

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Apoio à Decisão em Planeamento Energético Urbano
Integrado

Dulce Helena de Carvalho Coelho

Coimbra 2012

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Carlos Henggeler Antunes e Professor António Gomes Martins, quero expressar o meu primeiro, maior e especial agradecimento pelo estímulo e pelo incondicional e invulgar apoio, sem os quais este trabalho não se teria realizado. Agradeço-lhes, ainda, pela leitura atenta e pelas sugestões na revisão do texto final desta dissertação.

Ao Professor Luís Dias, pela disponibilização do *software* IRIS e pela ajuda na familiarização com o programa.

Aos vereadores e técnicos da Câmara Municipal de Coimbra, pela colaboração nas entrevistas e pelos esclarecimentos prestados durante as várias sessões de trabalho. Um especial agradecimento ao Engenheiro Zeferino Ferreira pelas sugestões oportunas na validação e aplicação do modelo.

Aos técnicos da Direção Regional de Economia do Centro, da Eletricidade de Portugal, da Agência de Energia de Vila Nova de Gaia, pela colaboração nas entrevistas e por todos os esclarecimentos prestados.

Aos Professores do DEEC, DEM e DEC da Universidade de Coimbra, por todos os esclarecimentos e sugestões.

Aos retalhistas e consumidores que se disponibilizaram para colaborar nas entrevistas.

À Presidência do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra e ao programa PROTEC, pela dispensa parcial de serviço docente durante os dois últimos anos letivos.

Ao INESC Coimbra, pelas condições de trabalho proporcionadas e pelos meios disponibilizados.

À Carla, pela amizade, estímulo e grande apoio, tão importantes na fase final deste trabalho.

À minha família pelo incentivo e apoio incondicional recebidos em todos os momentos, sobretudo nos menos bons. Um agradecimento especial à Mêmê e ao Fajé pela preciosa ajuda na revisão final do texto desta dissertação e à Teresinha pela agradável companhia neste último ano de trabalho.

Aos ausentes, que continuaram sempre muito presentes ao longo de todo o trabalho.

Finalmente, à Inês, o meu melhor e mais querido projeto e a quem dedico este trabalho.

Resumo

Esta tese desenvolve uma abordagem metodológica com base em Análise Multicritério, que pode ser utilizada para auxiliar a tomada de decisão em problemas de planeamento energético num contexto urbano. A metodologia destina-se a fornecer um conjunto detalhado de informação para o desenvolvimento de estratégias de planeamento energético urbano integrado. Esta abordagem pode ser vantajosa não só para as autoridades ou decisores locais mas também para outros atores envolvidos no processo de planeamento energético, tais como cidadãos, agências de energia, investidores, agentes de mercado e operadoras de energia. A metodologia proposta pode ser utilizada para apoiar na implementação de planos energéticos municipais, desde a fase inicial de identificação dos atores relevantes, com diferentes interesses e preferências, até à fase de seleção de ações a considerar para avaliação e implementação.

A proposta metodológica inicia-se com a estruturação e formulação do problema. A metodologia *Soft Systems Methodology* (SSM) permitiu consolidar o conhecimento sobre a situação problemática em estudo, identificando os principais atores envolvidos e estruturando os seus valores. A identificação dos atores relevantes foi efetuada com recurso a entrevistas realizadas com especialistas e partes interessadas (*stakeholders*) locais. As linhas orientadoras do *Value Focused Thinking* foram seguidas para a identificação e estruturação dos valores num conjunto de objetivos fundamentais e de meios. A adoção destas linhas orientadoras permitiu definir medidas de desempenho, bem como clarificar os pontos de vista das partes interessadas em valores de compromisso (*trade-offs*) relevantes entre os objetivos fundamentais.

O modelo de avaliação multicritério desenvolvido destina-se à problemática de classificação, isto é, a ação é classificada, de acordo com o seu mérito absoluto, em categorias ordenadas predefinidas. Neste contexto, o método ELECTRE TRI foi selecionado, permitindo o uso de diferentes escalas (quantitativas ou qualitativas) para diferentes critérios. Deste modo, é possível avaliar ações em qualquer fase do processo de avaliação, permitindo ainda considerar a incerteza associada ao desempenho nalguns critérios. O modelo proposto contempla 12 critérios (económicos, técnicos, ambientais e sociais). Um conjunto de alternativas de planeamento energético foi considerado para a validação empírica do modelo num contexto real de decisão, abrangendo medidas de eficiência energética e sistemas de energias renováveis aplicáveis aos setores residencial, de serviços e infraestruturas municipais.

Apesar de a metodologia ter sido desenvolvida num contexto nacional, usando uma cidade portuguesa de média dimensão como cenário de decisão, e considerando a legislação e programas de apoio nacionais e internacionais aplicáveis, a metodologia poderá ser aplicada noutros municípios nacionais ou de outros países, tendo em conta as particularidades de cada sistema energético urbano em análise.

Abstract

This thesis *Decision Support in Integrated Urban Energy Planning* describes the development of a methodological approach based on Multicriteria Analysis that can be used to facilitate decision making in sustainable energy planning problems in an urban context. The methodology is aimed at providing a set of detailed information, useful to the decision support process in developing strategies for integrated urban energy planning. It can be useful not only for local authorities or decision-makers but also for other actors involved in energy planning, such as citizens, energy agencies, investors, market agents and energy distribution companies. The methodology proposed can be used to support the implementation of municipal energy plans for cities from the start-up phase, for the identification of the relevant actors, with different interests and preferences, until the phase of selecting actions to be evaluated and implemented.

Firstly, a problem structuring phase has been carried out. The Soft Systems Methodology (SSM) has been used for clarifying the decision problem context, identifying the main interest groups involved and structuring their values. For the identification of the relevant actors interviews have been conducted with experts and local stakeholders. The Value-Focused Thinking approach was then used to identify a comprehensive set of values, structure this list of values into a set of fundamental objectives and means objectives, define performance measures for the fundamental objectives and clarify the stakeholders' views on relevant value trade-offs among the fundamental objectives.

