de banho).

Os sistemas apresentados geram poupanças energéticas da ordem dos 30 a 50%, com períodos de *payback* tipicamente de 2 a 4 anos, de acordo com o indicado em [16].

A utilização de sistemas de gestão centralizada possibilita programações com periodicidade diária, semanal e/ou anual e em função da luz natural e das necessidades do espaço a iluminar. Esta gestão automática origina poupanças energéticas entre 35 e 55% e tem a grande vantagem de não necessitar da constante intervenção humana, sendo por isso de grande utilidade em edifícios de serviços de grandes dimensões.

Uma forma muito simples de ter eficiência energética na iluminação está na configuração dos circuitos eléctricos. Cada circuito eléctrico de iluminação deve conter um reduzido número de pontos de luz. Desta forma, é possível accionar um menor número de pontos de luz que permitem as adequadas condições aos seus utilizadores.

Incluem-se também neste ponto os *dimmers*, que são dispositivos que controlam a onda sinusoidal da corrente alternada num ponto variável, modulando a potência entregue à carga, e que por isso são um sistema de controlo local. Desta forma, poupa-se energia pois não está a ser sempre entregue a carga máxima e aumentam-se as horas de funcionamento da lâmpada, pois só está a receber o que necessita.

2.3.2 Equipamento de Escritório

Como pode ser visto na Figura 2.2, o equipamento de escritório é responsável por cerca de 13% do consumo de energia num edifício de serviços e por isso têm que ser implementadas medidas que aumentem a eficiência energética deste tipo de equipamentos. Podem ser atingidas poupanças da ordem dos 40 a 50% se forem tomadas as medidas adequadas, segundo a *GreenBuilding* em [18].

Os computadores merecem especial atenção, pois hoje em dia são a ferramenta de trabalho da maioria, se não da totalidade, das pessoas que trabalham em edifícios de serviços. A evolução ao nível do consumo energético tem sido enorme ao longo dos últimos anos, tanto nos *desktops* como nos portáteis.

Segundo o estudo [19], a potência dos *desktops* já está abaixo dos 150W, na maioria dos casos, e os monitores LCD têm potências da ordem dos 35 W. Contando com 8 horas de utilização em dias úteis e um preço de 10 centimos por kWh, chega-se a uma factura anual de 38,48 euros por computador de secretária em energia eléctrica.

Os portáteis têm consumos bastante mais baixos, da ordem dos 80 W. Assumindo os mesmos pressupostos, a factura anual de energia eléctrica é de 16,64 W.

Tendo em conta que um portátil é cerca de 200 euros mais caro que um desktop, já com monitor incluído, conclui-se que, embora os portáteis sejam menos consumidores, o período

de retorno é de 9 anos e por isso a vantagem económica da compra de portáteis para os colaboradores é duvidosa. Existem, no entanto, outras vantagens que aproximam cada vez mais as empresas a adoptar por este tipo de equipamento, e que se prendem com a necessidade de menor capacidade dos sistemas UPS (porque os portáteis têm bateria) e com a mobilidade dos colaboradores.

Qualquer que seja a opção, é necessário programar convenientemente o software de gestão de funcionamento do computador, de forma a que só esteja ligado quando está a ser utilizado.

Grande parte dos restantes equipamentos de escritório pode ser agrupada numa única máquina multifunções: fax, impressora, scanner e fotocopadora. Desta forma, aumenta-se a eficiência energética (até 50%), já que apenas existe uma máquina em *standby*, ao que se somam as poupanças originadas por apenas existir um contrato de manutenção e menor custo do equipamento.

Todo o equipamento pode ser ligado a *smart power strips*, que não são mais que dispositivos que desligam os equipamentos quando não está ninguém, através de um detector de presença.

Por fim, é importante garantir que as máquinas de *vending*, cujo número é cada vez maior nos edifícios de serviços, tenham sensores que permitam ligar e desligar em função da ocupação e/ou temperatura pré-definida.

2.3.3 Água Quente Sanitária (AQS)

Como se pode ver na Figura 2.2, a AQS é o sector representado que tem menor contributo no preenchimento do gráfico. Este facto não se deve à elevada eficiência destes sistemas, mas sim ao baixo consumo de AQS num edifício de serviços. No entanto, o seu sistema de produção não deve ser esquecido e devem ser adoptadas soluções eficientes.

Até recentemente, eram fundamentalmente três os tipos de equipamento que fazia a produção de AQS: caldeiras, esquentadores e bombas de calor. As caldeiras podem ser eléctricas ou a gás. Em termos de eficiência energética, as segundas são muito superiores, embora representem um maior investimento inicial. Os esquentadores têm a particularidade de apenas aquecerem a água quando esta é pedida, o que elimina as perdas de armazenamento. O grande inconveniente está, sem dúvida, na limitação do número de locais simultâneos que pode pedir AQS.

Nas bombas de calor, um motor acciona o compressor, que faz aumentar a pressão num evaporador, até que liquefaz no condensador. Este processo aquece o condensador e arrefece o evaporador. Embora seja um tipo de equipamento muito eficiente, têm um elevado custo inicial, problemas de fiabilidade e dificuldade de instalação.

Em alguns locais é feito o aproveitamento dos condensadores dos equipamentos frigoríficos para produzir AQS, contribuindo para um menor desperdício de energia, pois utiliza-se calor que já foi produzido, e evita-se utilizar mais energia no aquecimento da água.

Mais recentemente apareceu o solar térmico, em que o calor da radiação solar é transferido para a água através de painéis, que podem ser facilmente colocados nos telhados dos edifícios de serviços. Esta solução utiliza uma fonte de energia renovável e gratuita: o sol. Obtêm-se assim importantes poupanças económicas no final do ano. A limitação desta solução está na distância entre o colector e o local de armazenamento, que deve ser curta. A

instalação deste sistema é, inclusivamente, obrigatória nos novos edifícios de serviços abrangidos pelo RSECE [5].

Podem ser usados alguns equipamentos auxiliares para aumentar a eficiência energética dos sistemas de AQS, desde a produção ao consumo, dos quais se destacam as válvulas termostáticas (que limitam e regulam a AQS) e os reguladores eléctricos de velocidade para os motores que accionam as bombas (optimizam o funcionamento dos motores).

As perdas são outro ponto de preocupação, já que na maior parte dos sistemas (excepto no caso dos esquentadores), a AQS é produzida e armazenada de forma a estar sempre disponível, e só posteriormente é utilizada. Uma boa forma de reduzir estas perdas é através do isolamento de todo o sistema de produção de AQS (cerca de 10 a 15% de poupança, segundo indicado em [20]) ou então da redução da temperatura de armazenamento de água, que reduz as trocas de calor com o exterior pois a diferença de temperatura é menor. No entanto, é necessário que essa temperatura seja superior a 60°C para evitar o desenvolvimento de colónias de bactérias. A água a esta temperatura é misturada com água fria para se obter a temperatura desejada na sua utilização.

O melhoria da eficiência energética pode ser na transformação e/ou na utilização da energia, e a redução dos consumos contribui certamente para esta causa. O menor consumo de AQS reduz a necessidade de produção, que leva a um menor consumo de energia. Com este fim, podem ser colocados temporizadores nas torneiras ou limitadores de caudal, o que reduz em cerca de 15% o consumo de AQS [20]. Para monitorizar os resultados destas medidas, é importante instalar contadores.

2.3.4 Climatização

Os sistemas de climatização são, de facto, os que mais energia consomem num edifício de serviços, sendo responsáveis por quase metade desse consumo. São vários os factores que contribuem para que isto aconteça: a inércia térmica característica de um edifício de grandes dimensões, a grande quantidade de pessoas que neles trabalham, a dissipação de calor da iluminação e dos equipamentos de escritório. Os factores apresentados comprovam também que grande parte do consumo seja para arrefecimento, já que a maioria das causas provoca o aquecimento dos espaços.

Ao nível da climatização, a grande diferença entre os grandes e os pequenos edifícios de serviços está essencialmente no facto de os primeiros terem um sistema de climatização centralizado (com produção centralizada de frio e calor, que depois são distribuídos pelo edifício), enquanto que os segundos têm unidades individuais onde são necessários.

Produção centralizada de frio e calor

Uma das formas mais comuns de fazer climatização centralizada é através da produção primária de frio (através de *chillers*, por exemplo) e quente (caldeiras). Existem ainda equipamentos que podem produzir frio ou calor, como algumas bombas de calor.

Os *chillers* são máquinas que retiram o calor de um líquido (tipicamente água), através de um compressor eléctrico (*chiller* de compressão) ou de uma máquina de absorção (*chiller* de absorção).

Para realizar esta função, um *chiller* tem dois circuitos de água: um deles transporta o calor das Unidades de Tratamento de Ar (circuito de água gelada), e transfere esse calor para o outro circuito de água (o circuito de condensação), que leva o calor até às torres de arrefecimento.

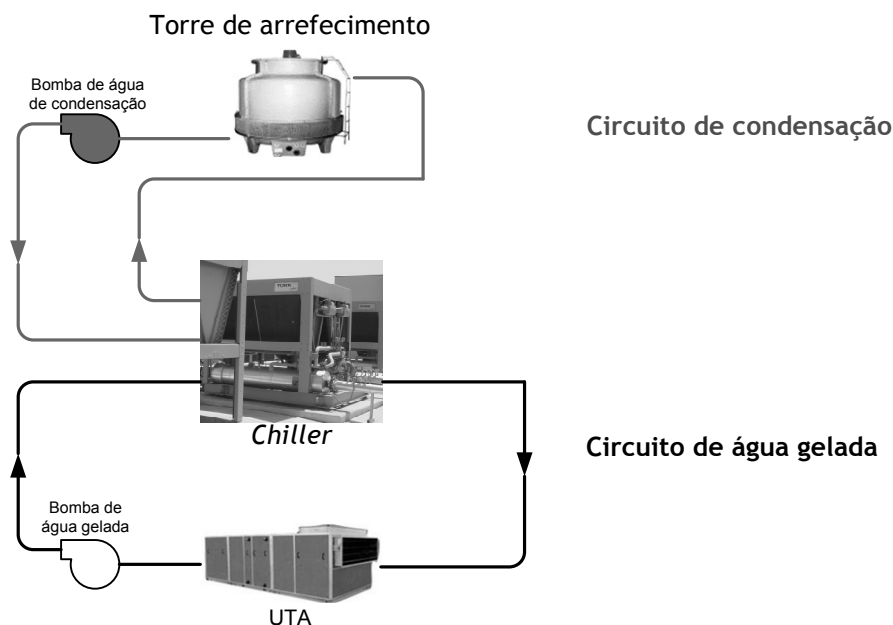


Figura 2.3 - Esquema de funcionamento de um sistema de climatização com *chiller* a água.

Os *chillers* de compressão arrefecem a água através da compressão do vapor, conseguida por um motor eléctrico. Embora este tipo de equipamento tenha elevada fiabilidade, o consumo de electricidade é muito elevado.

Os *chillers* de absorção não têm esta desvantagem, pois o compressor é termoquímico, que produz água gelada a partir de uma fonte de calor, mas são consideravelmente mais caros. O consumo de energia eléctrica deste *chiller* é cerca de 10% do consumo de um *chiller* de compressão mas o *Coeficient Of Performance* (COP) é menor (1,1 comparado com 6,0), segundo dados da CEEETA [21]. Para além disso, o rendimento decresce pouco quando não está à plena carga, são silenciosos e têm poucas partes móveis. Este tipo de *chillers* é ideal para aproveitar o calor produzido pela cogeração, que de outra forma seria desperdiçado.

Os *chillers* antigos têm consumos que chegam a ser o dobro dos *chillers* modernos (segundo dados da *E Source* [22]), os *chillers* centrífugos novos apresentam um EER da ordem dos 5,4). Por esta razão, é necessário avaliar as condições do *chiller* que está em funcionamento e equacionar a sua substituição.

Uma caldeira queima combustível fóssil (gás, fuel-óleo, madeira, ...) numa câmara de combustão. O calor gerado pela combustão, em presença de oxigénio, é transferido para a água num permutador de calor, que circula nos radiadores com a ajuda de bombas. Segundo dados da *EnergyStar* [23], a eficiência da combustão de caldeiras antigas é da ordem dos 65 a 75%, mas os actuais já apresentam valores próximos dos 95%.

Existem essencialmente três tipos de caldeiras: *standard*, de condensação e de baixa temperatura.

As caldeiras de condensação têm um rendimento superior pois, para além de aquecerem a água com o calor gerado na combustão, ainda recuperam calor através da condensação do vapor de água que se produz através de um permutador de calor desenvolvido propositadamente para trabalhar com condensados. As perdas são, assim, diminuídas devido aos dois locais de permuta de calor e são alcançados rendimentos superiores a 100 % [24].

Nas caldeiras de baixa temperatura, a água de alimentação entra na caldeira com uma temperatura inferior (abaixo dos 40°C, [25]), levando a que existam menos perdas na tubagem e por isso uma eficiência superior.

Nas caldeiras *standard*, a água entra com uma temperatura entre os 70°C e os 80°C e o calor permutado é apenas o calor dos gases gerados pela combustão. Como tal, a eficiência é inferior quando comparada com os outros dois tipos apresentados. A única vantagem deste tipo de caldeiras é o preço.

Uma bomba de calor é um sistema reversível que pode fornecer ar ou água frio ou quente a partir de fonte externa (ar ou água). No Inverno, a bomba de calor transfere o calor de uma fonte quente para o local a climatizar. No Verão, faz o contrário: transfere a temperatura do local a refrigerar para o exterior. Para transportar o calor, a bomba de calor tem que fornecer energia.

Existem dois tipos de bombas de calor: bombas de compressão e bombas de absorção, conforme indicado em [26]. As primeiras são constituído por um compressor, dois permutadores de calor (um condensador e um evaporador) e uma válvula de expansão. Um líquido refrigerante passa no evaporador, onde recebe o calor da fonte quente e evapora. Esse vapor entra no compressor, que aumenta a sua temperatura e pressão, e passa de seguida para o condensador, onde condensa e liberta calor. Na válvula de expansão, o fluido refrigerante volta às condições de temperatura e pressão do evaporador, onde entra novamente. Pode existir uma válvula que altera a direcção do fluido, e assim permite arrefecer ou aquecer o edifício.

Tal como nos *chillers*, as bombas de absorção não utilizam energia mecânica mas sim calor para fazer funcionar o ciclo. Neste tipo de bombas de calor, o compressor é bastante mais complexo: o vapor a baixa pressão, vindo do evaporador, é absorvido por um absorvente (normalmente brómio de lítio, se o fluido for água, ou água, se o fluido for amónia), gerando calor. Esta solução é bombada a alta pressão para um gerador, onde o fluido é queimado. O vapor é encaminhado para o condensador, e a partir deste ponto o processo é em tudo semelhante a uma bomba de compressão.

A eficiência energética de uma bomba de calor está directamente relacionada com o clima do local onde está instalada. A diferença de pressão tem que ser suficiente para que o fluido condense no lado quente (condensador) e evapore no lado frio (evaporador). Isto implica que quanto maior for a diferença de temperatura, maior vai ter que ser a diferença de pressão entre estes dois locais, e por isso maior vai ser a quantidade de energia necessária para comprimir o fluido. A eficiência energética é, por isso, maior em climas como o nosso, em que a diferença de temperatura não é muito elevada.

Essa eficiência é ligeiramente inferior a se existissem dois equipamentos em separado, mas a eficiência não é igual já que as partes comuns têm que possuir as propriedades adequadas para funcionar nos dois regimes.

Para além de serem mais amigas do ambiente que as caldeiras, porque emitem menos dióxido de carbono, os sistemas de bomba do calor são 3 a 5 vezes mais eficientes do que

caldeiras de combustível fóssil [24]. O calor extraído no Verão pode ainda ser utilizado para satisfazer a necessidade de aquecimento que esteja a ser necessária nesse momento, aumentando ainda mais a eficiência do sistema.

Como foi mencionado, tanto os *chillers* como as bombas de calor são sistemas centralizados, cujo funcionamento não tem que coincidir com as horas de utilização. Para que seja possível aproveitar a produção nas horas de vazio (em que a energia eléctrica é mais barata) para utilizar nas horas fora de vazio, é necessário armazenar a água, conservando a sua temperatura. Desta forma, também se reduz a potência que é necessário instalar pois a água acumulada pode servir para suprir a ponta.

No caso do armazenamento da água fria, isto é conseguido através de bancos de gelo, onde é armazenado o frio excedente produzido ao longo do dia. Esse frio pode ser utilizado de duas formas diferentes: os bancos de gelo asseguram as horas de pico, durante as quais o sistema de produção está desligado, ou os sistemas de produção de frio estão ligados todo o dia e são completados pelos bancos de gelo.

Distribuição da Produção Centralizada

Para que a água quente e fria cheguem a todos os espaços a climatizar, é necessária a existência de bombas. Estas bombas consomem energia, pelo que é necessário melhorar a sua eficiência. Para tal, existem duas medidas que se podem tomar: substituir bombas antigas por bombas novas (mais eficientes e devidamente dimensionadas) e colocar motores de velocidade variável (para ter máxima eficiência em qualquer regime de carga).



Figura 2.4 - Fotografia de bombas de circulação da marca *Wilo*, de um edifício da PT Comunicações.

A água é encaminhada para UTA's (Unidades de Tratamento de Ar) e ventiloconvectores, onde é utilizada para climatizar o ar. Para além disso, estes equipamentos asseguram também a limpeza e a humidade relativa do ar. Os ventiloconvectores e as UTA's são constituídos por ventiladores e serpentinas. O ventilador força o ar a passar pela serpentina, onde circula a água com a temperatura desejada. Desta forma, o ar é aquecido ou arrefecido. A diferença entre estes dois tipos de equipamento está na capacidade e na complexidade: as UTA's fazem o tratamento do ar de vários espaços, para onde é depois encaminhado,

enquanto que os ventiloconvectores estão mesmo nos locais a climatizar. As UTA's têm ainda equipamento para produzir calor e frio localmente.

Para fazer o ar frio e quente chegar às zonas a climatizar, é necessário a existência de ventiladores, que asseguram a circulação do ar e a pressão necessária, e condutas, que encaminham o ar para os locais pretendidos.

As condutas podem ter várias formas, sendo que as circulares são as mais eficientes. No entanto, como são mais caras e difíceis de adaptar e instalar, as condutas rectangulares são as mais utilizadas. Ambas devem ser isoladas, de forma a diminuir o máximo possível as trocas de temperatura com o ar que as circunda.

Os ventiladores representam entre 20% e 60% do consumo de energia para climatização, e 11% do consumo total de energia dos edifícios, segundo dados da *EnergyStar* [23]. O correcto dimensionamento dos ventiladores pode levar em alguns casos a uma poupança de 50% deste consumo. Os dois tipos de ventiladores mais utilizados são os ventiladores centrífugos e os ventiladores axiais. Embora estes últimos sejam mais eficientes, não são os mais utilizados porque os ventiladores centrífugos são mais económicos.

O ar pode circular nestes sistemas com um volume constante ou com um volume variável. No primeiro caso, que é o mais comum em edifícios de serviços, geralmente existem dois tubos, um onde circula o ar quente e outro onde circula o ar frio. Desta forma, o ar frio e o ar quente chegam aos espaços a climatizar, onde são combinados para se obterem as condições desejadas. Este sistema não é muito eficiente, já que são produzidos ar quente e ar frio e ambos têm que ser encaminhados separadamente para as zonas a climatizar. Em alternativa, o ar quente e frio podem ser misturados em grandes unidades e depois encaminhados por condutas e ventiladores.

Os sistemas de volume variável são muito mais eficientes pois adaptam-se às necessidades de cada momento, e que não são constantes ao longo do dia. Uma forma de poupar energia é precisamente transformar um sistema de volume constante num sistema de volume variável. A instalação de VSD's (*Variable Speed Drive*) proporciona em alguns casos uma poupança de energia da ordem dos 50%, segundo [23]. Estes componentes electrónicos variam a frequência da electricidade entregue ao motor em função das condições de operação, que por sua vez vê a sua velocidade variar.

O que foi mencionado anteriormente, é também aplicável às bombas de calor nos sistemas de distribuição de água.

A água pode ser encaminhada para pequenos tubos situados nas paredes, tecto ou chão e nesse caso temos um sistema radiante. Ao circular, a água vai absorver o calor (se for para refrigerar) ou libertar o calor (se for para aquecer) presente no ar que está em contacto com a superfície onde passam os tubos.

Estes sistemas reduzem o número de ventiladores necessários, porque a única função que têm de desempenhar é a de fazer a renovação do ar no interior da instalação. Como a água tem uma maior capacidade para armazenar calor e frio, é necessária uma menor quantidade de água para climatizar um espaço, quando comparado com um sistema que funciona com ar. Este factor contribui para que este sistema consiga ter a mesma capacidade de climatização com apenas 75% do consumo, quando comparado com sistemas que funcionam com ar [23]. Como desvantagem, têm custos e dificuldades de instalação muito superiores, pois em

edifícios existentes é necessário colocar o sistema de tubos em grandes áreas (paredes, tecto e/ou chão).

Produção distribuída de frio e calor

Este tipo de configuração é utilizado nos pequenos edifícios de serviços, onde as cargas térmicas são baixas, não se justificando o investimento, ou onde não existe espaço para colocar equipamentos de produção centralizada de frio e calor. A climatização é feita por unidades de menores dimensões, instaladas nos espaços a climatizar, que têm uma duração inferior e são menos eficientes.

A eficiência destes equipamentos é indicada através de um parâmetro denominado de EER (*Energy Efficiency Ratio*), e mede a quantidade de electricidade necessária para que o equipamento produza um determinado nível de climatização nas condições *standard* (indicadas pelo fabricante). Se a máquina faz frio e calor, então tem dois EER, um de aquecimento e um de arrefecimento:

$$EER_{\text{aquecimento / arrefecimento}} = \frac{P_{\text{aquecimento / arrefecimento}}}{P_{\text{eléctrica}}} \quad (2.1)$$

Na equação anterior, retirada de [27], $P_{\text{aquecimento/arrefecimento}}$ é a potência térmica (calor/frio) produzida e $P_{\text{eléctrica}}$ a potência eléctrica consumida para produzir a potência térmica. Quanto maior for o EER, mais eficiente é a máquina.

As Unidades Compactas são um tipo de equipamento que pode ser usado nesta função, e consistem numa unidade instalada directamente na área a climatizar ou no telhado. Através de condutas, o ar novo chega à unidade interior, onde vai arrefecer o condensador, que pode também estar localizado no exterior ou ser arrefecido a água. Alguns modelos podem ainda fazer calor, introduzir ar novo no edifício e/ou ter condensadores arrefecidos a água.



Figura 2.5 - Fotografia dos ventiladores de unidades compactas da *Liebert Hiross*, do edifício da PT Comunicações na Rua do Tenente Valadim, Porto.

A eficiência deste tipo de máquinas tem aumentado consideravelmente a longo dos anos, pelo que a simples troca de unidades mais antigas por mais recentes pode resultar em poupanças significativas. Para além disso, as novas unidades têm controladores incorporados,

que fazem a gestão do funcionamento em função de *setpoints* e períodos horários definidos pelo utilizador, e que aumentam ainda mais a eficiência da máquina.