The multicriteria evaluation model herein considered is devoted to the sorting problem, that is, a given course of action is classified into pre-defined ordered categories according to its absolute performances. For this purpose the ELECTRE TRI method has been selected, which allows for the use of different (qualitative or quantitative) scales for different criteria. This enables to evaluate the potential courses of action on an "as they come" basis and accounts for the uncertainty associated with their performances in some criteria. The proposed model considers 12 criteria (economic, technological, environmental and social criteria). A set of energy planning alternatives was considered for the empirical validation of the model in a real world context, covering energy efficiency measures and renewable energy systems with application in the residential and service sectors and in municipal infrastructures.

Although the methodology has been prepared in a Portuguese context, using a medium sized Portuguese city as the decision set and referring to Portuguese legislation and support programs, the methodology and topics are general and thus also relevant for other municipalities, either in Portugal or in other countries, taking into account local circumstances.

Índice Geral

Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Modelos de Planeamento Energético	9
2.1 – Introdução	9
2.2 – Classificação dos modelos de energia	12
2.2.1 – Considerações introdutórias	12
2.2.2 – Apresentação de uma possível classificação.....	13
2.3 – Apoio multicritério à decisão no setor energético.....	20
2.3.1 – Métodos de avaliação multicritério	22
2.3.2 – Aplicações MCDA no setor energético	27
2.4 – Modelos de energia no contexto urbano.....	31
2.5 – Notas conclusivas.....	34
Capítulo 3 - Aplicação da Soft Systems Methodology à problemática energética urbana	37
3.1 – Introdução	37
3.2 – Metodologias de Estruturação de Problemas.....	39
3.2.1 - A escolha de SSM	42
3.3 - Soft Systems Methodology – Conceito e estrutura.....	43
3.4 - Aplicação da Soft Systems Methodology	48
3.4.1 – O sistema energético urbano	48
3.4.2 – Estruturação do problema	53
3.4.3 – Formulação da Definição de Raiz	60

3.4.4 - Construção do Modelo Conceptual	62
3.4.5 - Comparação do Modelo Conceptual com o Mundo Real	64
3.5 – Notas conclusivas.....	65
Capítulo 4 - Construção do Modelo Multicritério	67
4.1 – Introdução	67
4.2 – A Estratégia Value-Focused Thinking	70
4.2.1 – Identificação e estruturação dos objetivos	71
4.2.2 – Especificação dos Critérios	73
4.3 – Identificação e estruturação dos objetivos da problemática energética urbana .	75
4.4 – Contexto de identificação das ações.....	82
4.5 – Processo de avaliação	85
4.5.1 – Breve descrição do método ELECTRE TRI.....	86
4.5.2 – Aplicação computacional IRIS.....	89
4.6 – Notas conclusivas.....	91
Capítulo 5 - Aplicação do Modelo	93
5.1 - Introdução.....	93
5.2 – Seleção do conjunto das ações	95
5.3 – Dados quantitativos	97
5.4 – Dados qualitativos	103
5.5 – Desempenhos, perfis e limiares	104
5.6 – Análise de alguns resultados obtidos.....	111
5.7 – Nota conclusivas	123
Capítulo 6 – Conclusões e propostas para futuro trabalho	125
Lista de Acrónimos	131
Referências	133

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Representação esquemática da classificação dos modelos de energia.....	20
Figura 2.2 – Métodos de avaliação multicritério.....	24
Figura 3.1 – As sete etapas da SSM.....	44
Figura 3.2 – Diagrama de Sankey de um sistema energético urbano.....	49
Figura 3.3 – O sistema urbano e as interações energéticas.....	50
Figura 3.4 – <i>Rich-picture</i> do sistema energético urbano.....	59
Figura 3.5 – Modelo conceptual do sistema energético urbano.....	62
Figura 4.1 – Representação esquemática da estrutura de um processo MCDA.....	68
Figura 4.2 – Ilustração esquemática da estratégia <i>Value-Focused Thinking</i>	70
Figura 4.3 – Árvore dos objetivos do sistema energético urbano.....	78
Figura 4.4 – Definição de categorias no ELECTRE TRI.....	87
Figura 4.5 – Exemplo de aplicação do IRIS – sistema de restrições consistente.....	90
Figura 4.6 – Exemplo de aplicação do IRIS – sistema de restrições inconsistente.....	91
Figura 5.1 – Resultados obtidos para o grupo de ações tecnologias eficientes.....	112
Figura 5.2 – Variação dos parâmetros λ, k_j ($j=1, \dots, 12$) para a ação “LED 80 W”....	113
Figura 5.3 – Resultados obtidos para o grupo de ações energias renováveis.....	113
Figura 5.4 – Resultados obtidos para o grupo de ações renovação de edifícios.....	114
Figura 5.5 – Resultados obtidos para o setor residencial.....	115
Figura 5.6 – Resultados obtidos para o setor serviços-privado.....	116
Figura 5.7 – Resultados obtidos para o setor serviços-público/municipal.....	117
Figura 5.8 – Resultados obtidos com a alteração dos parâmetros no setor serviços- público/municipal.....	118
Figura 5.9 – Resultados obtidos com a consideração de exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.....	119
Figura 5.10 – Resultados obtidos com a consideração de novos exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.....	120

Figura 5. 11 – Resultados obtidos com a consideração de mais exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.	121
Figura 5. 12 – Resultados obtidos para os 3 cenários considerados para o setor serviços- público/municipal.....	122

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de energia.....	17
Tabela 2.2 – Aplicações de MCDA ao setor energético.	29
Tabela 2.3 – Modelos/metodologias aplicados à problemática de energia em ambiente urbano.	32
Tabela 3.1 – Os elementos CATWOE e as suas fontes básicas de informação.	60
Tabela 4.1 – Objetivos identificados durante a aplicação da SSM.....	75
Tabela 4.2 – Identificação dos critérios de avaliação.	77
Tabela 5.1 – Caracterização dos edifícios existentes no município.	94
Tabela 5.2 – Consumos de energia no município nos anos de 2008, 2009 e 2010 (MWh).	94
Tabela 5.3 – Descrição das diferentes ações por tipo de intervenção.....	96
Tabela 5.4 – Parâmetros usados na avaliação das ações – tecnologias eficientes.....	98
Tabela 5.5 – Parâmetros usados na avaliação das ações – energias renováveis.....	99
Tabela 5.6 – Parâmetros usados na avaliação das ações – renovação de edifícios.	100
Tabela 5.7 – Impacto da renovação de edifícios nas necessidades de climatização.....	102
Tabela 5.8 – Fatores de emissão de CO ₂ por forma de energia.	103
Tabela 5.9 – Escalas de avaliação dos critérios qualitativos.	103
Tabela 5.10 – Desempenhos – Ações tecnologias eficientes.	105
Tabela 5.11 – Perfis e limiares – Ações tecnologias eficientes.....	106
Tabela 5.12 – Perfis e limiares – Ações renovação de edifícios.	106
Tabela 5.13 – Desempenhos – Ações renovação de edifícios.....	107
Tabela 5.14 – Desempenhos – Ações energias renováveis.....	108
Tabela 5.15 – Perfis e limiares – Ações energias renováveis.	108
Tabela 5.16 – Perfis e limiares – Ações setor residencial.....	109
Tabela 5.17 – Perfis e limiares – Ações setor serviços-privado.....	109
Tabela 5.18 – Perfis e limiares – Ações setor municipal.	110
Tabela 5.19 – Novos perfis e limiares – Ações setor serviços-público/municipal.....	117

Capítulo 1 - Introdução

As cidades podem ser consideradas como catalisadoras de desenvolvimento tecnológico e inovação em todo o mundo. A maioria das atividades humanas encontra-se concentrada no seu seio, não só como resultado do crescimento demográfico mas também devido às migrações registadas a partir das zonas rurais menos prósperas.

As várias dimensões da vida urbana – ambientais, económicas, sociais – estão interligadas e o êxito da adoção de medidas de política necessárias para a prossecução de um desenvolvimento urbano sustentável, que assume particular relevância no debate atual, apenas poderá ser alcançado através de uma abordagem integrada.

De acordo com as Nações Unidas (UN, 2012), cerca de metade dos 6.9 biliões da população mundial reside em áreas urbanas (em 2010, a percentagem de população urbana era de 50.5, 72.8 e 60.7, respetivamente, no mundo, na Europa e em Portugal), e, em 2030, prevê-se que 59% da população mundial venha a residir nestas zonas (78.4% na Europa e 71.4% em Portugal).

As cidades caracterizam-se por elevados níveis de consumo energético e são espaços assinalados por elevados índices de emissão de poluentes. Cerca de dois terços do consumo mundial de energia, estimado em 7900 Mtep, em 2006, ocorre nas cidades e representa mais de 70% das emissões globais de gases com efeito de estufa, prevendo-se ainda um aumento significativo destes valores em 2030 (IEA, 2008). Este padrão de consumo energético - e conseqüente aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) - nas cidades pode ser reduzido se os governos locais adotarem medidas de mitigação destes impactos ambientais, reduzindo a taxa de utilização dos recursos energéticos em geral.

O planeamento sustentável das infraestruturas energéticas urbanas é uma das questões prioritárias da política energética atual. Neste contexto, vários municípios em todo o mundo têm tratado as questões energéticas a um nível local, tentando encetar iniciativas para implementar planos energéticos locais, desenvolvendo projetos locais para aproveitamento de recursos renováveis de energia e procurando incentivar a adoção de medidas para a conservação e a eficiência energéticas entre os residentes, atividades económicas e entidades governamentais locais. Os governos locais têm um móbil muito importante na promoção de práticas de planeamento energético sustentável (CEC, 2005), que pode ocorrer fundamentalmente em três situações: no seio do funcionamento dos próprios governos locais (estes são frequentemente grandes consumidores de eletricidade ao nível dos edifícios e das instalações públicas, sistemas de fornecimento de água e em outras infraestruturas essenciais, como a iluminação pública); no âmbito do setor privado, através da promoção da utilização eficiente de energia e de recursos alternativos, devido ao seu papel dominante na estruturação do ambiente urbano; ao nível da regulamentação de propostas de desenvolvimento de longo prazo, de modo a promover uma localização adequada dos equipamentos e a reduzir os efeitos negativos da urbanização nos sistemas energéticos e no ambiente em geral.

Várias políticas e programas têm sido estabelecidos para apoiar os governos locais a desencadear ações mitigadoras das alterações climáticas. Da Agenda 21 (o plano de ação global para o desenvolvimento sustentável) ressalta o facto de as cidades desempenharem um papel crucial na implementação de políticas energéticas sustentáveis, devendo ser apoiadas e estimuladas na prossecução das suas ações. Em 1997 (aquando da assinatura do Protocolo de Kyoto), houve um movimento crescente ao nível dos governos regionais e locais, no sentido de colocar as alterações climáticas nas agendas locais. Este movimento foi desencadeado sob os auspícios de três plataformas transnacionais de redes de governos locais – *Climate Alliance*, *Cities for Climate Protection* (programa do Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais – ICLEI) e *Energy-Cities* (anteriormente designada *Energie-Cités*, é a Associação Europeia dos governos locais para a política energética sustentável). As iniciativas mais recentes, desenvolvidas neste âmbito, levaram à criação de um grupo de liderança para as alterações climáticas nas cidades (*C40 Cities Climate Leadership Group*), uma rede de grandes cidades de todo o mundo, criada em 2005, empenhada

nestas questões e na implementação de ações significativas, ao nível local, relacionadas com o desenvolvimento sustentável e as alterações climáticas, com o objetivo de mitigar o problema das alterações climáticas ao nível global (C40Cities, 2012). Uma outra iniciativa conduziu à assinatura do Pacto de Autarcas (*Covenant of Mayors*), que foi proposto pela Comissão Europeia (European Commission, 2012), após a adoção, em 2008, do Pacote Energia-Clima da União Europeia. Este Pacto é o principal movimento europeu que envolve autarquias locais e regionais voluntariamente empenhadas no aumento da eficiência energética e na utilização de fontes de energias renováveis nos respetivos territórios. Através deste compromisso, os signatários pretendem atingir e ultrapassar o objetivo da União Europeia de redução de emissões de CO₂ em 20% até 2020 (relativamente aos níveis de 1990). Este compromisso formal deverá ser alcançado através da implementação de Planos de Ação para a Energia Sustentável (PAES), que definem as atividades e medidas previstas para atingir as metas, assim como os prazos e responsabilidades atribuídos.