A maioria dos fabricantes de unidade compactas e *splits* já comercializa máquinas que incorporam também a função de *freecooling*. Para isso, têm um *dumper* que se move de forma a que o ar insuflado seja o ar arrefecido mecanicamente ou ar exterior. Esta selecção é efectuada em função de determinados valores de *setpoint* definidos pelo utilizador para grandezas como temperaturas exterior e interior e humidade relativa. Desta forma, é possível parar o sistema de arrefecimento mecânico quando se verificam as condições adequadas (tipicamente temperatura exterior baixa) e ter só em funcionamento um ventilador que faz a entrada de ar novo.

Se num determinado espaço já existirem máquinas de frio mecânico, podem-se instalar máquinas que só fazem *freecooling*. Tal como no caso em que se têm os dois sistemas na mesma máquina, as condições adequadas do ar exterior permitem a paragem das unidades de frio mecânico, que são muito mais gastadoras em termos energéticos.

Os *splits* são equipamentos constituídos por duas unidades, uma interior (onde está o evaporador e o ventilador) e uma exterior (onde se situa o condensador e o compressor). Pode também fazer-se um sistema *multi-split*, em que uma unidade exterior está ligada a várias unidades interiores. Só podem fazer calor se forem do tipo bomba de calor, cujo funcionamento já foi analisado, caso contrário apenas fazem frio.

As unidades VRV (Volume de Refrigerante Variável) são uma evolução dos *splits*, que permitem maiores distâncias e maior número de unidades interiores e maior eficiência porque o refrigerante está em estado líquido. O volume do refrigerante é variado através de um compressor de velocidade variável ou de vários compressores de diferentes capacidade, em função da temperatura desejada.

O arrefecimento por evaporação é uma tecnologia cuja utilização é muito mais eficaz em climas secos, onde o ar tem maior capacidade de absorver humidade. Para arrefecer o ar, passa-se o ar seco por uma superfície molhada. Desta forma, a água transforma-se em vapor, baixando assim a temperatura do ar. Os equipamentos unitários baseados neste princípio consomem menos 70% de energia, segundo dados da *EnergyStar* [23].

Os sistemas de recuperação de calor são aqui descritos na secção da produção distribuída mas na verdade também podem ser usados como complemento de sistemas centralizados. Estes equipamentos não fazem mais do que transferir o calor libertado por outros sistemas para o aquecimento de água ou ar. Desta forma, pode-se aproveitar o calor que ia ser libertado para o exterior, poupando-se a energia que de outra forma teria que ser utilizada para produzir esse calor. Estes equipamentos podem ser montados em equipamentos existentes, aumentando assim a eficiência do sistema.

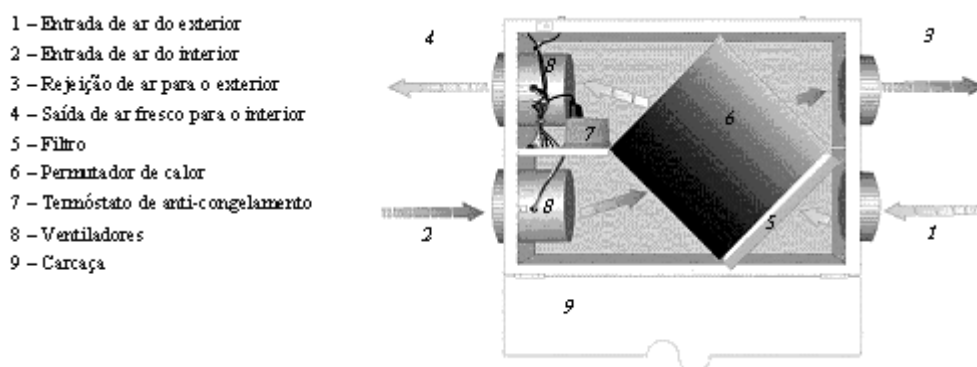


Figura 2.6 - Esquema de um sistema de recuperação de calor (fonte: site AREAM [28]).

Outras formas de poupar energia nos sistemas de climatização

Na Tabela 2.5, são apresentadas outras formas de poupar energia nos sistemas de climatização, que podem ser integrados nos sistemas existentes:

Tabela 2.5 - Outras formas de poupar energia nos sistemas de climatização [20],[27],[29],[30],[31],[32].

Equipamento/ Sistema	Ação	Vantagens	Poupança Energética
Envolvente térmica do edifício	Reabilitação e introdução de equipamentos que reduzem exposição solar	Reduz perdas e aumenta inércia térmica do edifício.	
Caldeira	Optimização da regulação em função da temperatura exterior	Optimiza o consumo eléctrico	Até 15%
Radiadores	Regulação Hidráulica	Optimiza o consumo eléctrico	Até 10 %
Todo o sistema de climatização	1 - Controlo horário e modo noite e semana 2 - Isolamento.	1-Optimiza o consumo eléctrico 2 - Reduz perdas	1 - Até 15% 2 - 3 a 5%
Termostatos programáveis	Electromecânicos (temperatura) Digitais (vários parâmetros) Em função da ocupação	Desligam climatização quando não é necessária	Depende de muitos factores
Bombas de água de climatização	Variador de frequência regulado por diferença de temperatura entre água de ida e retorno	Optimiza o consumo eléctrico	15%

2.3.5 Outros

Nestes 14% incluem-se todos os equipamentos e sistemas que consomem energia eléctrica e que ainda não foram considerados: electrodomésticos, elevadores, relógios de ponto, câmaras de videovigilância, entre outros.

Como cada um destes sistemas tem uma pequena contribuição no consumo final, qualquer alteração com vista à poupança energética não terá grandes efeitos na factura final. Por esta razão, este ponto não será explorado neste trabalho.

2.4 As ESCO

Mesmo nas grandes empresas detentoras de edifícios de serviços, não é usual nem economicamente viável existirem colaboradores com as qualificações necessárias para efectuar todo o processo legal descrito (peritos qualificados, técnicos credenciados, etc) e que dominem todas as tecnologias anteriormente apresentadas.

Como tal, os donos dos edifícios terão que contratar os serviços de uma empresa especializada nesta matéria, que trate de todos os procedimentos legais e apresente formas de poupar energia, que tornem o processo atractivo do ponto de visto económico, e que têm a designação de ESCO (*Energy Service Company*).

Com o aparecimento destas empresas, surgiram também vários tipos de contratos que podem ser celebrados, com o objectivo de captar mais clientes para este novo mercado.

2.4.1 Desenvolvimento de um Projecto

A actuação de uma ESCO começa pela realização de uma auditoria ou pelo estudo de uma auditoria existente, para saber quais as medidas que podem ser implementadas para aumentar a eficiência energética do edifício em questão e para poder quantificar as poupanças expectáveis. A implementação ou não dessas medidas vai depender da sua viabilidade técnica e económica e dos acordos conseguidos no processo de negociação entre a ESCO e o proprietário da instalação.

Dado que o aparecimento destas empresas é relativamente recente (está relacionado com o aumento dos preços da energia que se verificam desde a década de 90), e que a gestão de topo ainda é bastante céptica quanto ao retorno económico que se pode ter neste tipo de projectos, muitas vezes são as próprias ESCO que abordam as empresas detentoras de edifícios, propondo projectos e parcerias na partilha dos custos e dos lucros. Muitas vezes comprometem-se inclusivamente a suportar o investimento necessário, e depois serem remuneradas mediante as poupanças alcançadas, sendo remuneradas em função da poupança obtida partilhando o risco do investimento com o cliente, como vai ser discutido em 2.4.2.

Os serviços contratados a uma ESCO podem também incluir o acompanhamento da instalação após as medidas terem sido implementadas, para que sejam contabilizadas as poupanças reais.

2.4.2 Tipos de Contrato

Do ponto de vista financeiro, existem dois tipos de contrato que o operador de um edifício de serviços pode fazer com uma ESCO: contratos de desempenho (EPC - *Energy Performance Contracts*) e contratos que não dependem da performance pagando-se apenas um valor fixo pelo serviço.

Após a fase de auditoria existe uma fase de planeamento do EPC. Para esta fase é estabelecido um contrato de serviço em que se definem as informação de diagnóstico a utilizar ou elaborar e as correspondentes condições de utilização ou elaboração. O resultado da fase de planeamento dá origem ao contrato de EPC propriamente dito que dará origem à implementação acompanhamento das medidas de eficiência..

Tal como é referido por Alan Douglas Poole e Thomas H. Stoner, em [33], existem muitos outros pontos que têm que ser definidos nos contratos de eficiência energética, e que se prendem com os serviços contratados (por exemplo, a manutenção), a duração do contrato, a divisão das poupanças ao longo do tempo, o nível de monitorização dos resultados obtidos, etc.

Estes pontos não vão, no entanto, ser explorados neste documento, já que existe uma quase infinidade de possibilidades, e que dependem de vários factores. De facto, nestes casos não existem procedimentos *standard* e por isso não é possível apresentar os procedimentos habituais. Apenas vão ser apresentados os tipos de contratos que podem ser celebrados, e que no fundo têm um papel preponderante para a viabilidade de todo o processo, já que a questão económica é a que, na maioria dos casos, determina quais os projectos que uma empresa realiza.

Contratos EPC:

Neste caso, a ESCO contratada é remunerada em função das poupanças geradas pelos projectos por ela implementados, garantindo por isso uma determinada performance técnica do projecto.

Com o preço da energia a aumentar de forma preocupante e com o aumento de equipamentos consumidores de energia, facilmente se percebe que grande parte dos investimentos que podem ser feitos para aumentar a eficiência energética dos edifícios de serviços apresentam períodos de retorno relativamente baixo (cerca de 2 a 5 anos).

Sendo este um investimento atractivo do ponto de vista económico, a questão que se coloca é saber porque razão as empresas detentoras desses edifícios optam por contratar empresas especializadas nessa matéria e não pela realização dos projectos internamente, através da criação de departamentos especializados.

Tal como apresentado em [33], este facto tem duas explicações: por um lado, está a questão da previsão e responsabilização para com os resultados, e por outro a oportunidade de envolver financiamento externo.

O primeiro ponto deve-se essencialmente à pouca sensibilidade que a gestão de topo ainda tem sobre este assunto: é difícil convencer uma empresa a fazer investimentos na área da eficiência energética pois ainda não existe a noção de que esse investimento, se for bem feito, é economicamente vantajoso.

Através da celebração de um contrato com uma ESCO, o risco para a empresa contratante é substancialmente reduzido, pois a empresa contratada tem que se comprometer e trabalhar para atingir determinados resultados, quer técnicos quer económicos.

O financiamento externo surge também como resultado do contexto anteriormente apresentado: as empresas não têm disponibilidade financeira para fazer avultados investimentos em áreas que não fazem parte do seu negócio core. A melhor forma de realizarem este trabalhos é, por isso, recorrendo a financiadores externos, e depois partilhar os benefícios. Desta forma, a empresa contratante não tem custos nem risco no investimento.

Dentro deste tipo de contratos, os mais comuns são os **Contratos de Poupanças Garantidas** e os **Contratos de Economias Partilhadas**.

No primeiro caso, o contrato celebrado entre a ESCO e o cliente garante um determinado nível de poupanças energéticas, tendo em conta uma margem de segurança, mas quem faz o investimento é a empresa detentora do edifício. A ESCO fica, assim, com o risco de performance mas não assume o risco de reembolso ao cliente.

Nos Contratos de Economias Partilhadas, é a empresa contratada que assume o empréstimo. Aqui também existe um desempenho mínimo definido e a ESCO recebe uma percentagem das poupanças geradas durante um período de tempo definido ou até receber um determinado valor:

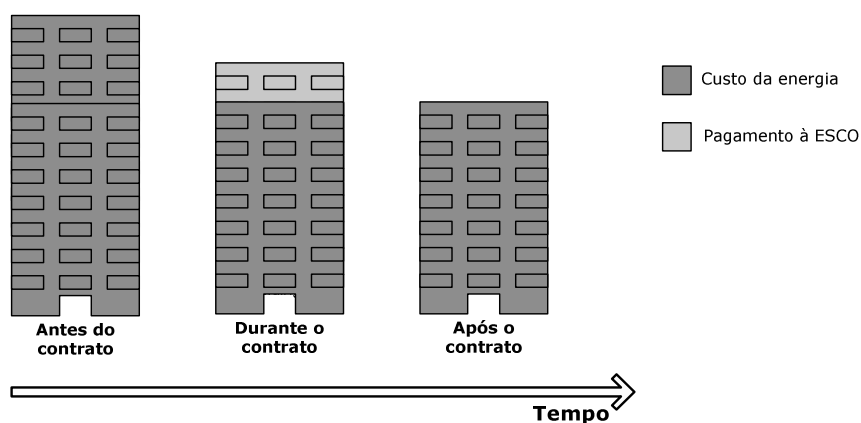


Figura 2.7 - Divisão das poupanças num contrato de performance do tipo Economias Partilhadas.

Este segundo tipo apresentado é provavelmente o mais atractivo, tanto para a empresa contratante como para a contratada: a primeira não tem qualquer risco, e sente-se mais segura por ter um compromisso económico por parte da ESCO, e a empresa contratada acrescenta o serviço financeiro à sua proposta, e por isso vai ter uma remuneração superior. O único problema desta situação, é que as ESCO, por serem empresas de pequena dimensão, dificilmente conseguem dar garantias financeiras para suportar grandes ou um elevado número de projectos.

Existem ainda outros dois tipos de contratos de performance, menos usuais: os contratos tipo “**Chauffage**”, em que a ESCO é completamente responsável pelos serviços acordados entre ambas as partes (aquecimento, iluminação, etc) e recebe de acordo com as poupanças geradas previstas, e os contratos tipo “**BOOT**” (**Build-Own-Operate-Transfer**), onde a ESCO assume a titularidade dos sistemas, transferindo-os para o cliente ao fim de um período de tempo definido.

Como facilmente se percebe, as economias previstas inicialmente e com base nas quais são definidos os contratos dependem das condições presentes no momento de elaboração do mesmo (tipo de actividade, quantidade de ocupação, etc...). Qualquer alteração que se venha a verificar nestas condições iniciais vai alterar as poupanças previstas e por isso influenciar a remuneração da ESCO.

Os contratos de performance incluem, assim, a realização de uma auditoria para identificar as alterações que se podem realizar e os respectivos resultados esperados, a implementação de, pelo menos, algumas medidas propostas, e mais algum tempo para se verificarem as poupanças e a ESCO ter a sua remuneração. Ou seja, estes contratos têm uma

duração bastante longa (tipicamente varia entre os 4 e os 10 anos) que pode constituir uma desvantagem pois retira a hipótese de recorrer a outras empresas que entretanto surjam no mercado, durante os anos de vigência do contrato.

Contratos de Fornecimento de Serviços:

A grande diferença entre este tipo de contratos e o anterior é que neste caso o preço a pagar à ESCO pelo projecto é definido à partida, assim que o mesmo é aceite pelo cliente. Se a ESCO realizar mais algum serviço, que não esteja incluído no contrato original, é paga por isso.

As duas grandes desvantagens deste tipo de contratos quando comparado com o anterior, são a falta de garantias na obtenção de resultados e o facto de a empresa contratante fazer todo o investimento, ou seja, a dona do edifício tem o risco de performance e o risco económico.

2.5 Os Métodos de Decisão

Nos dias de hoje, as empresas têm a tendência de colocar colaboradores de hierarquia cada vez mais baixos a tomarem decisões, nomeadamente no que se refere a adjudicação de trabalhos. Existem, por isso, vários decisores dentro de uma empresa. Quanto melhor forem as escolhas desses decisores, melhores serão os objectivos e os lucros atingidos pela empresa. No entanto, vários estudos mostram que a percentagem de escolhas acertadas está próxima dos 50% [34].

Mesmo o decisor mais experiente não consegue lidar com vários critérios em simultâneo, que ainda por cima frequentemente apontam em direcções opostas. Sem a utilização de métodos científicos que suportem as decisões, a probabilidade de não ser escolhida a melhor opção é muito maior.

Mesmo assim, e contando já com várias experiências negativas, muitas empresas continuam a apostar na sorte, sob o risco de causarem danos em múltiplos níveis e colocam mesmo em causa a viabilidade da empresa. Em [34], encontra-se uma passagem do livro *Complex Problem Solving*, da editora Sternberg and Frensch, em que Wagner afirma que:

“Mintzberg’s (1973) influential studies of what managers actually do, as opposed to what they are supposed to do, or what they say they do, provided unwelcome news to proponents of rational approaches to managerial problem solving. Mintzberg found that even successful managers rarely, if ever, employed rational approaches. Rather than following a step-by-step sequence from problem definition to problem solution, managers typically groped along with only vague impressions about the nature of the problems they were dealing with, and with little idea of what the ultimate solution would be until they found it (Mintzberg, Raisinghani, and Theorel, 1976). Isenberg (1984) reached a similar conclusion in his analysis of how senior managers solve problems. The senior managers he studied did not follow the rational model of first defining problems, next assessing possible causes, and only then taking action to solve the problem. Instead they worked from general overriding concerns, and they worked simultaneously at a number of problems.”

Embora este excerto seja de 1991 e se baseie em dados obtidos alguns anos antes, a verdade é que foram feitos muitos progressos na área dos métodos de decisão, principalmente devido à ajuda computacional, mas a aplicação destes métodos nas empresas continuar a estar bastante aquém do que seria desejável. O presidente da MCDC (*International Society on Multiple Criteria Decision Making*), Jyrki Wallenius, afirma inclusivamente, na revista da organização de Março de 2008:

“We should be proud of our accomplishments in theory and methodological development, the development of computer-based support systems, and the modelling of preferences. We have been less successful in promoting good practical applications, although there are wonderful exceptions.” [35]

De facto, o desenvolvimento da programação computacional dos métodos de decisão veio trazer uma capacidade muito maior de lidar com vários atributos em simultâneo e de permitir modelar os problemas com uma complexidade superior.

Esta evolução permitiu também que aparecessem diferentes métodos de decisão com múltiplos atributos ([36],[37],[38]), conforme o formato do modelo (linear, não linear, etc), as características do espaço de decisão (finito ou infinito) ou o processo de decisão pretendido (métodos interactivos, preferências especificadas, etc).

Para além das vantagens já indicadas, os métodos de decisão permitem ainda a análise de um maior número de alternativas, uma melhor compreensão do processo, uma resposta rápida a alterações nas propostas, poupanças económicas e de tempo e ainda uma melhor utilização da informação disponível.

Os métodos de decisão envolvendo múltiplos atributos têm como objectivo ajudar o decisor a fazer uma escolha dentro de um leque de alternativas definidas. Para encontrar a melhor alternativa, o processo de decisão usa as informações disponíveis sobre as alternativas, que podem ser objectivas (dados numéricos concretos) ou subjectivas (dependentes da interpretação). Também a incerteza pode ou não ser um factor importante e determinante na escolha da melhor opção. Estas variáveis fazem com que exista uma grande diversidade de métodos, dentro desta categoria.

Qualquer que seja o método de decisão, existem três conceitos fundamentais, conforme indicado em [39]:

Objectivos - o que se pretende atingir com a realização do trabalho. Pode ser, por exemplo, instalar um equipamento, que desempenhe determinadas funções, ou garantir que os edifícios cumpram as leis em vigor.

Atributos - parâmetros que, em conjunto, descrevem o problema na sua totalidade e que vão servir para avaliar e comparar as alternativas.

Metas - direcção da preferência de cada objectivo, ou seja, indica se o decisor quer maximizar ou minimizar um determinado atributo.

O primeiro passo é definir os objectivos que o decisor pretende atingir. Para isso, são encontrados os atributos relevantes para a escolha e as metas respectivas, e cada proposta é avaliada nesses atributos. Por fim, é definida a fórmula para agrupar todas essas avaliações, para se chegar à alternativa mais satisfatória no conjunto global.

A quantidade de atributos a definir depende muito do problema que se está a analisar. Quanto maior for o número de atributos, mais pormenorizada será a descrição do problema mas também maior será a complexidade da resolução. É por isso necessário encontrar um compromisso entre estas duas vertentes. Uma das formas de identificar se um determinado

atributo é relevante para o processo, é pedir ao decisor para avaliar se uma variação nesse mesmo atributo alteraria a sua escolha. Em caso afirmativo, esse atributo deve ser incluído no problema.

Por último, é necessário definir se uma pior performance de uma alternativa num determinado atributo pode ser compensada por uma performance melhor noutro atributo (*tradeoff*). Em caso negativo, o modelo a aplicar será não compensatório: cada atributo vale por si só, e por isso as comparações são feitas atributo a atributo. Como exemplos deste tipo de modelos temos o Maximin, Maximax e Dominância, que são muito simples, mas raramente representam de forma correcta a realidade.

No caso de serem permitidos *tradeoff*, é necessário utilizar um modelo compensatório. Dentro desta categoria, existem vários métodos, que diferem na forma como encontram o valor que vai caracterizar cada alternativa. Os modelos de pontuação (soma ponderada, *hierarchical additive weighting*) seleccionam a alternativa com maior pontuação, e por isso o problema está em encontrar a função que permite obter esse valor. Os modelos de compromisso seleccionam a alternativa que está mais próxima da situação ideal (Topsis, Linmap, etc). Por fim, os modelos de concordância (método de permuta, ELECTRE) encontram uma série de *rankings*, e depois é feita a escolha com bases nesses *rankings*.

Como se pode ver, existe uma variedade muito grande de métodos de decisão envolvendo múltiplos atributos. Todos eles conduzem a resultados fiáveis, desde que seja escolhido o método acertado para as características do problema em questão.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Esquema Geral

Entre o lançamento do concurso e a adjudicação dos trabalhos de melhoria da eficiência energética de um edifício de serviços, é necessário passar por várias fases, para garantir que a proposta ou propostas aceites são as que melhor satisfazem o objectivo pretendido pelo decisor.

Na Figura 3.1, está representada a estrutura proposta neste documento e que vai ser analisada em pormenor. São indicados dois caminhos distintos, que apenas têm em comum o lançamento do concurso para realização das auditorias e a recepção e avaliação das propostas: realizar apenas esse concurso, e escolher a mesma empresa para realizar a auditoria e os projectos de aumento de eficiência energética, ou realizar um primeiro concurso para escolha das empresas que vão realizar auditorias e posteriormente escolher a empresa ou empresas que vão realizar os planos de eficiência energética com base nos relatórios elaborados.