De modo a ser possível apoiar os municípios e outros atores locais a implementar planos energéticos sustentáveis, os decisores locais procederão desde logo à identificação das políticas, planos, procedimentos e regulamentações municipais, regionais e nacionais existentes, que têm impactos ao nível energético e climático local (regulamentação da construção, de modo a incentivar a poupança de energia; contratos de desempenho energético - uma ferramenta importante na renovação das edificações – ou programas de apoio ao uso de tecnologias renováveis específicas). Mas, para prestar aquele apoio, esses decisores necessitam também de métodos e utensílios computacionais para apoiar o processo de tomada de decisão em planeamento energético urbano sustentável. Os processos de planeamento tradicional não incorporam considerações energéticas no seu âmbito e os métodos e utensílios computacionais utilizados não facultam qualquer informação acerca dos impactos energéticos, limitando a capacidade das autoridades locais e dos cidadãos na tomada de decisões bem fundamentadas relativamente ao uso racional de recursos energéticos no ambiente urbano.

Em oposição ao que sucede em outras áreas de planeamento energético, tais como no planeamento de energias renováveis, na afetação de recursos energéticos, na gestão dos sistemas de abastecimento de energia ou no planeamento dos serviços públicos de

eletricidade, onde têm sido desenvolvidas técnicas sofisticadas de apoio à decisão, têm sido propostas poucas ferramentas de apoio técnico que permitam às autoridades locais conduzir e desenvolver os seus planos de ação energéticos e climáticos (Neves e Leal, 2010).

Nas estratégias energéticas tradicionais, centradas em um ou mais setores (principalmente em eficiência energética, no lado da procura e da oferta), as ligações essenciais entre as políticas energéticas e ambientais, económicas e sociais não são abordadas de modo integrado, descurando, portanto, a relação da problemática energética com outros problemas também complexos. Cai et al. (2008) referem-se a diversos modelos, argumentando que os estudos tradicionais não permitem refletir as complexidades associadas aos sistemas energético, socioeconómico, ambiental, bem como as suas interações nos sistemas de gestão energética. Apenas alguns estudos analisaram as interligações existentes entre as atividades/serviços energéticos, estratégias de desenvolvimento regional/local e regulamentações de mitigação de emissões, limitando a sua aplicabilidade a casos reais de dimensão regional ou nacional. Deste modo, é necessária uma abordagem holística para encetar medidas de desenvolvimento energético sustentável urbano, que permita resolver muitos dos problemas mais abrangentes associados à energia (Fielden e Jackes, 1998; McIntyre e Pradan, 2003). Esta abordagem holística deverá contemplar todos os fatores que possam integrar o processo de planeamento urbano. Neste contexto, os principais fatores são: as infraestruturas interligadas de recursos energéticos renováveis locais (com impacto positivo no emprego local, na dependência energética nacional e no ambiente); o armazenamento e distribuição de diversas formas de energia que possam abastecer os consumidores, com diferentes padrões de consumo e diferentes utilizações finais de energia; a política de transportes (com um impacto significativo na procura de energia e no ambiente urbano); os edifícios (geralmente, os maiores consumidores de energia no contexto urbano) e a eficiência energética (com impactos positivos no consumo energético e no ambiente).

Neste contexto, é proposto um enquadramento metodológico de apoio à decisão em problemas de planeamento energético urbano, baseado em análise multicritério. As metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA) são particularmente adequadas ao tratamento dos problemas de decisão suscitados no âmbito do planeamento

energético urbano (Diakoulaki, 2005). Este tipo de metodologias permite apoiar os decisores de âmbito local na adoção de medidas para alcançar sistemas de energia sustentáveis, uma vez que possibilitam o tratamento de processos complexos, envolvendo inerentemente múltiplos eixos de ação, múltiplos critérios de avaliação, por vezes conflituosos (de natureza económica, técnica, política, ambiental e social), múltiplas partes interessadas¹ e múltiplos valores a um nível local. As metodologias MCDA oferecem a possibilidade de conciliar diferentes conjuntos de dados, de cariz quantitativo e qualitativo, permitindo integrar o conhecimento das diferentes partes interessadas, estando convenientemente estruturadas de modo a permitir um planeamento e um ambiente de tomada de decisão participativos. Este ambiente participativo contempla o envolvimento e a participação dos mais variados especialistas e múltiplas partes interessadas. A participação destes elementos no processo de planeamento energético urbano possui diversas vantagens, assegurando que os valores públicos se encontram refletidos no processo de tomada de decisão e permitindo obter informação sobre os impactos esperados que, de outro modo, poderiam ser descurados. A contribuição da maioria dos interessados permite ainda contribuir para legitimar o planeamento energético, possibilitando a construção de um apoio público que oferece confiança quer ao processo de decisão quer ao seu resultado.

Esta metodologia pretende oferecer um conjunto detalhado de informação útil para o processo de apoio à decisão no desenvolvimento de estratégias para o planeamento energético urbano, podendo ser proveitosa não só para as autoridades ou decisores locais, mas também para outros atores envolvidos no planeamento energético, tais como cidadãos, agências de energia, investidores, agentes de mercado e empresas de distribuição de energia. A metodologia está orientada para uma gestão energética e ambiental, especialmente através do incremento da eficiência energética e da exploração de recursos locais (energias renováveis). Inclui um conjunto coerente de medidas abrangendo não só os edifícios e instalações sob a alçada do governo local, mas também outros setores relevantes inseridos no seu território, como o setor residencial, o setor de serviços públicos e privados e a indústria, visando um caminho para o desenvolvimento urbano sustentável.

¹ Correspondente à designação anglo-saxónica *stakeholders*.

A metodologia proposta pode ser utilizada no apoio à implementação de planos municipais de energia nas cidades, desde a fase de arranque inicial, em que se procede à identificação dos principais atores envolvidos no processo, com diferentes interesses e preferências, até à fase de seleção das ações a serem avaliadas e implementadas. Apesar de a metodologia ter sido desenvolvida no contexto de Portugal, utilizando uma cidade portuguesa continental, de média dimensão, como cenário de tomada de decisão, enquadrando-se no âmbito da legislação e dos programas de apoio nacionais, esta pode ser generalizada de modo a ser aplicada em outros países, tomando em consideração outras realidades locais (*e.g.* geográficas, socioeconómicas, políticas e outras).