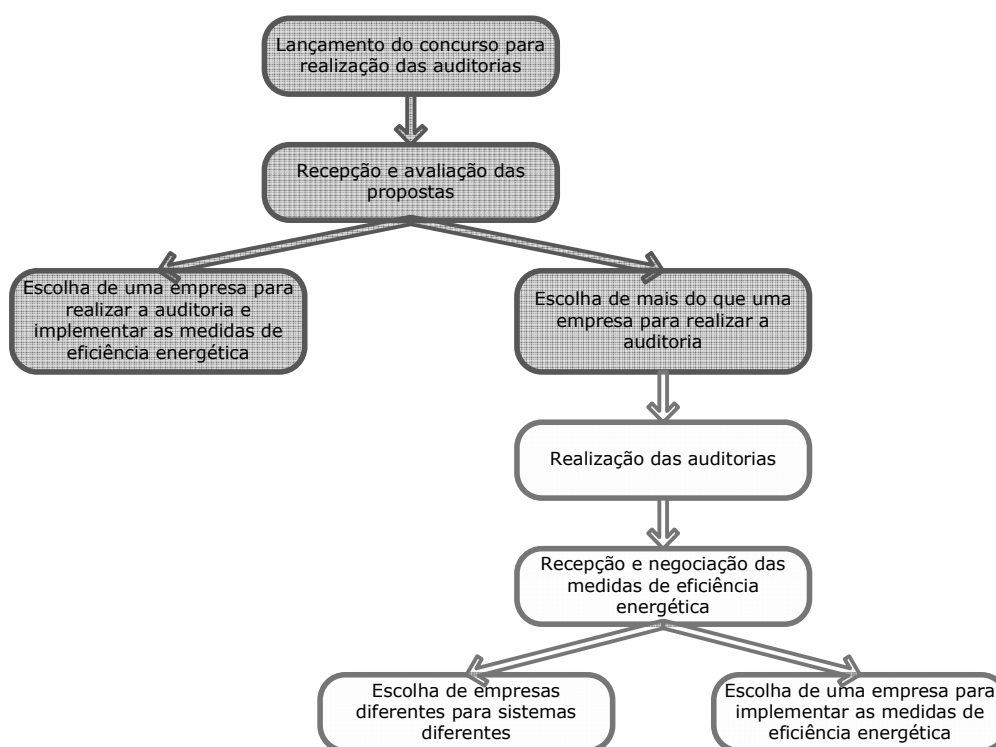


Figura 3.1 - Estrutura a seguir para a realização de contratos de eficiência energética.

Por razões que serão apresentadas posteriormente, as empresas proprietárias dos grandes edifícios de serviços têm urgência em realizar as auditorias, mas pode ser encarada de uma forma mais pensada na fase de implementação de medidas de racionalização dos consumos. Esta é a razão principal para muitas vezes optarem pela realização de um único concurso.

No entanto, a realização de dois concursos traz algumas vantagens importantes, ao nível do aumento de soluções para melhoria da eficiência energética e da negociação das medidas a implementar.

Os dois caminhos são, por isso, válidos e com vantagens e desvantagens, que fazem com a melhor escolha dependa da situação particular de cada instalação. De seguida, são apresentados em pormenor os dois tipos de actuação.

3.1.1 Um único concurso, uma única empresa

A grande vantagem deste procedimento é o facto de o cliente apenas organizar um concurso, fazer uma escolha e pagar à empresa pela auditoria. A realização das medidas propostas no relatório da auditoria não está incluída neste contrato, e só posteriormente é que o cliente decide se vai ou não implementar as medidas propostas por esta empresa.

Obviamente que esta opção apresenta algumas desvantagens relativamente à situação de realizar dois concursos sequenciais, nomeadamente:

- propostas apresentadas pouco detalhadas pois as empresas ainda não tiveram verdadeiro contacto com a realidade do edifício;
- poupanças possíveis ainda não definidas;
- não é possível comparar soluções de melhoria da eficiência energética, tanto em termos de preço como de tecnologias e poupanças energéticas, pois não são apresentadas nestas propostas;
- poder negocial do cliente relativamente às soluções a implementar é inferior, pois nessa fase terá apenas uma proposta para a solução, da empresa a que foi adjudicada a auditoria.

Embora neste tipo de actuação não se façam auditorias preliminares, será de todo o interesse promover uma visita ao edifício em questão junto das empresas convidadas a apresentar proposta. Neste caso, a primeira desvantagem é atenuada, mas continua a existir, pois só um conhecimento aprofundado permite a definição correcta de medidas de melhoria da eficiência energética.

De facto, tal como já foi referido, esta via é muitas vezes adoptada pelas empresas contratantes, pois interessa-lhes garantir o cumprimento da legislação em vigor, que obriga à existência de plano de redução do consumo energético, mas é pouco exigente em termos de reduções efectivas. Ou seja, através das auditorias são identificados os potenciais elos de



Figura 3.2 - Estrutura a seguir quando é feito um concurso.

poupança e verificadas as condições mínimas para a certificação dos edifícios, ficando para segundo plano a efectiva aplicação das melhorias propostas.

3.1.2 Dois concursos, várias empresas

Neste tipo de processo, existem duas fases distintas, que começam com concursos diferentes lançados pelo cliente: um para escolha das empresas que vão realizar as auditorias e outro para escolha da ou das empresas que vão realizar os projectos de melhoria da eficiência energética.

Escolha das empresas que vão realizar as auditorias

Esta fase inicia-se com o lançamento do concurso por parte do cliente, tal como na subsecção 3.1.1. De facto, este concurso é em tudo semelhante ao já apresentado, com a diferença de que, neste caso, vão ser escolhidas mais do que uma empresa para realizar as auditorias.

O cliente tem toda a vantagem em tentar obter cerca de cinco ou mais propostas, de forma a ter um bom leque de escolha, fazer uma comparação entre elas, e adjudicar a três empresas. É com base na análise

das propostas e na negociação com as empresas concorrentes que vão ser escolhidas aquelas que irão realizar as auditorias e apresentar propostas de melhorias da eficiência energética.

Visto que vão ser escolhidas várias empresas para realizar o mesmo trabalho, é importante definir bem a relação entre o preço que o decisor está disposto a pagar e a profundidade das auditorias. Ou seja, é importante que as auditorias sejam completas, para que as medidas propostas sejam acertadas e eficazes, mas ao mesmo tempo é necessário garantir que isso não implique um custo excessivo, que inviabilize a realização dessas mesmas medidas

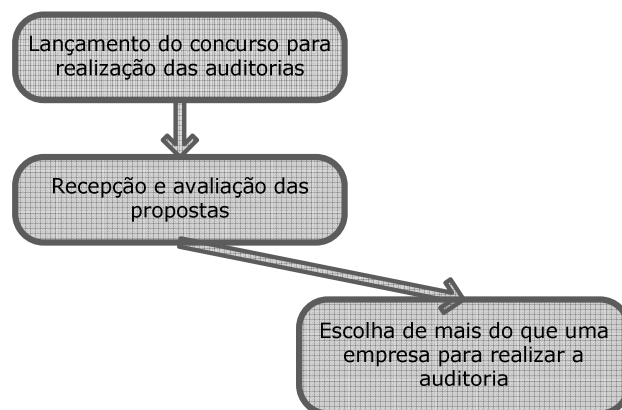


Figura 3.3 - Estrutura do primeiro concurso.

Realização das auditorias e elaboração dos relatórios

Após a adjudicação das auditorias energéticas, segue-se a realização das mesmas pelas empresas escolhidas. Os grandes objectivos são, de facto, verificar o cumprimento da legislação aplicável à instalação em questão e detectar as possibilidades de melhoria da eficiência energética.

O primeiro objectivo (que também é cumprido no caso em que apenas uma empresa realiza as auditorias) é atingido com a verificação de todos os pontos definidos na legislação e com a realização de relatórios, também obrigatórios por lei, que resumam as condições energéticas do edifício.

Os dois objectivos estão interligados, pois têm que ser propostas soluções para ultrapassar o que não estiver legalmente correcto. São assim apresentadas, por cada empresa, soluções a

implementar que aumentem a eficiência energética e permitam a certificação energética do edifício em causa.

Certamente que cada empresa vai apresentar medidas diferentes, mas o importante é ter a desagregação dessas medidas. Por outras palavras, cada concorrente vai apresentar um conjunto de medidas, em que deve ser explicitado claramente o investimento envolvido, o período de retorno e as vantagens de cada uma. Desta forma, o cliente pode negociar e escolher as que mais lhe interessam. Nesta fase, podem ser adoptados vários critérios para escolha dos projectos a implementar, e que vão desde o simples cumprimento da legislação (que define reduções anuais obrigatórias), até ao montante total a investir.



Figura 3.4 - Estrutura do segundo concurso.

Também nesta fase podem ser adoptados dois caminhos distintos: pode ser escolhida uma única empresa para implementar as medidas de melhoria da eficiência energética, ou podem ser escolhidas várias empresas, em que cada um implementa uma ou mais das medidas que propôs.

Não é objectivo deste trabalho aprofundar este segundo concurso. O que se pretende com este documento é definir um método para avaliar as propostas apresentadas no primeiro concurso, que é comum aos dois tipos de actuação apresentados. Esta fase reveste-se de particular importância por ser o ponto de partida de todo o trabalho e por ser aquela que vai sempre existir, seja qual for o *modo operandi* escolhido pelo cliente.

3.2 O Processo de Decisão: Metodologia Proposta

Como foi referido, é descrita neste trabalho uma metodologia que permite avaliar as propostas apresentadas em resposta a um concurso lançado para a realização de uma auditoria energética a um edifício de serviços.

Todo o processo começa, com a definição dos objectivos que se pretendem atingir com a realização deste tipo de trabalhos. Com base nestes objectivos, são identificados os conteúdos que devem figurar na Especificação Técnica do concurso, que é enviada para todas as empresas convidadas e/ou que se mostrem interessadas em apresentar proposta. Esta fase é muito importante, pois só uma especificação técnica objectiva e completa, permite a apresentação de propostas com toda a informação necessária à sua avaliação e comparação.

De facto, a avaliação das propostas é efectuada através da definição de atributos facilmente quantificáveis e cujo grau de subjectividade associado seja o mais baixo possível.

Esses atributos são definidos com base nos objectivos e nos requisitos da especificação técnica.

A escolha da melhor proposta deve ser obtida através da comparação de todas as alternativas, em que cada alternativa é caracterizada pela performance numa série de atributos. Estamos, assim, perante um problema de decisão envolvendo múltiplos atributos.

Antes de se escolher o método de avaliação a aplicar, é necessário caracterizar bem o problema em questão. Em primeiro lugar, a modelização utilizada tem que traduzir a diferença de peso que cada atributo pode ter na decisão final. Não é aceitável, por exemplo, que a calendarização tenha tanta influência na avaliação como a qualidade técnica da proposta.

O modelo utilizado tem também que permitir a compensação de um pior desempenho num atributo, com um desempenho superior noutro. Ou seja, tem que ser um modelo compensatório, em que são permitidos *tradeoffs*, através da modelização matemática da equivalência que se pode atingir entre duas propostas, variando dois parâmetros em sentidos opostos.

Destas considerações iniciais, conclui-se que o método de decisão que melhor se enquadra neste problema é a soma ponderada. Na subsecção 3.2.3, é comprovada a validade de alguns axiomas que permitem certificar que este método é aplicável ao problema em questão.

O processo de decisão é facilitado e mais correcto se as propostas a concurso apresentarem as características dos atributos de forma dissociada.

Ainda antes de analisar as propostas, é necessário elaborar todo o processo de avaliação, que passa pela definição dos métodos utilizados para determinar as performances dos atributos definidos e pelo cálculo dos pesos de cada atributo.

Com base nos pesos definidos e nas propostas apresentadas, é calculada a avaliação de cada proposta e elaborado um *ranking*, em que a ou as mais pontuadas serão as empresas a contratar.

O desenvolvimento de uma expressão matemática para obter o *ranking* das propostas, obriga a pensar no problema e desagregá-lo em problemas mais pequenos de forma a traduzi-los em expressões matemáticas. Outra vantagem desta abordagem reside no facto de fazer pensar nas diferentes opções que é necessário tomar e mesmo descobrir certos erros que de outra forma não eram perceptíveis.

Os resultados analíticos assim obtidos e que suportam a decisão a tomar, são muito importantes numa empresa, que tem uma estrutura hierárquica, pois ajudam a fundamentar e a justificar a opção junto da gestão de topo e mesmo a identificar os pontos das propostas que devem ser negociados com as empresas melhor classificadas.

De seguida apresentam-se todas as etapas deste processo de decisão.

3.2.1 Objectivos

Na realização de auditorias energéticas, existem dois grandes objectivos: aumentar a eficiência energética e cumprir a legislação. No fundo, o primeiro é uma consequência do segundo: a legislação obriga à realização de auditorias e à definição de planos de redução de consumos na maioria dos casos.

Como já foi mencionado no Capítulo 2, uma auditoria que pretenda cumprir os dois objectivos tem que ser bastante mais profunda que uma que apenas tenha o objectivo cumprir a legislação. Neste caso, para além de serem inspeccionados todos os pontos

obrigatórios segundo a legislação aplicável ao edifício em questão, existem em muitos casos potenciais de poupança em medidas para lá da obrigatoriedade. Na verdade, a obrigatoriedade deve corresponder a um nível de eficiência de base, e o seu aprofundamento um acto voluntário.

3.2.2 Especificação Técnica

A Especificação Técnica é entregue às empresas que vão entrar no concurso e tem duas funções fundamentais: descrever os trabalhos a realizar e garantir que as propostas estejam dentro do que se pretende para serem facilmente comparáveis.

Conforme referido no ponto anterior, os objectivos pretendidos são decisivos na definição do detalhe das auditorias. Por esta razão, é absolutamente necessário explicitar os **Objectivos** que se pretendem atingir.

O **Âmbito do Programa de Trabalhos** deve também figurar neste documento. Isto porque, conforme indicado no Capítulo 2, realizar uma auditoria para cumprir o regulamento aplicável a um edifício de serviços consumidor intensivo de energia é um trabalho muito mais profundo e detalhado do que num edifício de serviços com consumo energético anual inferior a 500 tep/ano. Este ponto consiste assim na apresentação da instalação em questão e na sua caracterização sumária, que permita definir claramente a legislação aplicável.

De seguida, devem ser claramente definidos os **Trabalhos a Realizar**, se possível por pontos e divididos pela área de actuação a que dizem respeito. Recorrendo a um exemplo prático, se o que está em concurso é a realização de uma auditoria a um edifício de serviços em que se aplicam o RSECE [5] e o Decreto-Lei nº71/2008 de 2008-04-15 [8], deve ser indicado qual o Decreto-Lei que obriga a cada trabalho. Estes pontos estão indicados no Capítulo 2, onde a Legislação é apresentada em pormenor.

Deve também ser pedido às empresas que apresentem o **Plano de Trabalhos** acompanhado da **Calendarização**, em que devem ser claramente definidas as tarefas e os prazos de cada fase. Esta exigência prende-se não só com a necessidade de planejar os trabalhos no edifício em termos de acessos e acompanhamento por parte do cliente, mas também para que o cliente possa controlar a duração dos trabalhos, de forma a evitar que seja mais longa que o desejável e que sejam cumpridos os compromissos legais.

Na especificação técnica, deve ser indicada a duração máxima de todos os trabalhos, de forma a que as propostas sejam apresentadas dentro do pretendido pelo cliente.

A qualidade dos trabalhos depende da qualidade da equipa técnica e da experiência de quem os vier a realizar. Por esta razão, é conveniente colocar como requisito a figurar na proposta, a **apresentação da empresa**, dados relativos a trabalhos anteriores semelhantes e os **currículos** dos elementos que vão constituir a equipa de trabalho.

Ainda dentro da equipa técnica, é de todo o interesse saber se é constituída por **técnicos credenciados** em auditorias e **por peritos qualificados do SCE**, já para a certificação do edifício é obrigatória a existência destes dois elementos.

Deve ser claramente deixada em aberto a possibilidade de a empresa concorrente identificar trabalhos opcionais (extra) e respectiva valorização.

Por fim, o cliente deverá comprometer-se a **nomear um responsável**, que ficará encarregue de fornecer todos os dados necessários às empresas auditoras e que na fase posterior (já na fase de certificação do edifício em questão e implementação das medidas de eficiência energética) terá a responsabilidade de representar a empresa neste assunto junto

de entidades externas (DGEG, ERSE, ADENE, ...), esclarecer dúvidas, entregar a documentação pedida por estas entidades e propor superiormente e implementar as medidas de eficiência energética que apresentem viabilidade económica.

O preço obviamente figurará nas propostas apresentadas, mas convém sempre referir na especificação técnica que deve ser acompanhado do plano de pagamentos que o concorrente propõe.

Para tornar todo o processo de escolha das empresas claro e transparente, deve ser indicado o peso que cada atributo da proposta terá na sua avaliação final. Desta forma, garante-se também que os atributos que se vão avaliar estão claramente definidos nas propostas.

3.2.3 Axiomas

Para garantir que a soma ponderada conduz a uma análise correcta e vai permitir obter resultados fiáveis, é necessário confirmar a validade de cinco axiomas, conforme referido por Paul Goodwin e George Wright, em [40]:

1. Não existe incerteza no problema, ou pelo menos não é uma das preocupações da análise;
2. Transitividade - se o decisor prefere A a B e B a C, então tem que preferir A a C;
3. Adição (*summation*) - se o decisor prefere A a B e B a C, então a preferência de A em relação a C é mais forte que as primeiras;
4. Solvabilidade (*solvability*) - os parâmetros que são quantificados numericamente podem ser descritos por funções contínuas (ou seja, não existem restrições de valores entre os limites superior e inferior);
5. Limites finitos para os atributos - não existe nenhuma proposta tão boa nem nenhuma tão má que justifique a atribuição de mais ou menos infinito em qualquer dos parâmetros.

Conforme se vai poder constatar ao longo do desenvolvimento do método, todos estes pressupostos são verificados, pelo que se confirma a validade da aplicação da soma ponderada como método de decisão para escolha das melhores propostas.

3.2.4 Identificação dos atributos a considerar na avaliação das propostas

A performance das propostas vai ser medida com base nos atributos definidos. Por esta razão, é necessário encontrar aqueles que melhor traduzem o problema e o caracterizam de forma completa, para posteriormente os traduzir numa escala numérica.

A forma mais fácil e sistemática de definir estes atributos é, segundo [40], através de uma árvore de valor. No topo da árvore, vão estar localizadas as maiores preocupações do decisor. São então identificados os atributos que permitem quantificar cada proposta no que concerne à preocupação correspondente, até se chegar a um nível que permita uma fácil avaliação das alternativas. A formulação da árvore de valor é um etapa difícil e que muitas vezes ocupa a maior parte do tempo distendido na resolução de problemas deste tipo.

Para encontrar estes atributos, é necessário recorrer à Especificação Técnica, e ver quais os requisitos que aí são indicados como relevantes e obrigatórios.

A primeira divisão faz-se em Custos e Benefícios.

O custo vai ser avaliado pelo preço que cada proposta apresenta, conjugando o preço inicial com o preço a pagar ao longo dos anos de contrato, caso existam pagamentos periódicos a efectuar.

Os benefícios obtidos pela empresa contratante vão depender essencialmente de três critérios, como foi visto na subsecção 3.2.2: a Proposta Técnica, os Recursos e as Mais Valias que a empresa se propõe a realizar.

Quanto à proposta técnica, que é sem dúvida o ponto mais importante, a avaliação deve ser completa, precisa e, tanto quanto possível, objectiva.

Como foi referido, a especificação técnica tem que definir claramente quais são os trabalhos que têm que ser efectuados. O atributo Pontos Obrigatórios avalia o grau de cumprimento de cada proposta em relação a esses trabalhos.

Embora a avaliação do cumprimento dos requisitos seja um dado importante, não é suficiente. Isto porque uma proposta que se limita a copiar textualmente o que figura na especificação técnica não tem obviamente a mesma avaliação da proposta técnica, pois não refere de que forma vai proceder para cumprir esses requisitos. É por isso necessário introduzir mais um atributo, que, embora tenha um grau de subjectividade associado mais elevado, vai estabelecer a diferença na avaliação da qualidade técnica da proposta ao avaliar a explicitação dos trabalhos a realizar.

Por sua vez, os recursos são caracterizados pela calendarização das actividades, pela qualidade da equipa técnica e pela própria empresa, ou seja, pela experiência que a empresa tem na área. A avaliação da equipa técnica pode ser feita através de três parâmetros: a existência de peritos do SCE, de técnicos credenciados e a qualidade dos currículos das pessoas que vão realizar as auditorias e os relatórios. A necessidade de inserir estes atributos na avaliação foi já clarificada no ponto anterior.

Os trabalhos indicados nas propostas que não façam parte das especificações do concurso, são avaliados no parâmetro Mais Valias.

Procede-se à construção da árvore, que é usada para a escolha das melhores propostas:

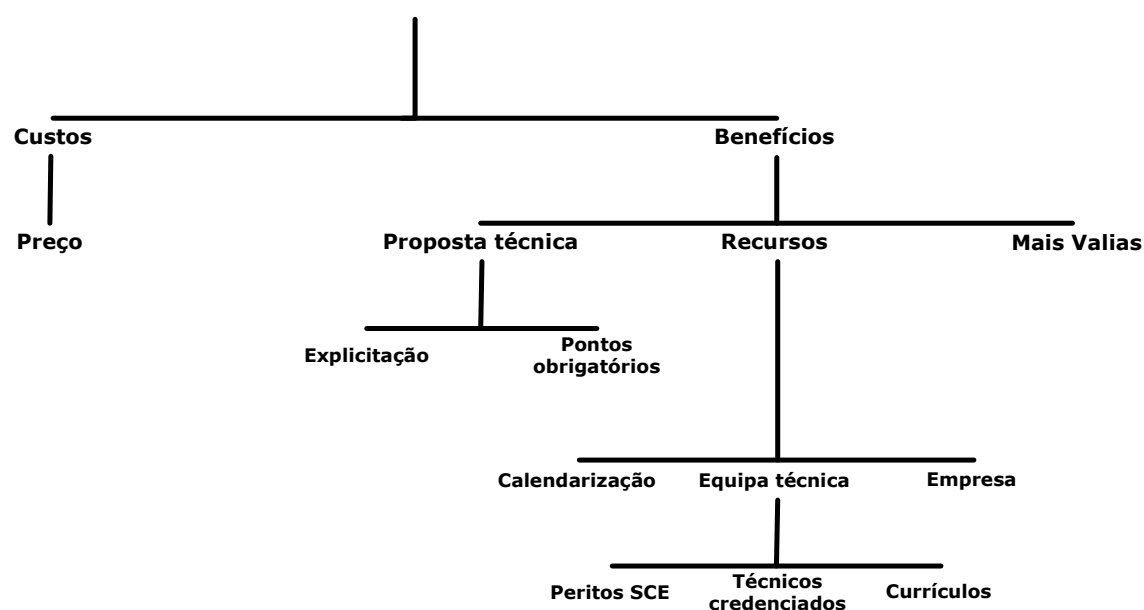


Figura 3.5 – Árvore para avaliação das propostas.

Segundo [40], para se ter a certeza que a árvore descreve o problema na totalidade e conduz a resultados fiáveis, têm que se verificar cinco condições:

- os atributos definem completamente as preocupações do decisor;
- os atributos de mais baixo nível são suficientemente específicos para que o decisor possa facilmente atribuir um valor a cada proposta;
- a performance de uma proposta num atributo é independente das performances nos outros parâmetros (decomposição);
- não existe redundância entre diferentes atributos. O não cumprimento deste critério leva a que o peso desse atributo apareça a dobrar na avaliação final.
- a árvore tem o mínimo de atributos que permitem uma completa descrição do problema, de forma a não tornar a análise morosa e mesmo impossível.