A presente tese encontra-se dividida em seis capítulos, alguns deles baseados em trabalhos já publicados e submetidos a revistas internacionais, e apresentados em conferências internacionais:

- Neste capítulo, “*Introdução*”, são expostas as motivações que conduziram ao trabalho realizado e é efetuado um pequeno resumo de cada um dos capítulos da tese, sendo referidas as contribuições mais relevantes.

- No Capítulo 2, “*Modelos e metodologias de planeamento energético*”, é apresentada uma análise crítica aos diversos modelos aplicáveis ao setor energético, fazendo especial referência às metodologias multicritério usadas neste setor e aos modelos de energia em contexto urbano, de acordo com a literatura científica existente.

- No Capítulo 3, “*Aplicação da Soft Systems Methodology à problemática energética urbana*”, são abordados os principais conceitos da metodologia de estruturação de problemas SSM e é apresentada a sua aplicação na estruturação do problema de decisão, que constitui a primeira fase do desenvolvimento da metodologia MCDA para avaliar diferentes cursos de ação em problemas de planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos.

- No Capítulo 4, “*Construção do modelo multicritério*”, com base na informação recolhida durante a aplicação da metodologia descrita no capítulo 3, e seguindo as linhas orientadoras da estratégia “*Value Focused Thinking*”, foram identificados e estruturados os valores das partes interessadas numa árvore de objetivos fundamentais.

Procedeu-se posteriormente à conversão dos objetivos fundamentais em critérios de avaliação das diferentes ações, no âmbito de um problema de classificação. Apresenta-se ainda uma breve descrição do método multicritério ELECTRE TRI, selecionado para a fase de avaliação.

- No Capítulo 5, “*Aplicação do modelo*”, descreve-se a aplicação do modelo multicritério apresentado no capítulo anterior à avaliação de um conjunto de ações que podem ser implementadas num sistema energético urbano e são analisados alguns dos resultados obtidos, utilizando o método descrito no Capítulo 4.

- No Capítulo 6, “*Conclusões e propostas de trabalho futuro*”, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, apontadas algumas contribuições e sugeridas pistas de desenvolvimento futuro.

Capítulo 2 - Modelos de Planeamento Energético

2.1 – Introdução

A energia faz parte integrante da vida moderna e é indispensável ao progresso económico, sendo um dos principais motores de crescimento e contribuindo para a satisfação das necessidades e desejos dos consumidores. As políticas e a tomada de decisões no setor energético desempenham um papel fundamental na prossecução do desenvolvimento sustentável, com impactos a nível económico, ambiental e social.

O planeamento energético é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento económico e social e para a preservação ambiental, tanto nos países industrializados como nos países em vias de desenvolvimento, oferecendo a oportunidade de minimizar os efeitos nefastos da adoção de medidas contraproducentes neste setor e procurando satisfazer, em simultâneo, a procura de energia num determinado período de tempo (Cormio et al., 2003). A sua realização deve garantir que as decisões respeitantes às infraestruturas energéticas envolvem todos os intervenientes e interessados no processo de tomada de decisão, consideram todas as opções do lado da oferta e da procura e são consistentes com as metas globais de desenvolvimento sustentável (IAEA, 2009). Deste modo, o planeamento de um sistema energético sustentável deverá ter como características fundamentais (ICLEI, 2009): a integração de todas as formas de energia e de todas as atividades relacionadas; a mitigação carbónica como objetivo determinante no desenvolvimento de planos e na escolha de opções; a consideração da procura de serviços de energia tendo em conta a respetiva disponibilidade; a escolha da conservação energética, da eficiência energética e da gestão da procura como principais opções do lado da procura; a consideração clara dos custos sociais e ambientais; a inclusão das ligações do setor energético ao sistema económico; a adaptabilidade do plano.

A consideração de múltiplos objetivos (para além do custo), a incerteza relativamente ao crescimento da procura, à evolução dos mercados de combustíveis, ao desenvolvimento tecnológico, às regulamentações governamentais e ao número crescente de opções (tanto da lado da oferta como da procura), justificam o aumento da complexidade do processo do planeamento energético (Hobbs, 1995). Para a resolução de um processo complexo, como é o planeamento energético, é necessário recorrer a metodologias e modelos que, sendo sempre representações simplificadas de sistemas reais, apoiem a tomada de decisões bem fundamentadas.

Têm sido desenvolvidos e implementados diversos modelos de energia, especialmente depois da crise petrolífera dos anos 70 do século passado. Os modelos de energia podem ser baseados em diferentes abordagens e conceitos fundamentais, podendo utilizar uma variedade de algoritmos de otimização. Como consequência, os modelos diferem consideravelmente, estando a sua utilização dependente da sua adequação, finalidade ou aplicação. É possível encontrar na literatura científica vários trabalhos onde é feita uma extensa revisão dos diferentes modelos de energia existentes.

Bhattacharyya (1996) apresenta uma análise da aplicação dos modelos de equilíbrio geral às questões energéticas, fazendo referência às suas características especiais, à sua evolução ao longo do tempo, bem como às suas limitações. Kagiannas et al. (2003) analisam as diferentes metodologias aplicadas em onze modelos de energia utilizados na previsão da procura de energia, no planeamento da expansão da produção e gestão da oferta e na gestão da procura e planeamento integrado de recursos. Jebaraj e Iniyar (2006) estudam diversas questões suscitadas pela modelação de energia, e apresentam diferentes tipos de modelos de energia: modelos de planeamento, modelos de oferta e procura de energia, modelos de previsão, modelos de energia renovável e modelos de redução de emissões.

A necessidade de modelos de planeamento para a produção descentralizada de energia é evidenciada em Hiremath (2007), que fornece uma visão geral da utilização deste tipo de modelos em todo o mundo, salientando as abordagens usadas e as suas aplicações. Num estudo elaborado pelo Banco Mundial, é feita a comparação entre diversas técnicas de previsão da procura de energia e é fornecido um manual explicativo das metodologias alternativas de modelação e da sua aplicação a diversos setores

(World Bank, 2009). Connolly et al. (2010) apresentam uma revisão de diferentes aplicações computacionais que podem ser úteis na análise da integração de energias renováveis em vários sistemas energéticos com diferentes objetivos. Ainda no setor das energias renováveis, Baños et al. (2011) apresentam uma análise de diferentes métodos de otimização aplicados a este setor, oferecendo uma visão do estado da arte neste domínio.