Visto que se verificam todas estas características, pode-se afirmar que a árvore descreve o problema na sua totalidade e conduzirá a resultados fiáveis.

3.2.5 Determinação dos Desempenhos dos Atributos para cada Proposta

Existem dois tipos de atributos:

- Atributos quantitativos - representados numericamente (por exemplo, o preço);
- Atributos qualitativos - cuja caracterização não é numérica (por exemplo, a Explicitação).

Cada atributo é ainda definido por unidades diferentes. Este facto implica que é necessário fazer a avaliação de cada um em escalas normalizadas, de forma a permitir o cálculo da avaliação final de cada proposta.

É, por isso, necessário proceder de forma diferente para o primeiro e para o segundo grupos de atributos e ainda fazer a conversão para escalas normalizadas, para encontrar a performance de cada um na avaliação final de cada proposta. No primeiro caso, utilizam-se Funções de Valor e no segundo Avaliação Directa.

Todos os valores de referência devem ser definidos sem ter em conta o que é apresentado nas propostas, ou seja, baseado apenas no que o decisor considera ser o melhor, o médio e o pior que podem ser apresentados para cada atributo. Desta forma, garante-se que o valor encontrado para a avaliação final de cada proposta permite encontrar não só a melhor proposta, mas também quantificar o afastamento entre a melhor proposta apresentada e o que seria a proposta ideal (com uma avaliação de 100).

Pode-se chegar à conclusão que nenhuma proposta justifica a adjudicação do trabalho, como de resto deve estar previsto no caderno de encargos. Esta imposição na escolha dos valores de referência implica também que a avaliação não é afectada pelo número de proposta, pelo que se podem incluir posteriormente mais propostas sem que isso altere a avaliação já obtida.

Funções de Valor

No grupo de atributos são avaliados seguindo esta metodologia, incluem-se:

- Preço;
- Pontos obrigatórios;
- Calendarização;

- Mais valias.

O processo seguido é semelhante nos quatro casos: para cada atributo, são definidos os valores que fazem com que uma proposta tenha as avaliações máxima (100) e mínima (0) com respeito a esse atributo.

Todas as funções de valor aqui definidas são lineares, o que simplifica a obtenção das curvas e a análise. A sustentar esta decisão, está o facto de ser indiferente para o utilizador uma mesma variação de um destes atributo perto da avaliação mínima ou da avaliação máxima: uma diferença de 1000 euros entre duas propostas é igualmente quantificado na avaliação quer os preços sejam elevados quer sejam baixos. O mesmo se passa nos pontos obrigatórios e nas mais valias (todos os pontos obrigatórios e todas as mais valias têm o mesmo peso), e na calendarização, em que uma diferença de um dia, seja a mais ou a menos, da duração preferida é igualmente penalizante, quer se trate de dias a mais ou a menos e quer esteja muito afastado dessa duração preferida ou muito próximo.

De qualquer forma, não se perde a validade do método já que a incerteza associada à avaliação é superior aos erros que possam ser cometidos numa aproximação linear.

Avaliação do Preço

Em primeiro lugar, é necessário encontrar a gama de preços que o cliente está disposto a pagar pelos serviços descritos no caderno de encargos. Esta gama de preço tem, obviamente, que estar relacionada com as poupanças na factura energética que o cliente pensa obter com o trabalho a realizar.

Para isso, um bom ponto de partida é a factura anual de electricidade: o decisor apenas tem que indicar o valor desta factura e a percentagem da mesma que espera poupar com a realização dos trabalhos que pretende adjudicar.

Transpondo este valor para o ano zero, apenas falta definir qual a percentagem de poupanças esperadas que o cliente está disposto a pagar à empresa para a realização dos trabalhos em causa. Claro que o ideal seria não pagar nada, ou seja, a avaliação 100 corresponde a uma proposta que tenha um preço zero. No outro extremo, tem-se a percentagem máxima que o cliente está disposto a pagar pelo serviço.

O Valor Actualizado Líquido do Máximo (VAL_{max}) que o decisor está disposto a pagar pelo serviço é calculado de acordo com a expressão de actualização de rendas, já que a poupança anual (V_{poupa}) funciona como uma renda ao longo dos n anos, que vai ficar a render a uma, taxa de juro real anual i .

$$VAL_{max} = V_{poupa} \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \quad (3.1)$$

Desta forma, obtêm-se os pontos que definem a função de valor $v_p(x)$ que relaciona o preço (x) com a avaliação desse atributo, que é uma recta, de acordo com os pressupostos apresentados:

$$v_p(x) = \frac{100 - 0}{0 - VAL_{max}} x + 100 \quad (3.2)$$

Os preços propostos são obtidos por uma expressão semelhante à apresentada para o cálculo do VAL da poupança esperada, mas neste caso a renda corresponde ao valor a pagar

pelo acompanhamento ($V_{p/ano}$) em cada um dos n anos, valor ao qual é somado o preço a pagar no ano zero (V_0):

$$VAL_{pagamento} = V_{p/ano} \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} + V_0 \quad (3.3)$$

Os valores obtidos são introduzidos na equação (3.2) encontrando-se a avaliação de cada proposta relativamente ao preço.

Avaliação dos Pontos Obrigatórios

Para se avaliarem os pontos obrigatórios, o decisor apenas tem que definir as actividades cuja realização considera fundamentais e indicar quais dessas actividades são indicadas em cada uma das propostas.

Cada um destes pontos tem igual importância na avaliação das propostas. Pode-se por isso afirmar que, para uma proposta ter uma avaliação de 100 neste atributo, terá que contemplar todos os pontos definidos como obrigatórios. Para ter uma avaliação de zero, não deverá propor a realização de nenhum dos pontos.

Tal como no preço, a função $v_{p0}(x)$ é uma recta. Para encontrar a avaliação de cada proposta, apenas é necessário transformar a escala, que tem como máximo o número total de pontos obrigatórios (N_{p0}), numa escala de 0 a 100:

$$v_{p0}(x) = \frac{100 - 0}{N_{p0} - 0} x \quad (3.4)$$

Para encontrar a avaliação $v_{p0}(x)$ de cada proposta no atributo Pontos Obrigatórios, é necessário substituir na equação (3.4), a variável x pelo número de pontos obrigatórios apresentados por cada proposta.

Avaliação da Calendarização

A análise da calendarização revela-se bastante difícil, já que é complicado definir a duração ideal para cada tarefa e, portanto, qual a classificação a atribuir a cada proposta.

Neste caso, não é possível fazer como nos dois anteriores e definir a expressão da recta que dá a avaliação em função do atributo a avaliar. Isto porque não se pode penalizar da mesma forma uma diferença de uma semana quando a duração preferida é de duas semanas e quando é de dez. É por isso necessário tratar cada etapa individualmente, somar todas as avaliações de uma dada proposta e transformar o valor final numa escala de 0 a 100.

Como referido, as preferências do decisor devem ser elaboradas sem olhar para as propostas. Neste caso, ele tem que definir qual é, na sua opinião, a duração preferida para cada etapa e ainda a variação máxima admissível para essa duração, valor a partir do qual a avaliação será zero.

O afastamento em relação à duração preferida, para cada etapa, é igualmente penalizado quer se trate de um período maior (mais dias para se fazer, o que significa conclusão mais tardia de todo o processo e maior gasto de recursos) ou menor (trabalhos feitos à pressa ou não concluídos) de tempo. Temos assim não uma recta, mas duas com o mesmo valor absoluto do declive, mas com sentidos opostos, e com origem no mesmo ponto (que corresponde à duração preferida):

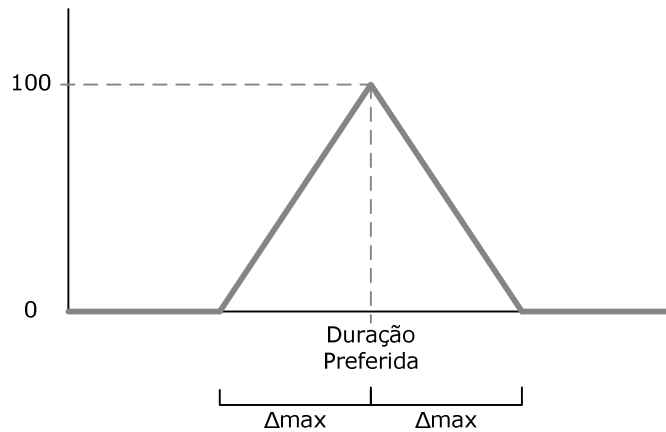


Figura 3.6 - Forma do gráfico que relaciona a duração com a avaliação desse atributo, para cada etapa.

Nos casos em que não seja indicada a duração da etapa, a avaliação a atribuir será zero.

Para facilitar a definição das expressões das duas rectas que permitem obter a avaliação em função da duração de cada etapa ($v_c(x)$), moveu-se a origem do eixo dos xx do gráfico anterior para a duração preferida. Desta forma temos:

$$v_c(x) = \frac{100}{\Delta_{\max}}(x - \text{duração}_{\text{pref}}) + 100, \text{ se } x < \text{duração}_{\text{pref}} \text{ e } |x - \text{duração}_{\text{pref}}| < \Delta_{\max} \quad (3.5)$$

$$v_c(x) = \frac{100}{\Delta_{\max}}(-x + \text{duração}_{\text{pref}}) + 100, \text{ se } x > \text{duração}_{\text{pref}} \text{ e } |x - \text{duração}_{\text{pref}}| < \Delta_{\max} \quad (3.6)$$

$$v_c(x) = 0, \text{ se } |x - \text{duração}_{\text{preferida}}| \geq \Delta_{\max} \text{ ou } x \text{ não definido} \quad (3.7)$$

A avaliação da proposta i no atributo calendarização, $v_{\text{cTOTAL}}(x)$, é obtida através da soma de todos os $v_c(x)$ dessa proposta e da sua divisão pelo número de etapas, de forma a obter uma avaliação em que o máximo da escala é 100:

$$v_{\text{cTOTAL}i}(x) = \frac{\sum v_c(x)}{5} \quad (3.8)$$

Avaliação das Mais Valias

Como referido, deve-se deixar em aberto a hipótese das empresas concorrentes sugerirem a realização de mais valias que pensem acrescentar valor ao trabalho a desenvolver. Essas mais valias podem ser obrigatórias segundo a legislação em vigor ou simplesmente contribuir de forma significativa no sentido dos objectivos definidos. Se o objectivo dos trabalhos for a certificação energética, obviamente que todos os pontos obrigatórios segundo os regulamentos devem fazer parte dos pontos obrigatórios da Especificação Técnica. No entanto, deixa-se aqui em aberto esta a possibilidade de as mais valias serem obrigatórias segundo os regulamentos, para os casos em que os objectivos sejam outros ou que tenha existido algum lapso no lançamento do concurso.

Para se chegar a um valor de avaliação deste atributo ($v_{MV}(x)$) é necessário conjugar todas as mais valias sugeridas num só valor. O peso a atribuir a cada opção (γ_i) pode ser definido pelo decisor, e certamente será superior para as mais valias que são obrigatórias segundo os regulamentos.

$$v_{MV}(x) = \sum_i \gamma_i, \text{ se mais valia } i \text{ está incluída na proposta} \quad (3.9)$$

Avaliação Directa

Como foi referido, este método vai permitir fazer a avaliação das propostas nos atributos que não são facilmente quantificáveis. São eles:

- Explicitação dos trabalhos a realizar;
- Peritos SCE;
- Técnicos credenciados;
- Currículos;
- Empresa.

Como se pode facilmente concluir, a avaliação destes parâmetros é bastante mais subjectiva, mesmo que se definam regras rigorosas para a sua quantificação.

Avaliação da explicitação dos trabalhos a realizar

Para se encontrar a avaliação neste atributo, foi definida a seguinte escala:

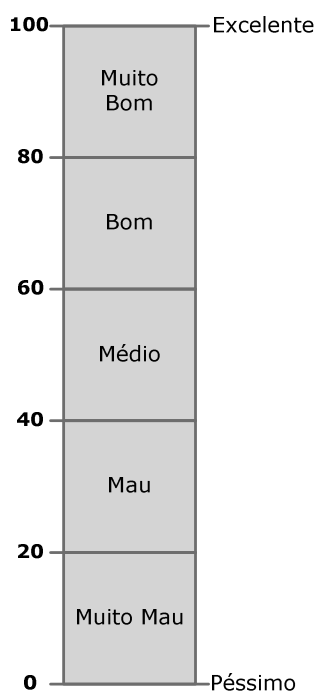


Figura 3.7 - Correspondência utilizada entre avaliação do decisor e valores numéricos.

Desta forma, o decisor apenas tem que dar a sua avaliação qualitativa de cada proposta, no que se refere à explicitação dos trabalhos a realizar, e é automaticamente atribuída a avaliação numérica correspondente. Como se tratam de intervalos, está definido por defeito que o valor a utilizar é o valor médio do intervalo correspondente, mas esta situação pode ser alterada pelo decisor.

A classificação deve ter por base a clareza e o detalhe na apresentação dos trabalhos a realizar.

Avaliação da equipa técnica e da empresa

Como se pode ver na árvore da Figura 3.5, a equipa técnica é avaliada com base em três parâmetros (técnicos credenciados, peritos SCE e currículos).

No caso da existência de técnicos credenciados e peritos SCE, apenas se tem a possibilidade de eles existirem ou não. Atribui-se por isso a pontuação 100 aos casos em que a presença de técnicos credenciados e peritos SCE é Sim e zero quando não existe informação ou a resposta é negativa (Não).

A avaliação dos currículos e da empresa é mais subjectiva. O que faz com que os currículos tenham uma boa avaliação é a experiência reconhecida na área e as habilitações da equipa. No que se refere à empresa, é valorizada se já tiver realizado trabalhos semelhantes e possuir boas referências no mercado.

A atribuição da pontuação para estes dois últimos parâmetros é feita de forma igual à da Explicitação dos Trabalhos, recorrendo à mesma escala.

3.2.6 Cálculo dos pesos dos atributos

Olhando novamente para a árvore da Figura 3.5, percebe-se que é mais simples e mais fiável dividir o cálculo dos pesos em vários problemas mais pequenos, em que cada um corresponde a um ramo da árvore. Este processo denomina-se *Hierarchical Weighting*, por oposição ao *Non-hierarchical Weighting*, que calcula simultaneamente todos os pesos de mais baixo nível.

Temos assim que realizar quatro análises comparativas:

1. Peritos SCE, técnicos credenciados e currículos;
2. Calendarização, equipa técnica e empresa;
3. Explicitação e pontos obrigatórios;
4. Preço, Proposta Técnica, Recursos e Mais Valias.

Depois de obtidos estes pesos parciais, podem-se calcular os pesos totais dos 9 atributos de mais baixo nível, que vão servir para o cálculo da avaliação final das propostas.

O método seguido aqui é o sugerido por Goodwin and Wright, em [40].

Para se calcularem os pesos parciais, é necessário especificar no mínimo para cada conjunto de n atributos, $n-1$ equivalências entre propostas, da forma:

$$\sum_{i=1}^n (v_i \times \lambda_i) = \sum_{i=1}^n (v'_i \times \lambda_i) \quad (3.10)$$

em que v_i e v'_i são avaliações de propostas em relação ao atributo i e, λ_i é o peso parcial relativo a esse mesmo atributo. Isto só é possível porque se admite que existem *tradeoff*, ou seja, que a variação de um atributo num determinado sentido, pode se compensada pela variação de um ou mais atributos em sentido oposto.

O decisor vai especificar equivalências entre propostas recorrendo às avaliações qualitativas da Figura 3.7 e que são traduzidos nos valores numéricos correspondentes. Numa primeira análise são utilizados os valores médios de cada intervalo.

Conjuntamente com a obrigatoriedade de a soma dos pesos ser 1:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.11)$$

tem-se n equações a n incógnitas, situação que torna possível o cálculo dos pesos parciais em questão.

Embora as n equações sejam suficientes para se encontrarem valores para os n pesos, é de todo desejável que se definam mais situações de igualdade entre propostas. Desta forma, os valores encontrados, embora continuem a ser subjectivos, vão se aproximar mais das opções do decisor.

Como vão existir mais equações que incógnitas, o objectivo é encontrar a solução que esteja mais próxima de satisfazer todas as condições. Neste caso, utilizou-se o método dos mínimos quadrados, ou seja, os pesos foram encontrados tendo como condição a minimização da soma dos quadrados das diferenças entre as funções dadas pelos pesos estimados e o valor das igualdades definidas pelo decisor.

As j igualdades definidas pelo decisor são dadas por equações da forma da equação (3.10), que podem rescritas na forma:

$$\sum_{i=1}^n (v_i \times \lambda_i) - \sum_{i=1}^n (v'_i \times \lambda_i) = 0 \quad (3.12)$$

Ou ainda:

$$\sum_{i=1}^n (v_i - v'_i) \times \lambda_i = 0 \quad (3.13)$$

Pode-se então dizer que o objectivo é encontrar os λ_i 's que permitam obter o valor mais próximo possível de zero nas j equações, ou seja, de forma a que

$$f(v_i) = \sum_{i=1}^n (v_i - v'_i) \times \lambda_i \approx 0 \quad (3.14)$$

Ou seja, o objectivo é:

$$\min \sum_{i=1}^j (0 - f(v_i))^2 \quad (3.15)$$

Em vez de utilizar o método dos mínimos quadrados, podia-se ter minimizado a soma das diferenças entre a função dada pelos pesos estimados e o valor das igualdades definidas pelo decisor.

A razão para se ter utilizado o método dos mínimos quadrados é explicada recorrendo ao significado gráfico da equação (3.15). Nesta equação, o valor entre parênteses é na verdade a distância que separa o valor estimado ($f(v_i)$), do valor que se pretende obter (zero). Se o objectivo fosse minimizar a soma destas distâncias, corria-se o risco de estar a minimizar muito mais umas parcelas o somatório que outras, pois todas as distâncias têm igual

importância. Por seu lado, o método dos mínimos quadrados tenta fazer com que estas diferenças sejam todas semelhantes. No fundo, o que se faz é minimizar o desvio padrão das distâncias.

Este objectivo é alcançado através dos quadrados das diferenças. De facto, se uma distância for menor que um, a distância ao quadrado será ainda mais pequena. Se a distância for grande, o valor ao quadrado vai ser ainda maior que os restantes. Desta forma, obtêm-se valores que tentam o mais possível minimizar e igualar todas as distâncias, mas reduzem mais as distâncias maiores.

3.2.7 Cálculo da avaliação final e escolha da melhor alternativa

Para se calcular a avaliação final de cada proposta, é necessário calcular os pesos de cada atributo de mais baixo nível na avaliação final, uma vez que apenas foram calculados os pesos parciais.

Para facilitar a compreensão, são apresentados na Figura 3.8 os pesos calculados e a fórmula de cálculo dos que faltam:

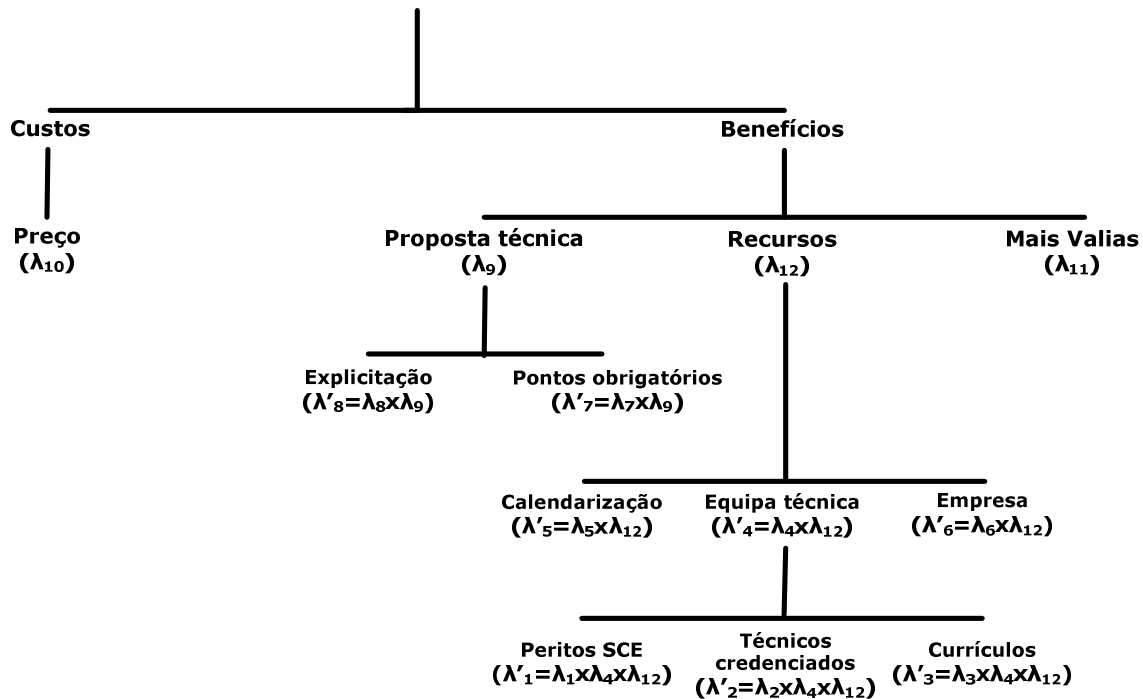


Figura 3.8 - Árvore de atributos utilizada na avaliação das propostas e respectivos pesos.

Com estes dados, pode-se agora calcular a avaliação final de cada proposta, através da expressão:

$$\begin{aligned}
 V_X = & \lambda_{10} \times v_{pX} + \lambda'_8 \times v_{expIX} + \lambda'_7 \times v_{POX} + \lambda_{11} \times v_{MVX} + \lambda'_5 \times v_{cX} + \lambda'_6 \times v_{empresaX} + \\
 & + \lambda'_1 \times v_{peritossceX} + \lambda'_2 \times v_{tecncredX} + \lambda'_3 \times v_{curriculosX}
 \end{aligned} \quad (3.16)$$

Pode-se finalmente construir um *ranking* das propostas, em que as melhores são as que têm maior avaliação. Tal como já foi referido, a pontuação de cada parcela reflecte não só a

diferença de valor entre elas mas também o afastamento em relação à proposta ideal e que teria uma avaliação de 100. O decisor pode decidir que nenhuma proposta satisfaz os seus requisitos mínimos e não adjudicar a nenhuma empresa.

3.2.8 Análise de Sensibilidades

Como foi visto ao longo do desenvolvimento do método, existem algumas fontes de erro que não podem ser eliminadas e que estão relacionadas com a subjectividade da avaliação dos atributos qualitativos e com a definição das igualdades entre propostas para o cálculo dos pesos.

Por esta razão, é necessário realizar uma análise de sensibilidades e verificar a robustez da solução encontrada.

Realizar uma análise de sensibilidade para cada um dos nove atributos de mais baixo nível seria trabalhoso e em termos de conclusões não traria muitos benefícios, já que muitos destes parâmetros têm um peso tão baixo que certamente não influenciam o resultado da avaliação. Optou-se por isso por realizar apenas para os quatros atributos de mais alto nível.

A análise consiste na representação gráfica da variação das avaliações das propostas em função do peso do atributo em causa, quando este varia entre zero e um, conforme indicado por Goodwin e Wright. Pode-se provar por dedução matemática que esta função é uma recta:

Seja $\lambda_{analise}$ o peso original do atributo em análise e $\lambda'_{analise}$ o novo peso desse atributo, que vai variar entre zero e um. Se $\lambda_{atributoX}$ for o peso original de um dos restantes três atributos e $\lambda'_{atributoX}$ for o peso variável desse atributo, pode-se afirmar que:

$$\lambda'_{atributoX} = \lambda_{atributoX} \times \frac{(1 - \lambda'_{analise})}{(1 - \lambda_{analise})} \quad (3.17)$$

$$1 = \lambda_{atributo1} + \lambda_{atributo2} + \lambda_{atributo3} + \lambda_{analise} \quad (3.18)$$

$$V_X = \lambda_{analise} \times v_{analise} + \sum_{x=1}^3 (\lambda_{atributoX} \times v_{atributoX}) \quad (3.19)$$

E então:

$$\begin{aligned} V'_X &= \lambda'_{analise} \times v_{analise} + \sum_{x=1}^3 (\lambda'_{atributoX} \times v_{atributoX}) \\ V'_X &= \lambda'_{analise} \times v_{analise} + \frac{(1 - \lambda'_{analise})}{(1 - \lambda_{analise})} \times \sum_{x=1}^3 (\lambda_{atributoX} \times v_{atributoX}) = \\ &= \lambda'_{analise} \times k_1 + \frac{(1 - \lambda'_{analise})}{k_2} \times k_3 = \\ &= \lambda'_{analise} \times k_1 + \frac{k_3}{k_2} - \lambda'_{analise} \times \frac{k_3}{k_2} = \\ &= \lambda'_{analise} \times \left(k_1 - \frac{k_3}{k_2} \right) + \frac{k_3}{k_2} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Prova-se assim que o valor da avaliação (V'_x) varia linearmente com o peso do atributo em análise, e é possível traçar um recta para cada proposta, que descreve a variação da avaliação da mesma quando o peso do atributo a estudar varia entre zero e um. Para traçar essas rectas, definiram-se três situações:

1. peso do atributo a estudar igual a zero, restantes pesos aumentam de forma proporcional;

2. pesos calculados através das preferências do decisor;

3. peso do atributo a estudar igual a um, restantes pesos são zero.

No ponto 1, foi necessário aumentar proporcionalmente os restantes sete pesos de mais baixo nível, de forma a que a soma total dos pesos continuasse a ser um, usando a equação (3.17).

São agora calculadas, para cada proposta, as avaliações obtidas com as três condições definidas e traçado num gráfico esses mesmo pontos, em que o eixo das abcissas corresponde ao peso do atributo em estudo.

A intersecção entre rectas de duas propostas distintas significa que a partir desse valor do peso, há uma alteração da proposta com maior avaliação. O passo seguinte é, por isso, calcular o intervalo de valores entre os quais o peso do atributo em estudo pode variar, para se poderem tirar conclusões do comportamento das rectas nesse intervalo.

Para tal, recorre-se novamente à escala da Figura 3.7. No cálculo dos pesos, utilizaram-se os valores médios dos intervalos da escala. Mas na verdade o valor pode ser o limite superior da escala ou o inferior, situação que vai influenciar o valor dos pesos.

Para se encontrar o número de casos distintos em termos de correspondência entre escala qualitativa/escala quantitativa, admite-se que a distância entre avaliações dentro de uma mesma condição é correcta e não pode ser alterada (ou seja, se a avaliação de um dos atributos dessa condição for dada pelo valor máximo dentro do intervalo, todas as avaliações dos restantes atributos vão ser traduzidas pelos valores máximos das avaliações qualitativas correspondentes). Tem-se 32 situações possíveis, em que as avaliações variaram entre o valor máximo e mínimo de cada intervalo da avaliação, e encontra-se os valores máximos e mínimos dos quatro atributos de mais alto nível.

Na verdade, a tradução no valor máximo, mínimo ou médio do intervalo pode variar dentro da mesma condição. No entanto, o número de casos possíveis aumentaria de 32 para 256, situação que traria uma complexidade adicional muito grande e provavelmente pouco acrescentaria, já que os valores máximo e mínimo de cada peso não iriam ser muito alterados. Por esta razão, fez-se a opção descrita no parágrafo anterior, e que não compromete a análise seguinte.

Voltando à análise de sensibilidade, se dentro do intervalo possível existir uma proposta que seja sempre superior, ou seja, em que a sua recta esteja sempre acima das restantes, pode-se afirmar que a solução encontrada para a melhor proposta, com respeito a este atributo, é de facto uma solução robusta, que não é afectada por eventuais erros cometidos ao longo do processo.

Fazendo esta análise para todos os quatro atributos, pode-se concluir da robustez e confiança da escolha a tomar e saber se a opção a tomar é sem dúvida a melhor. Caso existam intersecções nos intervalos de variação, é necessário rever todas as preferências definidas pelo decisor ao longo de processo, de forma a verificar se correspondem mesmo à

realidade. Isto porque a opção que está a ser indicada como a melhor pode, de facto, estar a ser colocada nessa posição devido a eventuais erros que tenham sido cometidos.

3.2.9 Comentários ao Método Desenvolvido

Como foi sendo referido, existem vários erros que afectam o resultado final obtido, mas que não são possíveis de quantificar.

Uma fonte de erro reside na própria natureza dos métodos de decisão com múltiplos objectivos, baseados em árvores de valor: se forem utilizadas diferentes abordagens para o cálculo dos pesos, certamente se obterão valores diferentes, mesmo que os princípios teóricos sejam os mesmos.

Numa outra vertente, se forem usadas diferentes árvores para descrever o problema, a avaliação será diferente. Aliás, está provado que um atributo tem mais peso se for subdividido em sub-atributos [41].

Tal como foi referido, assumiu-se que todas as funções de valor são lineares, ou seja, que uma variação de um atributo implica sempre a mesma variação na avaliação, seja qual for a sua localização na escala de valores possíveis desse parâmetro. Embora isto não corresponda à realidade, as imprecisões obtidas pelas restantes fontes de erro fazem com que esta aproximação não tenha significado no resultado final.

Também a interpretação que o decisor faz dos atributos em jogo e das palavras que são usadas para avaliar qualitativamente contribui para a relativização da solução. De facto, um mesmo decisor pode estar a usar a mesma palavra para definir avaliações numéricas diferentes, como demonstrado por Pöyhönen e Hämäläinen, em [42].

Segundo os mesmos autores, os decisores têm tendência a atribuir avaliações que são múltiplas de 10, a aumentar ou decrementar as avaliações em intervalos iguais e a restringir-se bastante em termos de gama de valores atribuídos, mesmo quando podem escolher livremente um valor entre 0 e 100. Este facto permite concluir que a imposição da utilização de oito níveis de avaliação (péssimo, muito mau, mau, médio, bom, muito bom e excelente), e a definição de uma correspondência entre cada um deles e um valor numérico não se vai reflectir na avaliação final das propostas, ou seja, não vai alterar as preferências do decisor.

Podiam ter sido escolhidas outras formas de avaliação das propostas, nomeadamente utilizando técnicas de *Ranking* ou de Eliminação por Atributos, que são descritas na mesma obra usada aqui como base teórica ([40]).

As técnicas de *Ranking* são semelhantes ao que se desenvolveu mas introduzem uma simplificação adicional: o decisor define um *ranking* para cada atributo, e a avaliação final é obtida em função desses *rankings*. Embora seja uma forma mais simples de se chegar a um resultado, não foi o método utilizado pois não são quantificadas as distâncias entre os valores apresentados por cada proposta. Este facto acrescenta um grau de fiabilidade inferior ao resultado final.

Na eliminação por atributos, o decisor coloca os atributos por ordem de importância e define limites para cada atributo. Começando pelo atributo de maior importância, vai eliminando as propostas que não satisfaçam os limites definidos, até ficar exclusivamente com um número de propostas igual às que pretende adjudicar. Este método não garante que as propostas que ficam são as melhores porque não permite que numa determinada proposta, uma má performance num atributo seja compensada por uma boa performance num outro.

Como foi visto, não é possível controlar todas as fontes de erro no método desenvolvido, e isso reflecte-se certamente nos resultados finais, mas mesmo assim são obtidos resultados mais correctos que os dados por estes dois métodos. O desafio está em reduzir ao máximo as fontes de erro, de forma a que no final se possa confiar no *ranking* obtido e saber quais são as melhores propostas. Neste aspecto, as análises de sensibilidade efectuadas desempenham um importante papel na definição do grau de robustez e fiabilidade da solução obtida. Este método tem a grande vantagem de ser simples e intuitivo, ou seja, é facilmente utilizado e compreendido por qualquer decisor, seja qual for a sua área de formação.

3.3 O Processo de Decisão: Implementação da Aplicação

Para tornar todo este processo mais simples e sistemático, e de forma a permitir a utilização do método por qualquer decisor que seja confrontado por um problema deste tipo, foi desenvolvida uma aplicação em MS Excel que faz os cálculos de forma automática. O decisor apenas tem de introduzir os dados que traduzem a sua preferência em relação aos diferentes atributos e os dados indicados nas propostas.

O ficheiro é constituído por 12 folhas e podem ser comparadas até 10 propostas em simultâneo. Os campos a preencher pelo decisor estão a branco e em cada folhas existem Instruções de Preenchimento, que permitem a utilização por qualquer pessoa, mesmo que não conheça a programação que está por trás. De seguida, apresenta-se as soluções adoptadas para que o ficheiro Excel implemente as operações anteriormente descritas.

3.3.1 Preço

De acordo com o que foi explicitado na subsecção 3.2.6, na avaliação do preço, o decisor apenas tem que indicar:

- designação das propostas, e que vai ser utilizada em todas as folhas;
- valor a pagar no ano zero;
- valor a pagar por ano, após o ano zero;
- i (taxa de juro real anual);
- n (número de anos do contrato a celebrar);
- factura energética anual da instalação em questão, no ano anterior;
- poupança anual esperada com a realização dos trabalhos (%);
- percentagem máxima e mínima que o decisor aceita pagar pelo trabalho.

São então calculados automaticamente os valores de VAL_{max} e $VAL_{pagamento}$, de acordo com as expressões que foram anteriormente apresentadas. O ponto dado por VAL_{max} (máximo que o decisor está disposto a pagar pelo serviço) e o ponto zero (mínimo que o decisor está disposto a pagar pelo serviço) são traçados no gráfico $v_p(x)$, e as avaliações das propostas são encontradas usando a função de ajuste polinomial usando o método dos mínimos quadrados.

3.3.2 Pontos Obrigatórios

Para se avaliarem os pontos obrigatórios, o decisor apenas tem que definir o nome dos pontos obrigatórios a considerar, num máximo de 13, e indicar na tabela quais os pontos que cada proposta apresenta. É então calculada, de forma automática, a avaliação $v_{PO}(x)$, através da implementação da equação (3.4).

3.3.3 Explicitação

Neste atributo, o decisor tem que fazer a avaliação qualitativa da explicitação dos trabalhos a realizar de cada proposta, e que é logo transformada em valor numérico. Pode também alterar a escala a utilizar, que está definida como sendo a da Figura 3.7.

3.3.4 Calendarização

Para calcular a avaliação da calendarização, o decisor tem que introduzir as durações que as propostas indicam para cada etapa, num máximo de cinco etapas. Tem também que indicar qual a duração preferida para cada etapa e a variação máxima que é admissível, na sua opinião.

O cálculo da avaliação é feito através de uma macro uma vez que obedece a algumas condições, conforme já apresentado, que podem ser elaboradas recorrendo à função condicional “IF” mas que complicaria bastante, já que aumentaria a complexidade da expressão em virtude de esta se estender com encadeamento de blocos de “IF’s”. O decisor tem, por isso, que carregar no botão para que corra a macro e sejam obtidas as avaliações da calendarização.

3.3.5 Empresa e Equipa

O processo é semelhante ao da Explicitação. O decisor tem que indicar a sua avaliação relativamente à empresa e aos currículos de cada proposta e indicar se existe ou não a presença de técnicos credenciados e peritos qualificados na equipa técnica. Também aqui pode ser alterada a pontuação a atribuir a cada avaliação qualitativa.

3.3.6 Mais Valias

Nas Mais Valias, o decisor pode definir até 11 mais valias. Tem também que indicar o peso que atribui a cada uma e verificar que a soma de todos os pesos é 100.

Por fim, deve indicar as mais valias que cada empresa se propõe realizar. O valor de $v_{MV}(x)$ de cada proposta é calculado automaticamente segundo a equação (3.9).

3.3.7 Cálculo dos Pesos

Tal como foi indicado na subsecção 3.2.6, o valor dos pesos é obtido através da indicação de equivalências entre propostas por parte do decisor. Desta forma, o decisor dá indicações

qualitativas relativamente à importância de cada atributo, que vão ser transformadas em valores numéricos.

Este cálculo é essencial para garantir que, na fórmula final do cálculo da avaliação, cada atributo tem uma influência no resultado final que está em consonância com a importância que tem para o decisor.

Definição de equivalências entre propostas

Para se encontrar a divisão de pesos da equipa técnica, é necessário que o decisor defina as equações da forma da equação (3.10). Neste caso $n=3$ (as 3 incógnitas são os pesos dos 3 atributos em jogo), por isso é necessário definir no mínimo duas equivalências entre propostas ($n-1$). Neste caso, não é possível definir mais igualdades porque v_2 e v_3 apenas podem tomar os valores 0 e 100, não sendo por isso possível estabelecer mais *tradeoff's* entre atributos.

Na divisão de pesos dos Recursos, não existe a restrição verificada para a equipa técnica e por isso o utilizador deve definir três equivalências.

No caso da divisão dos pesos da proposta técnica o processo é mais simples. Aqui só é necessário comparar dois atributos, e por isso só pode ser definida uma igualdade.

No último caso, está a divisão dos pesos dos atributos de primeira ordem, que vão ter muita influência na avaliação final das propostas. É por isso importante definir mais igualdades que pesos, para se encontrarem os valores que mais realisticamente traduzam as preferências do decisor. Neste caso, optou-se por pedir ao utilizador que introduza 5 equações a 4 incógnitas.

Divisão dos pesos

Tal como foi indicado na subsecção 3.2.6, o cálculo dos pesos está dividido em quatro análises comparativas. Para se encontrarem os valores em cada uma dessas análises, é necessário implementar o que foi descrito nessa subsecção, e que pode ser traduzido por:

$$\text{Objectivo: } \min \sum_{i=1}^j \left[\sum_{i=1}^n (v_i - v'_i) \times \lambda_i \right]^2 \quad (3.21)$$

$$\text{Alterando: } \lambda_i \quad (3.22)$$

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \text{ e } \lambda_i > 0 \quad (3.23)$$

em que n é o número de atributos, j o número de igualdades definidas pelo decisor, v_i e v'_i são avaliações de propostas em relação ao atributo i e λ_i é o peso parcial relativo a esse mesmo atributo.

Estes valores são obtidos recorrendo à função SOLVER, que implementa automaticamente as condições descritas, por introdução dos parâmetros correspondentes em cada um dos quatro casos.

Para automatizar o processo, programou-se uma macro que faz o carregamento da informação relativa a cada caso, executa o SOLVER, e coloca nas células respectivas a solução encontrada.

Estão, assim, encontrados os pesos relativos aos nove atributos que, juntamente com as avaliações obtidas anteriormente, permitem chegar à avaliação final de cada proposta.

O elevado número de parâmetros demonstra que o recurso a métodos de decisão para avaliar as propostas é essencial para se atingirem resultados confiáveis e seja, de facto, feita a melhor escolha.

3.3.8 Pesos

De seguida é feito o cálculo de todos os pesos de acordo com as expressões definidas na Figura 3.8, e são indicados os valores dos pesos de mais baixo nível.

São também calculados os valores máximos e mínimos dos pesos dos quatro atributos de mais alto nível, de acordo com a metodologia definida na subsecção 3.2.8 Ou seja, são simuladas 32 as situações possíveis, usando para isso o SOLVER como ferramenta de optimização

3.3.9 Análises de sensibilidade

As análises de sensibilidade são unicamente para que o decisor verifique a robustez da solução encontrada e possa analisar o comportamento da avaliação das propostas quando os pesos variam entre zero e um.

De acordo com o que foi apresentado em 3.2.8, são inicialmente calculados os pesos dos três pontos definidos para se encontrarem as rectas que descrevem o comportamento da avaliação quando o peso da proposta técnica varia entre zero e um.

São então calculados os pontos das rectas e o gráfico é traçado com estes pontos, onde também estão representados a tracejado preto vertical os valores limite que esse peso pode apresentar.

Capítulo 4

Caso de Estudo

4.1 Lançamento da Consulta

Em Outubro de 2007, a PT Comunicações procedeu a uma consulta para a escolha de empresas que assegurem, nos seus quatro edifícios mais consumidores, auditorias tendo em vista o cumprimento dos seguintes itens:

- Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) (Portaria 359/82 de 7 de Abril e Decreto-Lei 58/82 de 26 de Fevereiro) [10];
- Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) (Decreto-Lei 78/2006 de 4 de Abril) [6];
- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril) [5];
- Serviços de análise termográfica aos sistemas eléctricos e térmicos de maior importância funcional e consumidora.

Apesar do SCE e do RSECE virem a ser aplicados aos edifícios existentes a partir de 1 de Janeiro de 2009, o RGCE está em vigor para os edifícios que ultrapassem, no ano anterior, a marca dos 1000 tep em consumo energético final.

A necessidade de garantir a certificação energética no âmbito do SCE e do RSECE é incontornável e urgente, já que estes regulamentos vão ser aplicados a uma grande parte dos edifícios da PT. Percebe-se, por isso, que quer as auditorias, quer as alterações funcionais devem ser efectuadas durante o ano de 2008, de forma a garantir o cumprimento da legislação no início de 2009. Neste âmbito, todas as instalações em causa eram “candidatas” a entrar neste concurso piloto.

Em relação ao RGCE, a situação é bastante diferente. A sua publicação foi em 1982, altura em que a situação energética em Portugal era completamente diferente e a gestão de energia uma ciência praticamente inexistente. Como tal, as exigências feitas nesse regulamento, nomeadamente ao nível das poupanças anuais obrigatórias, são de carácter global, mas tinham igualmente que ser cumpridas.

4.1.1 Objectivos

Como foi referido, o grande objectivo deste trabalho é garantir a Certificação Energética e o cumprimento do RGCE em vigor dos edifícios escolhidos. Por esta razão, e tendo em conta que a Certificação Energética terá que ser uma realidade em todos os edifícios, os escolhidos

foram aqueles que apresentavam um consumo energético anual superior a 1000 tep, e que por isso também tinham que cumprir o RGCE.

Desta forma, garantem-se duas consequências: os maiores e mais emblemáticos edifícios da empresa estão dentro da lei e as potenciais poupanças energéticas são certamente maiores.

Como o concurso foi lançado em Outubro de 2007, foi calculado o consumo total de energia eléctrica das instalações desde Julho de 2006 a Junho de 2007. Pretendeu-se com isto utilizar os dados mais recentes que se possuía sobre esses consumos. Obtiveram-se, assim as 10 instalações com maior consumo de energia eléctrica nesse período:

Tabela 4.1 - Consumos de energia eléctrica dos 10 edifícios mais consumidores entre Julho de 2006 e Junho de 2007.

Instalação	Consumo Energia Eléctrica Julho 2006 a Junho 2007	
	kWh	tep
Edifício Picoas	33.481.508	9.710
Edifício de Andrade Corvo	8.015.336	2.324
Central de Carnide	5.291.614	1.535
Edifício de Tenente Valadim	4.898.548	1.421
Edifício Calhabé (Coimbra)	2.853.873	828
EFH Negrais	2.652.182	769
Central do Campo Pequeno	2.649.973	768
Praça da Batalha - Porto	2.545.924	738
Central da Estrela	2.439.577	707
Central de Laranjeiras	2.183.194	633

No quadro anterior, pode-se verificar que os quatro edifícios mais consumidores já estão acima dos 1000 tep, mesmo sem entrar em consideração com as outras fontes de energia consumidas.

Para completar a análise, foi necessário contabilizar o consumo de gasóleo dos grupos G.E.S. e o consumo de gás natural para cada edifício. A conversão para kgep foi feita de acordo com os valores indicados no Decreto-Lei nº80/2006, Artigo 18º [4]:

Tabela 4.2 - Conversão de kWh para kgep, segundo valores indicados em [4].

Fonte de energia	Factor de conversão
Electricidade	0,290 kgep/kWh
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos	0,086 kgep/kWh

Chegou-se assim à decisão de colocar essas 4 instalações a consulta externa:

- Edifício Picoas;
- Edifício de Andrade Corvo;
- Central de Carnide;
- Edifício de Tenente Valadim.

Tomou-se também a opção de não restringir a adjudicação a uma única empresa para todos os edifícios, de forma a permitir que cada edifício fosse adjudicado à empresa que se

verificasse ser mais vantajosa. Esta condição tinha também o objectivo de dividir os edifícios por, pelo menos, duas empresas diferentes e assim de poder comparar diferentes formas de metodologias e de actuação, vector importante na medida em que este processo se tratava de um piloto a alargar às restantes instalações.

4.1.2 Especificação Técnica

Oito empresas foram convidadas a apresentar proposta para os trabalhos em questão.

A Especificação Técnica [43] que lhes foi entregue começava por explicitar no ponto 1 o **Objectivo** do trabalho, referindo exactamente a regulamentação que se pretendia ver cumprida no final dos trabalhos.

O ponto 2 apresentava o **Âmbito da Aplicação**, ou seja, os edifícios onde os trabalhos pretendidos vão decorrer. Para cada edifício, é indicada também a área útil, já que os regulamentos aplicáveis dependem deste parâmetro.

Os trabalhos a realizar estão divididos em três pontos: 3.Auditorias Energéticas a Implementar, 4.Plano de Racionalização dos Consumos de Energia e 5.Plano de Intervenção no Âmbito do SCE e RSECE.

As **Auditorias Energéticas e Implementar** estão ainda subdivididas em dois pontos, de forma a separar por regulamento as condições a verificar. O primeiro ponto apresenta os trabalhos de auditoria que devem ser empreendidos e que são obrigatórios segundo o RGCE (a identificação foi atribuída para facilitar referência futura a estes pontos):

Tabela 4.3 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RGCE.

Identificação	Sistema/equipamento analisado	Parâmetro
RGCE 1	Instalações de transporte e distribuição de energia	Descrição e verificação do estado
RGCE 2	Equipamentos de combustão e grupos electrogéneos	Estudo e verificação da capacidade, rendimentos, temperaturas, eficiências, consumos de combustíveis
RGCE 3	Principais consumidores de energia (transformadores, <i>chillers</i> , rectificadores, caldeiras, UTAs, UPSs, AVAC e iluminação)	Monitorização e propostas alternativas de substituição
RGCE 4	Consumo energético global	Desagregação por fonte de energia e área funcional
RGCE 5	Todo o edifício	Identificação e quantificação de medidas viáveis de eficiência e racionalização do consumo de energia

O segundo ponto define os pontos que devem ser realizados no âmbito do RSECE:

Tabela 4.4 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RSECE.