Uma revisão da literatura de diferentes métodos de otimização, mas com aplicação no setor do abastecimento elétrico, é apresentada em Bazmi e Zahedi (2011). Neste estudo, os autores fazem uma análise dos papéis da modelação e otimização no setor elétrico, bem como do futuro das metodologias de otimização no planeamento dos sistemas energéticos sustentáveis.

Mendes et al. (2011) apresentam uma revisão das metodologias *bottom-up* para análise e otimização dos sistemas integrados de energia das comunidades, que contemplem especial preocupação com a integração dos principais pilares de sustentabilidade. Mais recentemente, Suganthi e Samuel (2012) apresentam um levantamento dos vários modelos de previsão da procura de energia. Para além dos métodos tradicionais de previsão, destacam a utilização de modelos, como o MARKAL e LEAP, na gestão da procura de energia a nível nacional e regional.

Dada a diversidade dos modelos de energia existentes e a complexidade dos sistemas de energia, torna-se importante conhecer as respetivas características e estrutura, bem como os dados utilizados e os métodos de modelação, a fim de decidir qual o modelo mais indicado para uma determinada aplicação. A classificação dos modelos de energia poderá fornecer, para este efeito, um conhecimento sobre as principais diferenças e semelhanças existentes entre eles e ajudar na seleção do modelo mais adequado. Neste contexto, propõe-se, nas próximas secções deste capítulo, uma classificação possível dos principais modelos de energia existentes na literatura científica.

2.2 – Classificação dos modelos de energia

2.2.1 – Considerações introdutórias

A classificação dos modelos de energia não é única, dependendo dos critérios escolhidos para a sua caracterização. Num estudo elaborado por Hoffman e Wood, tal como citado em World Bank (2009), é usada a aproximação matemática para classificar os modelos de energia, sendo identificadas as seguintes abordagens: modelos baseados em Programação Linear (PL); modelos Input-Output (I-O); modelos econométricos; modelos dinâmicos; modelos baseados em Teoria dos Jogos.

Van Beeck (2003) indica nove critérios possíveis para classificar os modelos de energia:

- “Objetivos gerais (previsão e análise) e específicos” (oferta/procura, análise e avaliação de impactos);
- “Estrutura do modelo” – pressupostos internos (grau de endogeneização, níveis de desagregação dos setores não energéticos da economia, dos usos finais de energia e das tecnologias da oferta de energia) e externos (crescimento populacional, crescimento económico, procura de energia, oferta de energia, elasticidade dos preços e do rendimento da procura de energia e sistemas fiscais existentes);
- “Aproximação analítica” – *top-down* e *bottom-up*;
- “Metodologia fundamental” – modelos econométricos, macroeconómicos e de equilíbrio geral, métodos de otimização, de simulação, de previsão e métodos multicritério;
- “Aproximação matemática” – PL, programação inteira mista (MIP), programação dinâmica, técnicas multicritério e lógica *fuzzy*;
- “Cobertura geográfica” – global, nacional, regional e local ou projeto;
- “Cobertura setorial” – apenas setores energéticos ou todos os setores da economia;
- “Horizonte temporal” – curto, médio e longo prazo;
- “Dados necessários” – qualitativos, quantitativos, monetários, agregados, desagregados.

Esta classificação é seguida, por exemplo, por Dementjeva (2009), Hiremath (2007), Nakata et al. (2011), e Rad (2011). Já Pandey (2002) utiliza apenas alguns dos critérios para classificar os modelos de energia: “aproximação analítica”, “cobertura setorial” e “horizonte temporal”.

Cormio et al. (2003) utilizam apenas os critérios “cobertura geográfica” e “horizonte temporal” para classificar os métodos de planeamento energético em três categorias: “Planeamento por modelo” – que contempla modelos econométricos e de otimização, geralmente baseados em métodos matemáticos e estatísticos; “Planeamento por analogia” – que utiliza a estrutura de planos já aplicados com sucesso, na construção de novos planos; “Planeamento por inquirição” – baseado na avaliação estatística e otimizada das respostas de especialistas.

O Banco Mundial, tendo em consideração a “aproximação analítica” e a “metodologia fundamental”, propõe uma classificação dos modelos de energia em modelos *bottom-up* de otimização; modelos *bottom-up* de contabilidade²; modelos *top-down* econométricos; modelos híbridos; modelos do setor elétrico (World Bank, 2009).

2.2.2 – Apresentação de uma possível classificação

Na Tabela 2.1 apresenta-se uma possível classificação para os diversos modelos de energia, tendo por base a informação recolhida a partir de Van Beeck (2003), Kagiannas et al. (2003), Hamm (2007), Lund (2007), Dementjeva (2009), IAEA (2009), Ramachandra (2009), World Bank (2009), Connolly et al. (2010), Fleiter (2011), Manfren et al. (2011), Mendes et al. (2011) e Nakata et al. (2011). Para além do acrónimo (pelo qual os modelos são habitualmente conhecidos), da designação e da origem, são utilizados para a respetiva classificação os critérios: a) “aproximação analítica”; b) “objetivo”; c) “metodologia fundamental”; d) “cobertura geográfica”.

a) Relativamente à “aproximação analítica”, a distinção entre os modelos *top-down* e *bottom-up* é particularmente interessante, uma vez que gera resultados diferentes para o mesmo problema, devido aos pressupostos e ao objetivo para o qual o modelo foi desenvolvido. Geralmente, estes são modelos complementares e a sua integração pode

² Usa-se a designação de modelos de contabilidade para referir “*accouting models*”

permitir a obtenção de um modelo híbrido, mais completo, para a análise das políticas do setor energético, do seu impacto sobre o desempenho económico e das implicações ambientais.