Identificação	Sistema/equipamento analisado	Parâmetro
RSECE 1	Equipamentos e sistemas activos e passivos de climatização	Avaliação das condições de exploração, dimensionamento e manutenção
RSECE 2	Sistemas de climatização das salas técnicas e das áreas administrativas	Identificação de medidas de eficiência energética e das respectivas rentabilidades
RSECE 3	Equipamentos de suporte	Inventariação, etiquetagem, plano de acção e proposta de rotinas
RSECE 4	Todo do edifício	Avaliação e exequibilidade de integração de fontes de energia alternativas

Como se pode verificar, existem pontos em comum nas duas tabelas, nomeadamente na análise dos sistemas de climatização. Esses sistemas/equipamentos não vão ser auditados duas vezes. Na verdade, vai ser realizada apenas uma auditoria. A razão para separar em duas autorias, no papel, está relacionada com a necessidade de garantir que ambos os regulamentos são cumpridos na totalidade e que as empresas identificam perante a legislação o trabalho que estão a realizar.

O ponto seguinte da Especificação Técnica apresenta mais um trabalho a realizar: **Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PRCE)**. Este plano será elaborado pela empresa adjudicatária através dos resultados obtidos na auditoria e deverá ser aprovado pela DGEG para um período de 5 anos.

Durante esses 5 anos, a empresa escolhida fica ainda obrigada a supervisionar os trabalhos propostos de optimização dos consumos energéticos dos edifícios em causa e a elaborar os relatórios trimestrais e anuais, conforme indicados na legislação.

Por parte da PT Comunicações, ficou dada a garantia que seria nomeado um responsável por desenvolver todo o processo, fornecer a informação necessária, propor superiormente as medidas a implementar e representar a empresa junto das autoridades competentes quando estas solicitassem esclarecimentos adicionais.

O **Plano de Intervenção** é o último ponto dos trabalhos a realizar, e visava obrigar os concorrentes a explicitar e a garantir a periodicidade especificada no SCE e no RSECE.

No ponto 6, foi pedida uma **Proposta de Execução de Auditoria** por edifício, já que, como foi referido anteriormente, estava declarada a possibilidade de não adjudicar todos os edifícios à mesma empresa. Cada proposta de execução tinha que apresentar um cronograma com o programa de trabalhos, ou seja, quais as tarefas a realizar em cada fase e respectivos prazos. As fases indicadas foram:

- elaboração dos relatórios de auditoria energética;
- relatório de análise termográfica das componentes térmica e eléctrica;
- elaboração do plano de racionalização de consumos de energia (PRCE) no âmbito do RGCE;
- aprovação por parte da PT Comunicações dos PRCE propostos e entrega na DGGE, para aprovação oficial;
- elaboração do plano de intervenção no âmbito do SCE/RSECE, tendo em vista a respectiva certificação;

- controle de execução e progresso do plano de racionalização a 5 anos e aferição e manutenção do Certificado Energético 6 anos.

Outro requisito definido para as propostas foi a apresentação de um cronograma, acompanhado de um programa de trabalhos a realizar em cada fase. O prazo para a execução das auditorias foi definido em 165 dias de calendário ininterruptos, a contar da data de intenção das adjudicações. A PT Comunicações comprometia-se a aprovar e elaborar a versão final dos planos de racionalização e da certificação energética nos 30 dias seguintes à entrega dos relatórios para análise e devida aceitação.

O ponto seguinte define os moldes em que deveria ser apresentado o **Plano de Pagamentos**: a emissão das facturas deveria coincidir com a conclusão e aprovação por parte da PT dos pontos da Proposta de Execução.

Por fim, são indicados no ponto oito os atributos que vão ser avaliados e os respectivos pesos, que levariam à escolha final:

- 10 % - Equipa técnica de reconhecida experiência, registada na DGEG para o efeito e com experiência na realização de trabalhos semelhantes nos últimos 5 anos;
- 30 % - Qualidade técnica da proposta apresentada;
- 40 % - Preços parcelares e preço global;
- 20 % - Apresentação de mais valias e trabalhos adicionais.

Foram ainda entregues dois documentos anexos à Especificação Técnica, que compreendiam uma caracterização breve de cada uma das instalações (características do abastecimento de energia e do sistema de climatização) e o histórico de consumos desde 2005.

4.1.3 Análise Crítica do Lançamento da Consulta

Esta consulta é claramente da forma apresentada na subsecção 3.1.1, em que é lançada uma única consulta para escolha de uma empresa que realizaria os trabalhos de auditoria e elaboração de relatórios do edifício em questão. Tal como foi dito quando se apresentou essa estrutura, a implementação das medidas de melhoria da eficiência energética não estão incluídas neste concurso.

A entrega da caracterização breve de cada instalação teve como objectivo evitar que as propostas estivessem muito desajustadas da realidade funcional dos edifícios. No entanto, e tal como já foi analisado, isso não impede que se verifiquem as restantes três desvantagens apresentadas quando se compara esta estrutura com a de realizar dois concursos (ver subsecção 3.1.2).

Este trabalho trata-se de um piloto dentro da empresa, e por isso é perfeitamente normal e desejável que se faça uma análise crítica e que se identifiquem os pontos fracos que devem ser melhorados e que o serão certamente quando a actividade for alargada aos restantes edifícios da empresa.

Na metodologia proposta estão descritos os pontos que se pensa serem fundamentais na Especificação Técnica. Comparando esses pontos com a Especificação Técnica desta consulta, conclui-se que:

Objectivos - estão presentes no ponto 1 e bem especificados;

Âmbito do Desenvolvimento dos Trabalhos - claramente definidos no ponto 2;

Trabalhos a Realizar - Definidos nos pontos 3, 4 e 5. Uma melhoria que se pode implementar num próximo concurso é o de agrupar estes pontos num só capítulo, de forma a

evidenciar claramente que estes são os trabalhos que obrigatoriamente terão que ser realizados pela empresa escolhida.

Pedido do Plano de Trabalhos e Calendarização - feito no ponto 6, com a vantagem de já serem indicadas as fases que terão de ser seguidas. Desta forma, facilita-se a análise e comparação das propostas e garante-se que a forma de actuação será a pretendida.

Apresentação da Empresa e Currículos - as oito empresas escolhidas já eram uma selecção de entre 12 potenciais candidatas, em que a escolha foi feita em função das apresentações das empresas e dos currículos;

Existência de Técnicos Credenciados e Peritos Qualificados SCE - este aspecto não é abordado na Especificação Técnica, provavelmente porque na altura em que o concurso foi lançado ainda quase não existiam Peritos Qualificados. Será certamente um ponto a incluir no próximo concurso;

Nomeação de um responsável por parte do cliente - definido no ponto 4;

Pedido de indicação do Preço e do Plano de Pagamentos - completamente explicitado no ponto 7, tal como foi visto;

Avaliação das Propostas - não está muito detalhada, tal como vai ser visto em 4.2. De facto, este é um dos pontos mais importantes e convém indicar claramente todos os atributos em análise e o peso de cada um deles, até por uma questão de protecção da empresa cliente, caso tenha que justificar a escolha que for tomada. O facto de ser uma consulta e não um concurso retira peso a este ponto.

Como se pode ver, a Especificação Técnica desta consulta apresenta a quase totalidade dos pontos definidos na metodologia proposta. De facto, o que se propõe a este nível não é nada de novo, apenas se define uma forma sistemática para que sejam definidos todos os pontos importantes, sem esquecer nenhum, de forma a que as propostas sejam comparáveis e que o processo seja o mais rápido possível.

Olhando mais detalhadamente para os trabalhos a realizar, verifica-se que nem todos os requisitos obrigatórios pelos regulamentos aplicáveis a estes edifícios (RGCE e RSECE) são referidos.

Relativamente ao RGCE, verifica-se que os cinco sistemas/equipamentos a analisar constam dos trabalhos obrigatórios a realizar segundo a especificação técnica:

Tabela 4.5 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RGCE, indicados na Especificação Técnica.

Sistema/equipamento analisado	Parâmetro a verificar	Concurso
Equipamentos de combustão e grupos electrogéneos	Controlo da combustão e medida dos rendimentos energéticos	RGCE 2
Instalações de transporte e distribuição de energia	Verificação do estado	RGCE 1
Aparelhos de controlo e equipamento de conversão e de utilização de energia	Verificação da existência e do bom funcionamento	RGCE 3
Balanços energéticos	Global da instalação e da conversão de energia	RGCE 4
Consumos específicos de energia	Determinação por tipo de produto	RGCE 4

A consideração da hipótese de produção combinada de energia e calor e substituição dos produtos derivados do petróleo está também incluída nos trabalhos a realizar, mas neste caso está integrado nos pontos a auditar no âmbito do SCE/RSECE.

A manutenção dos registos actualizados e a elaboração dos relatórios trimestrais e anuais estão claramente explicitados no ponto 5 da Especificação Técnica.

Os requisitos indicados no SCE/RSECE para os grandes edifícios de serviços existentes são em maior número, e neste caso nem todos estão indicados na Especificação Técnica inicial:

Tabela 4.6 - Tabela com os sistemas/equipamento a auditar no âmbito do RSECE, indicados na Especificação Técnica.

Sistema/equipamento analisado	Parâmetro a verificar	Concurso
Totalidade do edifício	Velocidade do ar interior	
Auditorias à QAI	Renovação do ar e concentrações de substâncias poluentes	
Todo o edifício	Consumo global específico de energia calculado através de auditorias energéticas (IEE)	RGCE 4
Equipamentos de série dos sistemas de climatização	Certificados de conformidade	SCE 1
Equipamentos	Chapa de características e documentação técnica	SCE 1
Sistemas de climatização	Mecanismos de protecção	SCE 1
Instalações e equipamentos	Planos de manutenção preventiva e acessos para efeitos de manutenção	SCE 1
Sala das máquinas	Diagramas dos sistemas de climatização, cópia do projecto actualizado e instruções de operação e actuação em emergência	
Caldeiras e ar condicionado	Eficiência	SCE 1
Sistema de regulação e controlo	Verificação dos parâmetros do DL	
Sistema de monitorização e de gestão de energia	Verificação dos parâmetros do DL	

Os requisitos de conforto térmico (velocidade do ar interior), a análise da qualidade do ar interior (QAI), a verificação dos elementos existentes na sala das máquinas e a verificação dos sistemas indicados na tabela não são dados como obrigatórios na proposta a apresentar.

Esta situação origina duas dificuldades adicionais:

- maior dificuldade em avaliar as propostas porque a comparação torna-se difícil (certamente irão apresentar pontos extra que podem não ser comuns a todas as propostas);
- possibilidade dos pontos em falta, e que são obrigatórios pelo regulamento, não serem efectuados, o que se pode traduzir na não certificação dos edifícios ou na sua colocação numa categoria inferior em termos de eficiência energética.

No entanto, e como se vai verificar nas propostas adjudicadas, os trabalhos em falta figuram nas propostas finais, porque o decisor adicionou estes pontos na segunda fase da análise técnica. Na verdade, ao ser especificado que o objectivo é o cumprimento dos regulamentos aplicáveis, está implícito que estes pontos devem figurar nas propostas a apresentar.

A análise termográfica não é detalhada, o que deixa ao critério de cada empresa a decisão dos moldes em que a mesma se vai realizar. Esta análise não é obrigatória em nenhum dos regulamentos, pelo que a sua realização pode ser questionável. Se por um lado facilita a análise das situações em que está a ser desperdiçada energia e indica onde se deve fazer manutenção preventiva, por outro implica um aumento dos custos e do tempo despendido. Talvez fosse mais interessante colocá-la como opcional, para permitir fazer uma análise de custo/benefício.

4.2 Avaliação das Propostas da Consulta

4.2.1 Avaliação das Propostas feita pelo decisor da PT Comunicações

Visto que a consulta previa a hipótese de se adjudicar edifícios diferentes a empresas diferentes, foram realizadas todas as análises às propostas apresentadas para cada edifício, de forma a garantir que seria escolhida a melhor proposta para cada caso.

No entanto, os únicos atributos que variam de edifício para edifício são os referentes ao preço, já que a proposta técnica apresentada por cada concorrente deverá ser única, assim como as mais valias apresentadas e a abordagem a fazer aos edifícios.

Como foi referido, a avaliação é dividida em quatro itens: Equipa técnica (10%), qualidade técnica da proposta (30%), preços (40%) e apresentação de extras e mais valias (20%).

Embora não tenha sido elaborada nenhuma árvore aquando da avaliação das propostas, pode-se concluir do descrito que a escolha das propostas a adjudicar foi feita com base na seguinte estrutura:

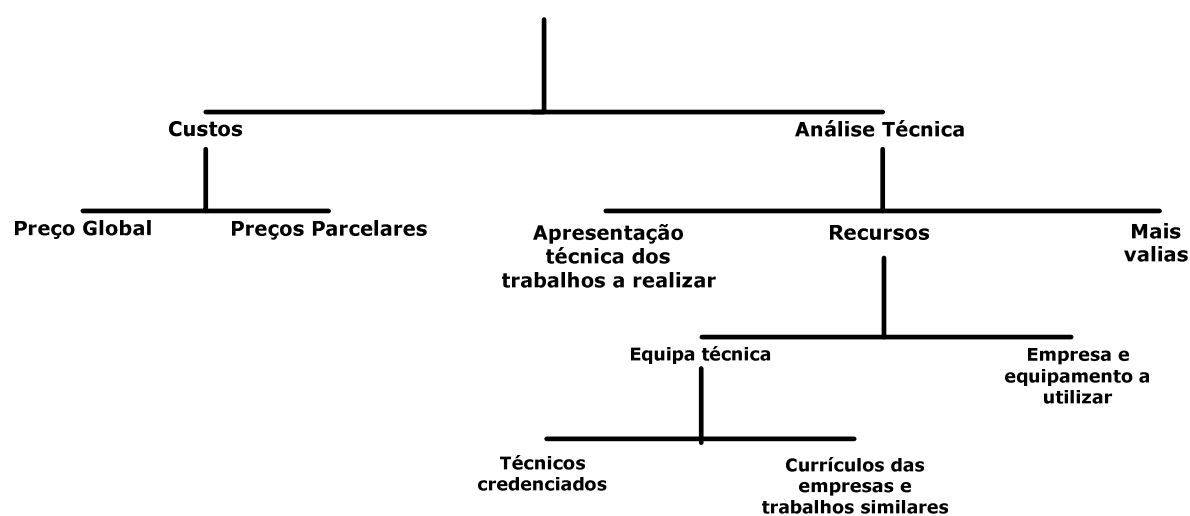


Figura 4.1 - Árvore utilizada na avaliação das propostas por parte do cliente.

O resultado das oito empresas convidadas pela consulta foi o seguinte:

A Empresa 8 declinou por motivo de excesso de trabalho.

A Empresa 5 apresentou três propostas, que diferem entre si no tipo de acompanhamento que é feito ao longo dos 5 anos no RGCE,

Podemos por isso considerar que temos nove propostas a concurso:

Tabela 4.7 - Empresas e respectivas propostas a concurso.

Empresa 1	Proposta 1
Empresa 2	Proposta 2
Empresa 3	Proposta 3
Empresa 4	Proposta 4
Empresa 5	Proposta 5.1
Empresa 5	Proposta 5.2
Empresa 5	Proposta 5.3
Empresa 6	Proposta 6
Empresa 7	Proposta 7

Numa grande empresa como a PT Comunicações, o decisor faz a avaliação técnica das propostas, que depois é encaminhada para um departamento responsável por negociar o preço com as empresas intervenientes. Após este período de negociações, este departamento junta a avaliação técnica com os preços, e decide qual a empresa a que se vai adjudicar o trabalho.

A avaliação das propostas efectuada pelo decisor encontra-se na Tabela 4.8:

Tabela 4.8 - Tabela com a avaliação do decisor da PT Comunicações.

Proposta	Prop. técnica	Recursos	Mais Valias	Total (sem preço)
Proposta 1	63	60	50	35
Proposta 2	64	90	55	40
Proposta 3	58	60	33	30
Proposta 4	42	60	50	29
Proposta 5.1	75	100	63	45
Proposta 5.2	75	100	63	45
Proposta 5.3	75	100	63	45
Proposta 6	70	100	50	41
Proposta 7	eliminada			

Da tabela anterior, concluiu-se que:

- As Propostas 1, 4, 3 e 7 foram eliminadas por estarem desenquadradas do pretendido e não apresentarem todos os elementos obrigatórios do Caderno de Encargos e Propostas de Consulta (avaliações inferiores a 40). A Proposta 7 foi mesmo eliminada porque estava completamente fora do âmbito pretendido;

- As Propostas 2, 5.1, 5.2, 5.3 e 6, depois de niveladas na sua oferta de serviço, satisfaziam todos os requisitos técnicos, pelo que a adjudicação deveria pender para as empresas que apresentassem melhor preço.

O preço foi posteriormente renegociado pelo departamento responsável, e chegou-se à conclusão que:

- O edifício Picoas devia ser adjudicado à Empresa 2;
- O edifício Andrade Corvo devia ser adjudicado à Empresa 5, Proposta 5.2;
- O edifício Carnide devia ser adjudicado à Empresa 2;
- O edifício Tenente Valadim devia ser adjudicado à Empresa 5, Proposta 5.2.

4.2.2 Aplicação do Método Proposto para Avaliação das Propostas do Caso de Estudo

Neste ponto, vai ser feita a avaliação das propostas usando a aplicação informática implementada em Excel que foi apresentado na secção 3.3. Como tal, a árvore usada nessa avaliação é a árvore apresentada na Figura 3.5. De seguida, vão ser indicados os dados introduzidos e apresentados em cada folha para o Edifício de Picoas, e que vão conduzir ao resultado final. Nos restantes três Edifícios, o processo seria exactamente o mesmo, pelo que para facilitar a leitura e análise do trabalho efectuado, os processos relativos aos restantes edifícios não serão apresentados neste trabalho.

De realçar que os dados introduzidos não correspondem às preferências do decisor da PT Comunicações, mas sim da autora deste documento. Como tal, o resultado vai ser diferente do que se obteria se este ficheiro tivesse sido utilizado pelo decisor.

Os dados introduzidos no ficheiro Excel resultaram da segunda fase de análise técnica, onde se obtiveram algumas alterações das propostas iniciais como resposta a pedidos de esclarecimento efectuados.

1.Preço

No caso no Edifício Picoas, a factura anual de electricidade é aproximadamente 2,500 milhões de euros. De acordo com experiências realizadas em trabalhos semelhantes, pode-se aspirar a poupar cerca de 10% deste valor em cada um dos cinco anos, através de medidas correctivas que vão ser identificadas neste trabalho. Transpondo este valor para o ano zero, apenas falta definir qual a percentagem de poupanças esperadas que o decisor está disposto a pagar à empresa adjudicatária para a realização dos trabalhos em causa.

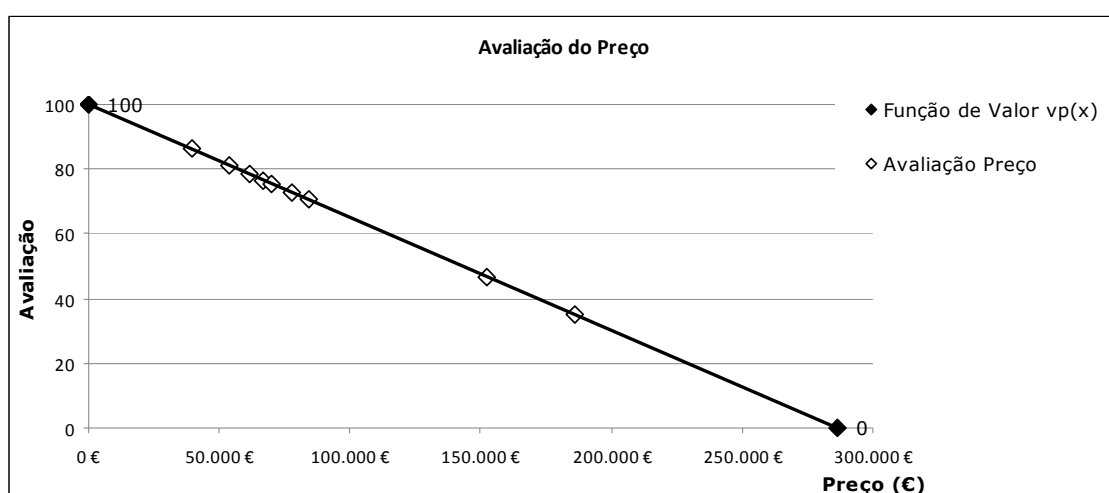
No limite, não pagaria nada, ou seja, a avaliação 100 corresponde a uma proposta que tenha um preço zero. No outro extremo, tem-se a percentagem máxima que o decisor está disposto a pagar pelo serviço, e que foi definida como sendo 25% do valor esperado de poupanças ao longo da vigência do contrato.

Desta forma, obtêm-se os pontos que definem a função de valor que relaciona o preço com a avaliação desse atributo:

Tabela 4.9 - Pontos da função de valor que relaciona o preço com a avaliação desse atributo.

Avaliação correspondente ($v_p(x)$)	100	0
Factura energética/ano (€)	2.500.000 €	2.500.000 €
Poupança/ano esperada (%)	10 %	10 %
Poupança/ano esperada (€)	250.000 €	250.000 €
Duração contrato (anos)	5 anos	5 anos
VAL da poupança do contrato	1.144.927 €	1.144.927 €
Parcela a pagar pelo serviço (%)	0,0 %	25,0 %
Parcela a pagar pelo serviço (€)	0 €	286.232 €

Obtém-se assim o gráfico da função de valor $v_p(x)$ do preço:

**Figura 4.2** - Representação gráfica da Função de Valor da avaliação do preço em relação a este atributo.

Os pontos marcados com losangos pretos com fundo branco no gráfico correspondem aos preços reportados ao ano zero das 9 propostas apresentadas e permitem retirar a avaliação de cada proposta no que concerne a este atributo, pelo processo que já foi apresentado:

Tabela 4.10 - Tabela com os preços apresentados em cada proposta, respectivo VAL e avaliação.

Proposta	Valor a pagar no ano zero (V_0)	Valor a pagar em cada ano	VAL do pagamento	Avaliação do preço ($v_p(x)$)
Proposta 1	25.771,97 €	3.000,00 €	39.511,09 €	86
Proposta 2	58.129,00 €	4.263,20 €	77.653,21 €	73
Proposta 3	134.920,00 €	3.800,00 €	152.322,89 €	47
Proposta 4	34.475,00 €	4.200,00 €	53.709,77 €	81
Proposta 5.1	40.247,00 €	9.620,00 €	84.303,78 €	71
Proposta 5.2	40.247,00 €	5.854,00 €	67.056,61 €	77
Proposta 5.3	40.247,00 €	4.598,00 €	61.304,49 €	79
Proposta 6	57.010,00 €	2.900,00 €	70.291,15 €	75
Proposta 7	163.899,00 €	4.784,60 €	185.811,07 €	35

2. Pontos Obrigatórios

Ao todo, pode-se dizer que são 13 os pontos obrigatórios no caderno de encargos, divididos por quatro grupos:

- cumprimento RGCE - 5 pontos (Tabela 4.3);
- cumprimento RSECE - 4 pontos (Tabela 4.4);
- controlo e acompanhamento PRCE - 3 pontos (Manutenção dos registos actualizados, elaboração dos relatórios trimestrais e elaboração dos relatórios anuais;
- termografia.