Os modelos *bottom-up* (ver Van Beeck, 2003; Ramachandra, 2009; Nakata et al. 2011, entre outros autores), também designados por modelos de usos finais ou modelos desagregados, focam-se apenas no setor energético e utilizam dados desagregados para as utilizações finais de energia e para as tecnologias usadas, permitindo acautelar a adoção de novas tecnologias. Nestes modelos, a procura total de energia é obtida a partir dos usos finais de cada setor, tendo em consideração taxas de crescimento em cada setor, a substituição tecnológica e o comportamento dos indivíduos. Os modelos *bottom-up* assumem, geralmente, que as decisões dos consumidores se baseiam na relação custo-eficácia. As principais vantagens destes modelos devem-se ao facto de possibilitarem efetuar o cálculo dos custos de manutenção e funcionamento para as tecnologias consideradas, permitindo obter uma análise desagregada por setor e por tipo de combustível. As principais desvantagens deste tipo de modelos residem na falta de consideração da interação entre o setor energético e os restantes setores económicos, na grande quantidade de informação técnica que exigem e num desenvolvimento, manutenção e funcionamento de grande complexidade.

b) Por seu turno, os modelos *top-down*, também designados por modelos agregados da economia, são usados para avaliar as relações macroeconómicas entre o setor energético e o resto da economia. Estes modelos baseiam-se numa aproximação económica, usando variáveis económicas agregadas e uma representação simplificada das tecnologias. As variáveis explicativas da procura energética são os indicadores económicos. A procura de energia calcula-se, em geral, a partir das preferências, preços relativos e consumos dos indivíduos. A oferta de energia é, usualmente, calculada considerando o problema de maximização dos lucros das operadoras (ou minimização de custos), cujas restrições são de natureza tecnológica. Se, por um lado, os modelos *top-down* apresentam a vantagem de permitirem manipular informação macroeconómica, sendo, geralmente, o seu desenvolvimento, manutenção e funcionamento de fácil execução, por outro lado, estes modelos apresentam a desvantagem de oferecerem uma visão macro da procura de energia, descurando os

custos de processos, não sendo particularmente adequados para a avaliação de tecnologias ou para a definição de determinado tipo de políticas.

c) O critério “objetivo” indica o nível de abrangência do modelo, isto é, se o modelo é aplicável a todo o setor energético, ou se contempla apenas a oferta e/ou a procura.

d) O critério “cobertura geográfica” indica o âmbito de aplicação do modelo, que vai desde o nível mais abrangente – o global – até ao mais restrito – o local.

e) De acordo com a “metodologia” usada, os modelos podem ser: econométricos, macroeconómicos, de equilíbrio, de otimização, de simulação, de contabilidade ou multicritério (Nakata et al., 2011; Manfren et al., 2011; Fleiter, 2011).

Os modelos baseados em aproximações econométricas usam técnicas estatísticas para extrapolar o ambiente de mercado do passado para o futuro. As principais limitações destes modelos residem na ausência da representação tecnológica e exigem, habitualmente, um grande volume de dados. Os modelos macroeconómicos apresentam as mesmas limitações dos modelos econométricos, centrando-se na análise de um sistema económico global, através de tabelas de I-O que avaliam a interação entre os vários setores. Estes são muitas vezes usados na análise da procura de energia.

Os modelos de equilíbrio, bem como os de *Input-Output*, são aplicados no estudo da interação entre o setor energético e a economia, no médio e longo prazo, tendo como preocupação o equilíbrio entre a procura e a oferta num determinado mercado. Os modelos de equilíbrio podem ser gerais ou parciais, consoante englobem todos os mercados da economia ou apenas uma parte, como seja o mercado de energia.

Os modelos baseados em metodologias de otimização são usados, em geral, para otimizar os investimentos energéticos. Estes utilizam geralmente Programação Linear (PL), sendo frequentemente usados, a nível local, pelas operadoras e municípios na obtenção de estratégias ótimas de investimento e, a nível nacional, na análise prospetiva do setor energético.

Os modelos de simulação baseiam-se na representação lógica de um sistema, para reproduzir o funcionamento simplificado desse sistema, podendo ser dinâmicos ou

estáticos. Já os modelos de contabilidade, ao invés de simularem decisões dos consumidores e produtores, modelam essas decisões.

Os modelos baseados em análise multicritério são particularmente apropriados para as questões energéticas, uma vez que permitem incluir vários critérios, para além da eficiência económica, e combinam dados qualitativos e quantitativos. Os modelos multicritério não estão incluídos na Tabela 2.1, uma vez que são apresentados no ponto 2.3 deste capítulo.

Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de energia.

Acrónimo	Designação	Aproximação	Âmbito	Metodologia	Cobertura Geográfica	Origem
AIM	Asian-Pacific Integrated Model	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Nacional, regional	Japan National Institute for Environmental Studies
BRUS II	Brundtland Scenario	Bottom-up	Sistema energético	Simulação	Nacional	RISOE, DK
COMMEND	COMMERCIAL END-use planning system	Híbrido	Previsão da procura-setor terciário	Econométrica	Nacional, local	EPRI
Deeco	Dynamic energy, emissions, and cost optimization	Bottom-up	Sistema energético, ambiental	Otimização	Local	Institute for Energy Engineering, Technical University of Berlin, Germany
DREAM	Dynamic Regional Energy and Emissions Assessment Model	Bottom-up	Sistema energético	Simulação	Nacional	Open University, United Kingdom
DREAM-City	Dynamic Regional Energy and Emissions Assessment Model -City	Bottom-up	Sistema energético	Simulação	Local	Open University, United Kingdom
DTI	Department of Trade and Industry	Top-down	Previsão da procura	Econométrica	Nacional	Department of Business, Enterprise and Reform of the United Kingdom
EEP	Energy and Environmental Prediction Model	Bottom-up	Sistema energético	Contabilidade	Local	Centre for Research In the Built Environment (CRIBE), University of Wales Cardiff
EFOM-ENV	Energy Flow Optimisation Model	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Global, nacional, regional	União Europeia, Institut Economique et Juridique de l'Energie
EnergyPLAN	Computer Model for Energy Systems Analysis	Híbrido	Sistema energético	Simulação	Nacional, regional	Department of Development and Planning, Aalborg University
ENERPLAN	Energy Savings Planning Package	Top-down	Sistema energético	Macro-económica e simulação	Nacional	Tokyo Energy Analysis Group, Japan
ENPEP	ENergy and Power Evaluation Program	Híbrido	Sistema energético	Equilíbrio-energia	Nacional, regional	International Atomic Energy Agency; USA Department of Energy
ERASME	Energy relations in an Aggregate Short-term Model for Europe	Top-down	Previsão da procura	Econométrica	Regional, mas agregado	Comissão Europeia
FINPLAN	Model for Financial Analysis of Electric Sector Expansion Plans	Top-down	Produção elétrica	Econométrica	Nacional	International Atomic Energy Agency
GEM-E3	General Equilibrium Model	Top-down	Energia-economia-ambiente	Equilíbrio geral	Nacional	União Europeia
H2RES	Balancing tool that simulates the integration of renewable energy into energy-systems	Bottom-up	Produção descentralizada	Otimização	Regional, local	Instituto Superior Técnico in Lisbon, Portugal; Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture at the University of Zagreb,

Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de energia (cont.)