Indicando no ficheiro Excel os pontos que cada proposta se compromete a efectuar, chega-se à avaliação deste atributo:

Tabela 4.11 - Avaliação dos Pontos Obrigatórios para o caso de Picoas.

Proposta	Avaliação Pontos Obrigatórios	
	Escala 0-13	Escala 0-100
Proposta 1	8	62
Proposta 2	13	100
Proposta 3	11	85
Proposta 4	13	100
Proposta 5.1	13	100
Proposta 5.2	13	100
Proposta 5.3	13	100
Proposta 6	13	100
Proposta 7	12	92

3. Explicitação

Nesta folha do ficheiro Excel estamos perante um atributo qualitativo, em que o decisor tem que expressar a sua apreciação relativamente a um parâmetro das propostas. Tal como foi referido, a classificação vai ser feita pela autora e não pelo decisor que esteve responsável por todo este processo, o que conduzirá a resultados diferentes.

A avaliação da explicitação teve por base a clareza e o detalhe na apresentação dos trabalhos a realizar.

Tabela 4.12 - Avaliação do parâmetro Explicitação das propostas a concurso.

Proposta	Avaliação Qualitativa Explicitação	Avaliação Quantitativa Explicitação
Proposta 1	Mau	30
Proposta 2	Excelente	100
Proposta 3	Médio	50
Proposta 4	Péssimo	0
Proposta 5.1	Muito Bom	90
Proposta 5.2	Muito Bom	90
Proposta 5.3	Muito Bom	90
Proposta 6	Bom	70
Proposta 7	Muito Mau	10

Como se pode ver, existem os dois extremos: a Proposta 2 explicita de forma excelente os trabalhos a realizar, e a Proposta 4 é uma cópia da Especificação Técnica apresentada pelo decisor.

4. Calendarização

Como já foi referido, as preferências do decisor para a duração preferida e para a variação máxima são elaboradas sem olhar para as propostas. A experiência adquirida em trabalhos semelhantes neste mesmo edifício contribui para uma fiabilidade bastante elevada na definição das durações para as etapas de auditoria e termografia.

Como será de esperar, a duração ideal entre a adjudicação e o início dos trabalhos é zero, já que o cliente tem todo o interesse em que os trabalhos comecem rapidamente. A preparação está relacionada com visitas sumárias às instalações, com a reunião de toda a documentação necessária, com o plano de trabalhos, processo que pode demorar algum tempo tendo em conta a antiguidade e dimensão do edifício em causa. Por fim, a etapa que talvez seja mais crítica é o desenvolvimento dos planos de trabalho dos edifícios, já que não existe muita experiência nessa área e a alteração dos regulamentos introduz novas análises que não eram efectuadas até aqui.

Com base nestes argumentos, foi elaborada a seguinte tabela, onde são apresentadas, para além das durações preferidas e das variações máximas, as durações indicadas em cada proposta:

Tabela 4.13 - Definição dos valores preferidos e das propostas para cada etapa.

Proposta	Duração (tempo em semanas)				
	Início após adjudicação	Preparação	Auditorias	Termografia	Elaboração dos Planos
Proposta 1			2,5	3	4
Proposta 2	1,5	3	7	7	7
Proposta 3			4	4	8
Proposta 4					
Proposta 5.1	0	2	7	5	7
Proposta 5.2	0	2	7	5	7
Proposta 5.3	0	2	7	5	7
Proposta 6		2	7		9
Proposta 7			7	3	7
Preferida	0	2	8	3	7
Variação Máx.	2	2	4	2	3

Pressionando o botão Calcular Avaliação do ficheiro Excel, obtêm-se os seguintes valores:

Tabela 4.14 - Avaliação das propostas, no atributo Calendarização.

Proposta	Avaliação da Calendarização
Proposta 1	20
Proposta 2	50
Proposta 3	23
Proposta 4	0
Proposta 5.1	75
Proposta 5.2	75
Proposta 5.3	75
Proposta 6	42
Proposta 7	55

5. Empresa e Equipa

O quadro seguinte apresenta um resumo dos currículos e descrição das empresa a concurso:

Tabela 4.15 - Resumo da informação relativa aos parâmetros para avaliação da equipa técnica e da empresa.

Proposta	Parâmetros	
	Currículos	Empresa
Proposta 1	Não apresenta currículos	Consultoria e auditoria energética Auditorias a edifícios
Proposta 2	Dos coordenadores, que são muito bons	Estudos e projectos
Proposta 3	3 bons currículos	Telecomunicações, gás e electricidade Estudo energético e PRCE de sites TMN
Proposta 4	Não apresenta currículos	Projectos térmicos, industriais e de ambiente
Proposta 5	Grande equipa, tem de tudo	Consultoria e auditoria energética Várias auditorias e PRCE de edifícios
Proposta 6	Bons currículos, muita experiência na área	Estudos e projectos; auditorias e PRCE de edifícios (Picoas e Andrade Corvo)
Proposta 7	Pouco tempo nesta área, não tem experiência	Sistemas de instalações de gás

Embora a presença de peritos SCE/RSECE na equipa não seja obrigatória pelos termos da consulta, será de todo desejável que isso aconteça, já que um dos objectivos deste trabalho é precisamente a certificação energética dos edifícios em questão e que só pode ser feita por peritos qualificados.

Em relação aos técnicos credenciados, a questão é ainda mais significativa, já que era mesmo um dos requisitos do concurso. Embora nenhuma das propostas diga que não, três delas não se referem a este assunto.

A avaliação dos currículos e da empresa é mais subjectiva. O que faz com que os currículos tenham uma boa avaliação é, obviamente, a experiência reconhecida na área e as habilitações da equipa. No que se refere à empresa, é valorizada uma empresa que já tenha realizado trabalhos semelhantes e com boas referências no mercado.

Na tabela seguinte encontra-se a avaliação qualitativa destes 4 atributos:

Tabela 4.16 - Avaliação qualitativa dos atributos relativos à equipa técnica e empresa.

Proposta	Avaliação dos Parâmetros			
	Empresa	Peritos SCE	Técnicos Credenciados	Currículos
Proposta 1	Bom	Não	Sim	Péssimo
Proposta 2	Mau	Sim	Sim	Bom
Proposta 3	Muito Bom	Não	Não refere	Muito Bom
Proposta 4	Médio	Não	Sim	Péssimo
Proposta 5.1	Médio	Sim	Sim	Médio
Proposta 5.2	Médio	Sim	Sim	Médio
Proposta 5.3	Médio	Sim	Sim	Médio
Proposta 6	Excelente	Sim	Não refere	Excelente
Proposta 7	Muito Mau	Sim	Não	Muito Mau

Estas avaliações qualitativas são traduzidas em avaliações quantitativas segundo a correspondência pré-definida:

Tabela 4.17 - Avaliação quantitativa dos atributos relativos à equipa técnica e empresa.

Proposta	Avaliação dos Parâmetros			
	Empresa	Peritos SCE	Técnicos Credenciados	Currículos
Proposta 1	70	0	100	0
Proposta 2	30	100	100	70
Proposta 3	90	0	0	90
Proposta 4	50	0	100	0
Proposta 5.1	50	100	100	50
Proposta 5.2	50	100	100	50
Proposta 5.3	50	100	100	50
Proposta 6	100	100	0	100
Proposta 7	10	100	0	10

6. Mais Valias

Na tabela seguinte estão indicados os trabalhos extras que foram propostos. Apenas uma das propostas indicou claramente que ia realizar uma simulação energética dinâmica detalhada. No entanto, essa mesma simulação está implícita nas propostas que apresentam o cálculo do IEE como uma mais valia, pois é a única forma de calcular este valor. Por isso, foi atribuído à simulação energética dinâmica um peso inferior (10). As restantes 6 mais valias propostas são todos obrigatórios segundo a legislação, mas não foram especificados no caderno de encargos. Têm por isso um peso de 15.

Para calcular a avaliação, é atribuído o valor 1 às propostas onde consta o extra respectivo, e 0,5 quando é proposto mas não exactamente como está no decreto-lei (por exemplo, as propostas 5.1 e 5.3 propõem auditoria à QAI mas com uma periodicidade que não é a correcta):

Tabela 4.18 - Mais Valias apresentadas por cada proposta.

Proposta	Simulação energética dinâmica	Auditoria à QAI	Análise da envolvente	Análise facturas	Análise qualidade energia	Análise iluminação	Cálculo IEE
Proposta 1		1					
Proposta 2	1	1	1	1			1
Proposta 3			1	1		1	
Proposta 4							
Proposta 5.1		0,5		1	1	1	1
Proposta 5.2		1		1	1	1	1
Proposta 5.3		0,5		1	1	1	1
Proposta 6			1	1		1	
Proposta 7							

Desta forma, obtém-se a seguinte avaliação para o parâmetro Mais Valias:

Tabela 4.19 - Avaliação das Mais Valias de cada proposta.

Proposta	Avaliação Mais Valias
Proposta 1	15
Proposta 2	70
Proposta 3	45
Proposta 4	0
Proposta 5.1	68
Proposta 5.2	75
Proposta 5.3	68
Proposta 6	45
Proposta 7	0

7. Cálculo dos pesos

Nesta folha de cálculo pode-se consultar a tabela-resumo com as avaliações de todos os atributos de mais baixo nível, que foram calculadas nas folhas de cálculo anteriores:

Tabela 4.20 - Resumo da avaliação de todos os atributos de cada proposta.

Proposta	Preço	Explic.	Pontos obrg	Mais Valias	Calend	Empresa	Perito SCE	Téc. Cred.	CVs
Proposta 1	86	30	62	15	20	70	0	100	0
Proposta 2	73	100	100	70	50	30	100	100	70
Proposta 3	47	50	85	45	23	90	0	0	90
Proposta 4	81	0	100	0	0	50	0	100	0
Proposta 5.1	71	90	100	68	75	50	100	100	50
Proposta 5.2	77	90	100	75	75	50	100	100	50
Proposta 5.3	79	90	100	68	75	50	100	100	50
Proposta 6	75	70	100	45	42	100	100	100	100
Proposta 7	35	10	92	0	55	10	100	0	10

Como foi demonstrado, para que o programa calcule os pesos de cada atributo, é necessário que o decisor indique igualdades entre propostas.

7.1 Definição de Equivalências entre Propostas

No caso deste concurso, foram definidas as seguintes igualdades:

Tabela 4.21 - Equivalências entre propostas.

Peritos SCE	Téc. Cred.	Currículos	=	Peritos SCE	Téc. Cred.	Currículos
Sim	Não	Péssimo	=	Não	Não	Bom
Não	Sim	Péssimo	=	Não	Não	Médio

Eq. Técnica	Calend.	Empresa	=	Eq. Técnica	Calend.	Empresa
Médio	Péssimo	Péssimo	=	Péssimo	Excelente	Péssimo
Péssimo	Bom	Péssimo	=	Péssimo	Péssimo	Excelente
Mau	Péssimo	Péssimo	=	Péssimo	Péssimo	Excelente

Pontos obrg.	Explicitação	=	Pontos obrg.	Explicitação
Médio	Péssimo	=	Péssimo	Excelente

Prop. Técnica	Preço	Mais Valias	Recursos	=	Prop. Técnica	Preço	Mais valias	Recursos
Péssimo	Excelente	Péssimo	Péssimo	=	Muito Bom	Péssimo	Péssimo	Péssimo
Péssimo	Médio	Péssimo	Péssimo	=	Péssimo	Péssimo	Excelente	Péssimo
Péssimo	Péssimo	Médio	Péssimo	=	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Excelente
Péssimo	Péssimo	Péssimo	Excelente	=	Muito Mau	Péssimo	Péssimo	Péssimo
Péssimo	Péssimo	Péssimo	Excelente	=	Péssimo	Mau	Péssimo	Péssimo

Como se pode ver na tabela, para a autora, uma proposta que apresenta currículos péssimos, não tem técnicos credenciados, mas tem peritos SCE/RSECE, é igual a uma proposta que tenha bons currículos, embora a equipa não tenha técnicos credenciados nem peritos SCE/RSECE.

Após a introdução destes dados e o accionamento do botão Calcular Pesos, obtêm-se os resultados que se apresentam de seguida.

7.2 Divisão Pesos Equipa Técnica: Peritos SCE/RSECE, Técnicos Credenciados e Currículos

Obtêm-se 3 equações a 3 incógnitas:

$$\begin{aligned}
 0 \times \lambda_1 + 100 \times \lambda_2 + 0 \times \lambda_3 &= 70 \times \lambda_1 + 0 \times \lambda_2 + 0 \times \lambda_3 \\
 0 \times \lambda_1 + 0 \times \lambda_2 + 100 \times \lambda_3 &= 50 \times \lambda_1 + 0 \times \lambda_2 + 0 \times \lambda_3 \\
 \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 &= 1
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

e, por isso, a solução é certa e imediata:

$$\begin{aligned}
 \text{Currículos:} & \lambda_1 = 0,45 \\
 \text{Peritos Qualificados SCE:} & \lambda_2 = 0,32 \\
 \text{Técnicos Credenciados:} & \lambda_3 = 0,23
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

7.3 Divisão Pesos dos Recursos: Equipa Técnica, Calendarização e Empresa

Neste caso, tem-se 4 equações a 3 incógnitas:

$$\begin{aligned}
 50 \times \lambda_4 + 0 \times \lambda_5 + 0 \times \lambda_6 &= 0 \times \lambda_4 + 100 \times \lambda_5 + 0 \times \lambda_6 \\
 0 \times \lambda_4 + 70 \times \lambda_5 + 0 \times \lambda_6 &= 0 \times \lambda_4 + 0 \times \lambda_5 + 100 \times \lambda_6 \\
 30 \times \lambda_4 + 0 \times \lambda_5 + 0 \times \lambda_6 &= 0 \times \lambda_4 + 0 \times \lambda_5 + 100 \times \lambda_6 \\
 \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 &= 1
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

é por isso necessário utilizar o método dos mínimos quadrados:

$$\min \left[(50\lambda_4 - 100\lambda_5)^2 + (70\lambda_5 - 100\lambda_6)^2 + (30\lambda_4 - 100\lambda_6)^2 \right] \tag{4.4}$$

Das equações anteriores, obtém-se:

$$\text{Equipa técnica:} \quad \lambda_4 = 0,55$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{Calendarização:} & \lambda_5 = 0,27 \\
 \text{Empresa:} & \lambda_6 = 0,18
 \end{array} \quad (4.5)$$

7.4 Divisão Pesos da Proposta Técnica: Pontos Obrigatórios e Explicitação

Neste caso, só pode ser definida uma igualdade devido a só se estarem a comparar dois atributos, e por isso tem-se 2 equações a 2 incógnitas:

$$\begin{array}{l}
 50 \times \lambda_7 + 0 \times \lambda_8 = 0 \times \lambda_7 + 100 \times \lambda_8 \\
 \lambda_7 + \lambda_8 = 1
 \end{array} \quad (4.6)$$

A solução é, assim, certa e imediata:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Pontos Obrigatórios:} & \lambda_7 = 0,67 \\
 \text{Explicitação:} & \lambda_8 = 0,33
 \end{array} \quad (4.7)$$

7.5 Divisão Pesos Atributos Alto nível: Proposta Técnica, Preço, Mais Valias e Recursos

Neste caso, têm-se 6 equações a 4 incógnitas:

$$\begin{array}{l}
 0 \times \lambda_9 + 100 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} = 90 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} \\
 0 \times \lambda_9 + 50 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} = 0 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 100 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} \\
 0 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 50 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} = 0 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 100 \times \lambda_{12} \\
 0 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 100 \times \lambda_{12} = 10 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} \\
 0 \times \lambda_9 + 0 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 100 \times \lambda_{12} = 0 \times \lambda_9 + 30 \times \lambda_{10} + 0 \times \lambda_{11} + 0 \times \lambda_{12} \\
 \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12} = 1
 \end{array} \quad (4.8)$$

A solução é obtida através do método dos mínimos quadrados:

$$\min \left[(100\lambda_{10} - 90\lambda_9)^2 + (50\lambda_{10} - 100\lambda_{11})^2 + (50\lambda_{11} - 100\lambda_{12})^2 + (100\lambda_{12} - 10\lambda_9)^2 + (100\lambda_{12} - 30\lambda_{10})^2 \right] \quad (4.9)$$

Das equações anteriores, obtém-se:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Proposta Técnica:} & \lambda_9 = 0,40 \\
 \text{Preço:} & \lambda_{10} = 0,35 \\
 \text{Mais Valias:} & \lambda_{11} = 0,17 \\
 \text{Recursos:} & \lambda_{12} = 0,08
 \end{array} \quad (4.10)$$

Nesta fase, já se pode visualizar a avaliação final das propostas:

Tabela 4.22 - Avaliação final das propostas.

Proposta	Avaliação Final (V_x)
Proposta 1	56
Proposta 2	83
Proposta 3	57
Proposta 4	57
Proposta 5.1	81
Proposta 5.2	84
Proposta 5.3	83
Proposta 6	77
Proposta 7	41

A proposta que apresenta uma avaliação mais elevada é a proposta 5.2, que por isso deveria ser a escolhida para o Edifício Picoas. Pode também verificar-se que para além das propostas da Empresa 5, a Empresa 2 tem também uma avaliação muito próxima, e que as restantes são bastante inferiores. As propostas destas empresas apresentam um nível qualitativo de Bom, o que justifica a respectiva adjudicação. As propostas 1, 3, 4 e 7 têm avaliações próximas de 50, o que significa que apenas apresentam perto de metade da qualidade quando comparadas com o que o decisor pensa ser o ideal.

A proximidade da avaliação das quatro propostas melhor classificadas faz com que exista alguma desconfiança nos resultados, ou seja, será que a diferença de pontuação entre estas quatro pode ser justificada por erros no processo de avaliação? Por esta razão, a análise de sensibilidades será muito útil para verificar a robustez da solução encontrada.

8. Pesos

Segundo as fórmulas definidas, obtêm-se os seguintes pesos finais:

$$\begin{aligned}
 \lambda'_1 &= 0,01 \\
 \lambda'_2 &= 0,01 \\
 \lambda'_3 &= 0,02 \\
 \lambda'_5 &= 0,02 \\
 \lambda'_6 &= 0,01 \\
 \lambda'_7 &= 0,27 \\
 \lambda'_8 &= 0,13 \\
 \lambda'_{10} &= 0,35 \\
 \lambda'_{11} &= 0,17
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

Das 32 simulações que o programa realiza, extraem-se os limites máximo e mínimo para cada atributo de mais alto nível:

Tabela 4.23 - Pesos máximo e mínimo possíveis dos atributos de mais alto nível.

Atributo	Peso mínimo	Peso máximo
Proposta técnica	0,35	0,45
Peso	0,31	0,40
Mais Valias	0,14	0,21
Recursos	0,04	0,11

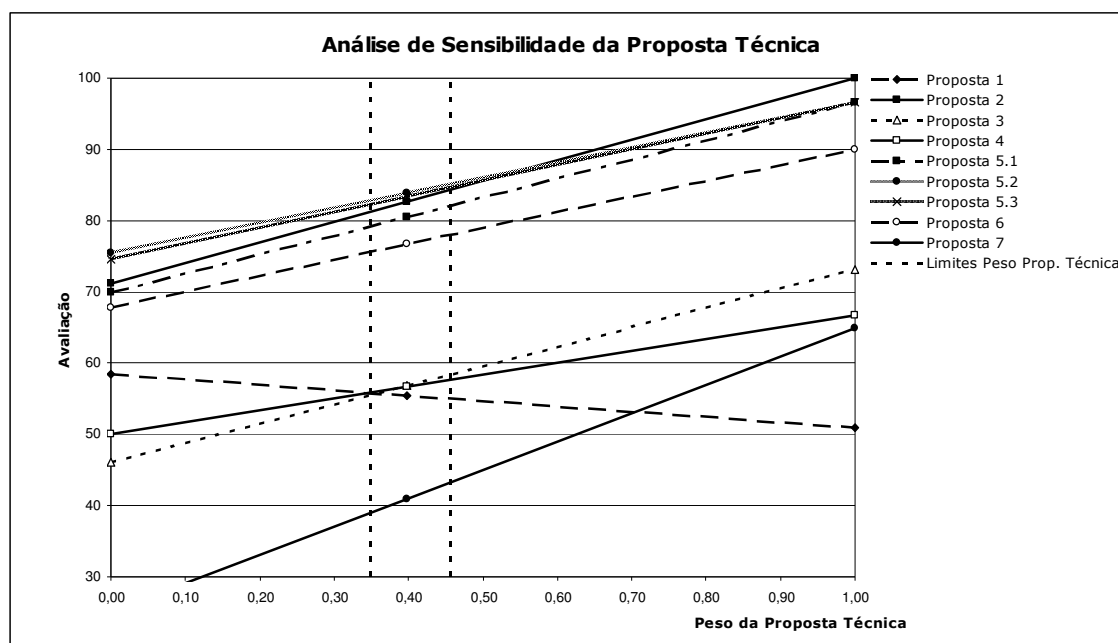
9. Análise de sensibilidade da avaliação da proposta técnica

Nesta folha de cálculo são apresentados os três conjuntos de pesos que vão definir as rectas de cada uma das propostas:

Tabela 4.24 - Conjuntos de pesos que vão definir as rectas de avaliação das propostas em função do peso da proposta técnica.

Peso Proposta Técnica	Preço	Proposta Técn.		Mais Valias	Recursos				
		Explicit.	Pontos obrig.		Calend.	Empresa	Peritos SCE	Tecn Cred.	CVs
0,00	0,58	0,00	0,00	0,29	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
0,40	0,35	0,13	0,27	0,17	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
1,00	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

As equações das rectas originam o gráfico seguinte, que permite observar o comportamento da avaliação das propostas quando o peso deste atributo varia entre zero e um:

**Figura 4.3** - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso da proposta técnica.

Do gráfico, confirma-se que a proposta 5.2 tem avaliação superior para os pesos calculados na subsecção 3.2.6. Verifica-se também que esta superioridade se mantém se o peso da proposta técnica for inferior a cerca de 0,55.

A questão que se coloca agora é saber se isto pode, de facto, acontecer. Ou seja, será que é real que o peso da proposta técnica seja superior a 0,55? Numa análise puramente intuitiva, afirmar-se-ia que não, já que implicava que fosse mais de metade da avaliação.

Para se poder fazer uma análise mais objectiva, estão traçados na Figura 4.3 os limites que foram encontrados na folha de cálculo 8 e verifica-se que a proposta 5.2 tem sempre uma avaliação superior, dentro destes limites. Pode-se assim afirmar que a solução encontrada para a melhor proposta, com respeito a este atributo, é de facto uma solução robusta, e não é afectada por eventuais erros cometidos ao longo do processo.

Análise de sensibilidade da avaliação do Preço, Mais Valias e Recursos

Foi realizada uma análise semelhante para os restantes atributos, e observou-se que a proposta 5.2 é a que tem uma avaliação superior dentro de todos os intervalos de variação:

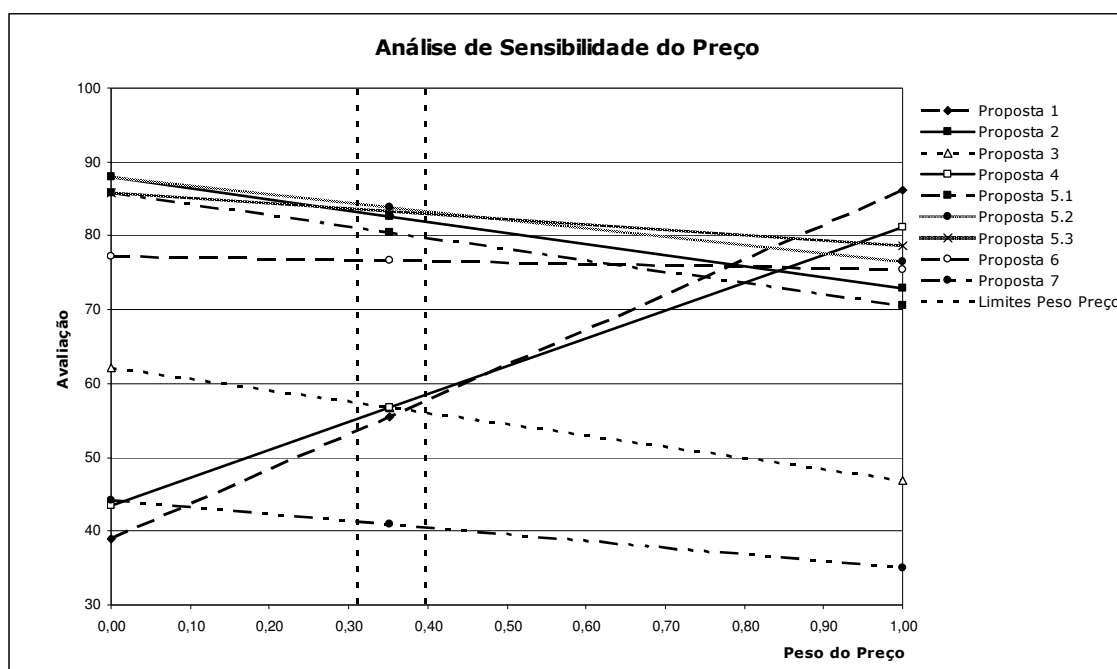


Figura 4.4 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso do preço.

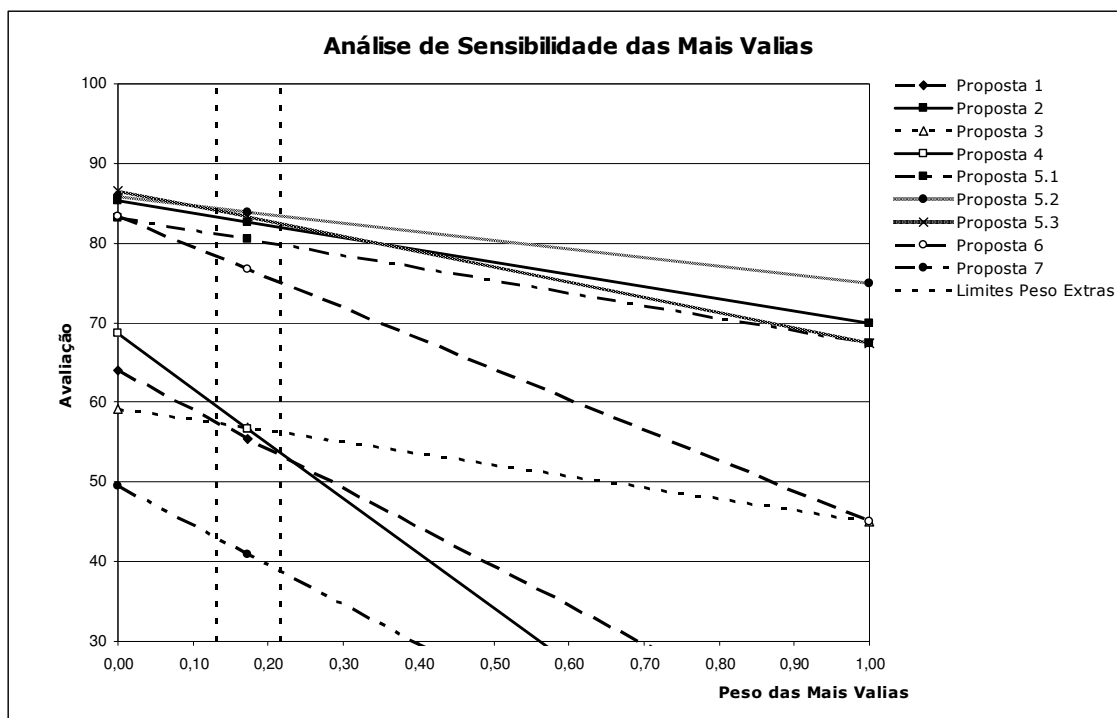


Figura 4.5 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso das Mais Valias.

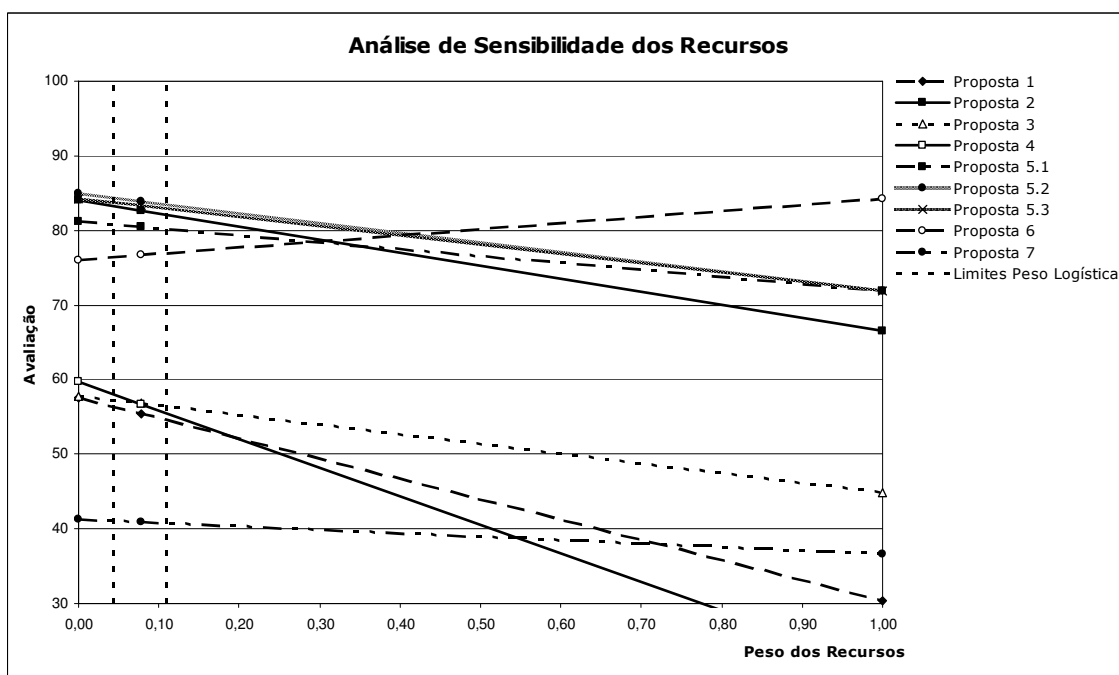


Figura 4.6 - Gráfico com a avaliação das proposta em função do peso dos Recursos.

Conclui-se assim que a Proposta 5.2 continua a ter uma avaliação superior, mesmo quando os atributos variam dentro da gama possível de valores. Este facto demonstra que a solução é robusta e de confiança.

4.2.3 Análise Crítica do Processo de Avaliação das Propostas

Estruturar e formalizar o processo de decisão é essencial pois permite ao agente de decisão definir e fundamentar a sua estratégia de decisão assegurando uma coerência de valorização que pode ser verificada e validada por outros agentes. Desta forma, é possível definir uma estratégia de decisão da empresa, validada por instancias de decisão superiores, ficando menos dependente das subjectividades ou parcialidades dos decisores individuais.

Comparando a árvore da Figura 4.1 com a árvore da Figura 3.5, podemos concluir que os atributos definidos para avaliação das propostas na **Especificação Técnica** da Consulta, seguido pela empresa, estão também na estrutura de avaliação do **Método Proposto** nesta dissertação, mas não são atributos de baixo nível. Ou seja, os atributos gerais são os mesmos (Preço, Proposta Técnica, Recursos e Mais Valias), mas neste documento propõe-se uma subdivisão dos parâmetros a avaliar de forma a tornar a avaliação mais simples e mais objectiva. Na árvore utilizada pelo decisor, o atributo geral Preço é avaliado por dois subatributos: Preço Total e Preços Parcelares. Embora na árvore definida na metodologia desenvolvida não exista subdivisão do atributo Preço, está implícita a avaliação dos preços parcelares e do preço total pois é feito o cálculo do Valor Actualizado Líquido para avaliar este atributo. Na avaliação da Proposta Técnica, definiu-se uma subdivisão em dois atributos, pois é necessário garantir que se avalia quer o grau de cumprimento do que é pedido (Pontos Obrigatórios), quer a adequada apresentação do que vai ser feito (Explicitação). Na árvore elaborada pelo decisor, apenas é definida uma Apresentação Técnica dos Trabalhos a Realizar, que é bastante vago e difícil de avaliar, já que não são definidos os parâmetros que estão a ser avaliados sobre este atributo nem está definida a relação entre o nível de satisfação do decisor e a avaliação a atribuir. Em relação ao atributo Recursos, a árvore de avaliação definida neste documento tem mais dois atributos de baixo nível: Calendarização e Peritos SCE. De facto, a árvore definida pelo decisor é manifestamente insuficiente neste ponto, já que não avalia a programação dos trabalhos nem a existência de Peritos Qualificados, indispensáveis ao processo de certificação energética do edifício. O atributo Mais Valias figura igualmente nas duas árvores.

Da comparação anterior se conclui que, embora tenham uma estrutura semelhante, a árvore definida na metodologia proposta é muito mais completa e objectiva, com atributos claramente definidos e mais objectivamente quantificáveis.

Na tabela seguinte encontram-se os pesos definidos na Especificação Técnica e os pesos calculados pelo método proposto para os atributos de mais alto nível:

Tabela 4.25 - Tabela comparativa dos pesos definidos na Especificação Técnica e dos pesos calculados pelo método proposto.

Atributo	Peso Especificação Técnica	Pesos do Método Proposto		
		Nominal	Peso mínimo	Peso máximo
Proposta Técnica	0,30	0,40	0,35	0,45
Preço	0,40	0,35	0,31	0,40
Mais Valias	0,20	0,17	0,14	0,21
Recursos	0,10	0,08	0,04	0,11

Os pesos não variam muito nas duas situações e a maior diferença está ao nível do atributo que é considerado mais importante. Na Especificação Técnica, o atributo mais importante foi definido como sendo o preço.

Quando comparados com os limites máximos e mínimos, da Especificação Técnica, verifica-se que o atributo Preço foi sobrevalorizado ao contrário do atributo Qualidade Técnica que foi subvalorizado. Este facto reflecte uma cultura de subvalorização dos serviços de eficiência energética, existindo ainda uma tendência de decisão para o cumprimento de requisitos obrigatórios com custos mínimos.

Olhando para o contexto actual, percebe-se que as empresas ainda não acreditam que o dinheiro investido na área da eficiência energética traz, a médio prazo, benefícios económicos que fazem a amortização do investimento em períodos aceitáveis. Por esta razão, não investem muito nessa área, o que condiciona as opções do decisor à definição da estratégia da empresa.

A Tabela 4.26 apresenta as avaliações totais, sem preço, obtidas pelo decisor e pelo método proposto:

Tabela 4.26 - Tabela com as avaliações totais, sem preço, obtidas pelo decisor da PT Comunicações e pelo método proposto.

Proposta	Avaliação obtida pelo Decisor (sem preço)		Avaliação obtida pelo Método Proposto (sem preço)	
	Pontuação	Classificação	Pontuação	Classificação
Proposta 1	35	6	25	9
Proposta 2	40	5	57	1
Proposta 3	30	7	40	6
Proposta 4	29	8	28	8
Proposta 5.1	45	1	56	3
Proposta 5.2	45	1	57	1
Proposta 5.3	45	1	56	3
Proposta 6	41	4	50	5
Proposta 7	eliminada	9	29	7

A proposta adjudicada para o Edifício Picoas foi a Proposta 2. Na aplicação do método desenvolvido, e não entrando com a avaliação do preço, esta proposta ficou em primeiro lugar, com uma avaliação que igual à da Proposta 5.2.

A escolha feita foi verificada pelo método desenvolvido como sendo a melhor. Embora as funções de valor tenham sido definidas pela própria autora, assumindo o papel de agente de decisão, a análise de sensibilidade realizada garante a robustez e fiabilidade da decisão face à mudança de agente de decisão.

As avaliações qualitativas das restantes propostas por parte do decisor da PT Comunicações estão também totalmente de acordo com a pontuação obtida:

- As quatro propostas que foram sequencialmente eliminadas pelo decisor por estarem desenquadradas do pretendido e não apresentarem todos os elementos obrigatórios do Caderno de Encargos e Propostas de Consulta (Propostas 1, 3, 4 e 7) são também as que têm avaliação inferior a 50, no método proposto (não considerando o preço).

- As Propostas 2, 5.1, 5.2, 5.3 e 6 satisfaziam todos os requisitos técnicos, pelo que a adjudicação deveria pender para uma delas. Estas são as propostas com melhores avaliações e dentro do pretendido.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

A análise feita no Capítulo 2, relativamente à situação actual, mostra existir um crescimento das respostas técnicas, financeiras e de envolvente relativamente às questões de eficiência energética. Como também foi visto, as razões que conduzem a esta realidade são várias, dentro das quais se destacam a legislação, a necessidade de reduzir custos e a consciência ambiental. Em muitas empresas as soluções técnicas e financeiras passam pela contratação de serviços energéticos, existindo a necessidade por parte do cliente de metodologias de decisão adequadas para a escolha destes prestadores de serviços.

Neste contexto, tem-se verificado uma grande evolução ao nível do equipamento consumidor de energia dos edifícios de serviços, com o lançamento de soluções cada vez mais eficientes ao nível da iluminação, equipamento de escritório, produção de água quente sanitária e climatização. A diversidade de soluções existentes e a complexidade da legislação exigiram o aparecimento de empresas especializadas em identificar e implementar medidas de melhoria da eficiência energética desses edifícios e em garantir a certificação energética das instalações

Do lado do proprietário do edifício, aparece uma nova problemática: elaborar concursos para realização desses trabalhos e fazer a melhor escolha. Desde logo, se identifica uma dificuldade: definir a estrutura a seguir neste tipo de concursos. Conforme apresentado no Capítulo 3, existem duas possibilidades: fazer um concurso e contratar uma única empresa para realizar as auditorias e implementar as soluções economicamente viáveis, ou escolher várias empresas para a realização dessas auditorias e depois escolher a ou as empresas que vão implementar as soluções propostas.

Do ponto de vista do decisor, as duas estruturas têm um ponto em comum: a avaliação das propostas. Este era, sem dúvida, o grande objectivo deste trabalho: olhar para o problema do ponto de vista das empresas detentoras de edifícios de serviços e encontrar um método expedito e confiável para a avaliação das propostas.

Dada a quantidade de atributos que caracterizam as propostas, uma avaliação justa e objectiva só é possível recorrendo a métodos de decisão. Foi por isso desenvolvida uma metodologia baseada na soma ponderada, descrita no Capítulo 3, e implementada num aplicação informática, de forma a permitir a sua utilização pelos decisores.

A utilidade e a fiabilidade dos resultados obtidos com a metodologia proposta foram confirmados pela aplicação do método a uma consulta lançada pela PT Comunicações, e que corresponde ao caso de estudo analisado neste documento. Esta análise, descrita no Capítulo

4, permite retirar desde logo uma importante conclusão: as empresas já estão a requerer serviços energéticos no sentido de certificar os edifícios e aumentar a eficiência energética dos mesmos, existindo necessidade de melhorias, quer nas Especificações Técnicas, quer ao nível da avaliação das propostas. Nestes dois aspectos, a metodologia desenvolvida tem aplicabilidade específica para os edifícios de serviços.

Este é apenas o ponto de partida. Após a escolha do adjudicatário, e a realização das auditorias, vem todo o processo de negociação das soluções a implementar, que se pode revelar bastante complexo, principalmente no caso de as auditorias terem sido realizadas por várias empresas. Embora não fosse este um dos objectivos do presente trabalho, é, sem dúvida, um ponto que necessita de ser analisado em pormenor e de ser, também ele, parametrizado, de forma a possibilitar uma análise objectiva das propostas.

Depois de desenvolvida a metodologia de decisão de adjudicação para prestação de serviços de auditoria e serviços de certificação energética, o trabalho futuro passa por definir metodologias de decisão de adjudicação do EPC, após terem já sido apresentadas medidas concretas a implementar para aumentar a eficiência energética dos edifícios.

Como qualquer área que se começa a desenvolver, existem muitos pontos a melhorar que apenas serão detectados e corrigidos com a prática. Este trabalho constitui um ponto de partida em todo o processo, e que certamente poderá ser melhorado e adaptado de acordo com a experiência que for sendo adquirida..

Referências

- [1] *Informação mensal - Sistema Electroprodutor, Dezembro 2007*. Disponível em www.ren.pt.
- [2] *Sustainable Development Indicators - Energy intensity of the economy*. Disponível em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. Acesso em 01/Junho/2008.
- [3] Portal SCE. Disponível em <http://www.adene.pt>. Acesso em 01/Junho/2008.
- [4] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril.
- [5] *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril.
- [6] *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)*. Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril.
- [7] *Panorama of Energy - Energy statistics to support EU policies and solutions*. Disponível em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>. Acesso em 01/Junho/2008.
- [8] *Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE)*. Decreto-Lei nº 71/2008 de 2008-04-15.
- [9] *Calendarização da aplicação do SCE*. Portaria nº 461/2007, de 5 de Junho de 2007.
- [10] *Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE)*. Decreto-Lei nº 58/82 de 1982-02-26, e Portaria n.º 359/82, de 1982-04-07.
- [11] *Estatísticas - Indicadores Energéticos (1990-2006)*. Disponível em www.dgge.pt.
- [12] *Tarifas e Preços para a Energia Eléctrica e Outros Serviços em 2006 e Parâmetros para o Período de Regulação 2006-2007*. Dezembro 2005. Disponível em www.erse.pt.
- [13] *World Energy Outlook 2007 - Fact Sheet oil - IEA*. Disponível em <http://www.iea.org>.
- [14] *U.S. Department of Energy (DOE)*. Disponível em <http://www.energy.gov>. Acesso em 12/Abril/2008.
- [15] Bruno, Joan Carles, *Technical Module on Combined Heat and Power - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [16] Paulssen, Kai; Hermann, Laurenz, *Technical Module on Lightning - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [17] Catálogo Osram, 2007.
- [18] Kallmann, Kerstin, *Office Equipment Technical Module - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [19] Rebelo, Rita Chaves, *Comparação entre custos do consumo de energia de um Desktop e de um Laptop*. PT Comunicações, 2008.
- [20] Vários autores, *Guía sobre eficiências energética en comunidades de propietarios*. Comunidad de Madrid, 2006.
- [21] CEEETA - Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente. Disponível em <http://www.ceeeta.pt>. Acesso em 12/Abril/2008.

- [22] *Space Cooling Technology Atlas*. Disponível em <http://www.esource.com>. Acesso em 19/Abril/2008.
- [23] *Energy Star Building Manual*. Disponível em <http://www.energystar.com>.
- [24] *Boilerinfo.org*. Disponível em <http://www.boilerinfo.org>. Acesso em 19/Abril/2008.
- [25] *Directiva 92/42/CEE Do Conselho de 21 de Maio de 1992 relativa às exigências de rendimento para novas caldeiras de água quente alimentadas com combustíveis líquidos ou gasosos*. Conselho das Comunidades Europeias.
- [26] *The IEA Heat Pump Programme's Information Centre*. Disponível em <http://www.heatpumpcentre.org>. Acesso em 19/Abril/2008.
- [27] Adnot, Jerome; Dupont, Maxime, *Air-Conditioning Technical Module - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [28] Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. Disponível em <http://ure.arem.pt>. Acesso em 20/Abril/2008.
- [29] Adnot, Jerome; Dupont, Maxime; Daniela Bory, *A Benchmarking guide adapted to air conditioning based on electricity bills - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [30] Brook, Martha and others, *Options for energy efficiency in existing buildings*. California Energy Commission, 2005.
- [31] Paar, Angelika; Kallmann, Kerstin, *Technical Module on Heating - The European GreenBuilding Programme*. Disponível em <http://www.eu-greenbuilding.org>.
- [32] *Energy Efficiency - we energies*. Disponível em http://wwwstg.we-energies.com/business_new/energyeff/energymgt_info.htm. Acesso em 20/Abril/2008.
- [33] Poole, Alan Douglas and Stoner, Thomas H., Jr, *Alternative Financing Models for Energy Efficiency Performance Contracting*. INEE, 2003.
- [34] Edmund, Norman W., *Decision Making - A guide to creative decision making & critical thinking*. Disponível em DecisionMaking.org.
- [35] International Society on Multiple Criteria Decision Making, *E-News March 2008*. Disponível em www.terry.uga.edu/mcdm.
- [36] Bouysson, Denis and others, *Evaluation and decision models, a critical perspective*. Kluwer's international series, 2000.
- [37] Keeney, Ralph L., *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. New York: John Wiley & Sons, cop. 1976.
- [38] Raiffa, Howard, *Teoria da Decisão*. Petrópolis, Editora Vozes, 1977.
- [39] Hwang, Chin-Lai and Kwangsun Yoon, *Multiple attribute decision making*. Springer-Verlang, 1981.
- [40] Goodwin, Paul and Wright, George, *Decision analysis for management judgement*. Wiley, second edition, 1998.
- [41] Weber, M; Eisenfuhr, F. and von Winterfeldt, D., *The effects of splitting attributes on weights in multiattribute utility measurement*, pág. 431-445. Management Science, 1988.
- [42] Pöyhönen, Mary e Hämäläinen, R. P., *On the convergence of multiattribute weighting methods*. Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research report A66, 1997.
- [43] Mendes Bello, António, *Certificação Energética e Ar Interior, Plano de Racionalização de Consumo de Energia, Especificação Técnica*. PT Comunicações, 2007.