Acrónimo	Designação	Aproximação	Âmbito	Metodologia	Cobertura Geográfica	Origem
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables	Bottom-up	Produção descentralizada	Otimização	Local	National Renewable Energy Laboratory, USA
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning	Bottom-up	Sistema energético e ambiental	Simulação	Nacional, regional, local	Stockholm Environment Institute, USA
MARKAL	MARKet Allocation model	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Global; Nacional; regional; local	International Energy Agency's Energy Technology Systems Analysis Programme.
MARKAL MACRO	MARKet Allocation model	Híbrido	Modelo simplificado economia-energia	Macro-económica e otimização	Nacional, local	Brookhaven Nacional Laboratory
MARKAL Lite	MARKet Allocation model	Bottom-up	Sistema energético urbano	Otimização	Regional, urbano	International Energy Agency's Energy Technology Systems Analysis Programme
MAED	Model for Analysis of Energy Demand	Bottom-up	Previsão da procura	Simulação	Nacional; regional	International Atomic Energy Agency
MEDEE	Model for Demand of Energy for Europe	Bottom-up	Previsão da procura	Contabilidade	Nacional; regional	Institut Economique et Juridique de l'Energie
MERGE	Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reductions Policies	Híbrido	Sistema energético	Equilíbrio-energia	Global; Nacional; regional	International Atomic Energy Agency
MESAP	Modular Energy System Analysis and Planning software	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Global; Nacional; regional; local	University of Stuttgart, Germany
MESSAGE	Model for Energy Supply Systems Analysis and General Environment	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Global; Nacional; regional; local	International Institute for Applied Systems Analysis
MESSAGE MACRO	Model for Energy Supply Systems Analysis and General Environment	Híbrido	Sistema energético	Macro-económico e otimização	Global; Nacional; regional; local	Messner and Schratzenholzer (2000)
MICRO MELODIE	Energy-economy Interaction Model for long-term Planning	Top-down	Sistema energético	Equilíbrio-energia	Nacional	CEA, France
MIDAS	Multinational Integrated Demand And Supply	Híbrido		Simulação	Global; Nacional; regional; local	União Europeia
MODEST	Model for Optimisation of Dynamic Energy Systems with Time dependent components and boundary conditions	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Nacional; regional; local	Energy System Institute of Technology, Sweden
MURE ODYSSEE	Measures d'Utilisation Rationelle de l'Energie	Bottom-up		Backcasting		ADEME

Tabela 2.1 – Classificação dos modelos de energia (cont.)

Acrónimo	Designação	Aproximação	Âmbito	Metodologia	Cobertura Geográfica	Origem
NEMS	National Energy Modelling System	Híbrido	Sistema energético	Otimização e economia-energia	Nacional	US Department of Energy
PLACE³S	PLAnning for Community Energy, Economic and Environmental Sustainability	Bottom-up	Sistema energético	Contabilidade	Local	US Department of Energy; Criterion Inc. e Makeever/Morris
POLES	Prospective Outlook on Long-term Energy Systems	Bottom-up	Sistema energético	Simulação	Global, nacional, regional	União Europeia
PowerPlan	Interactive simulation model	Bottom-up	Sistema elétrico	Simulação	Nacional; regional; local	Center for Energy and Environmental Studies, University of Groningen
PRIMES	Partial equilibrium model	Híbrido	Sistema energético	Equilíbrio-energia	Global, nacional	União Europeia
RESGEN	Regional Energy Scenario Generator	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Nacional	Resource Management Associates
RETSscreen	Renewable Energy Technology Screening	Bottom-up	Produção descentralizada e centralizada	Contabilidade	Nacional; regional; local	Natural Resources, Canada
SAFIRE	Strategic Assessment Framework for the Implementation of Rational Energy	Bottom-up	Sistema energético	Avaliação	Nacional; regional; local	União Europeia
SAGE	System for the Analysis of Global Energy Markets	Híbrido	Sistema energético e comercialização de energia	Otimização	Global, nacional, regional	US Department of Energy
SIMPACTS	Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Gen	Bottom-up	Produção elétrica	Avaliação	Nacional	International Atomic Energy Agency
TIMES	The Integrated MARKAL-EFOM System	Bottom-up	Sistema energético e comercialização de energia	Otimização	Global, local, regional, nacional	International Energy Agency's Energy Technology Systems Analysis Programme.
ViPOR	Village Power Optimization Model for Renewables	Bottom-up	Sistema elétrico	Otimização	Local	National Renewable Energy Laboratory, USA
WASP	Wien Automatic System Planning Package	Bottom-up	Sistema energético	Otimização	Nacional	International Atomic Energy Agency
WEM	World Energy Model	Híbrido	Sistema energético	Equilíbrio-energia	Global, nacional, regional	International Atomic Energy Agency; USA Department of Energy

Da análise da Tabela 2.1 pode verificar-se que as metodologias aplicadas aos modelos de energia utilizando a abordagem *bottom-up* envolvem, geralmente, metodologias de simulação e de otimização. Pelo contrário, a maioria dos modelos *top-down* incluem metodologias econométricas, modelos macroeconómicos e modelos de equilíbrio. Nalguns casos, as metodologias de otimização e simulação também são aplicadas em modelos *top-down*, como se pode observar na Figura 2.1, onde se apresenta uma possível classificação dos modelos de energia sob forma esquemática.

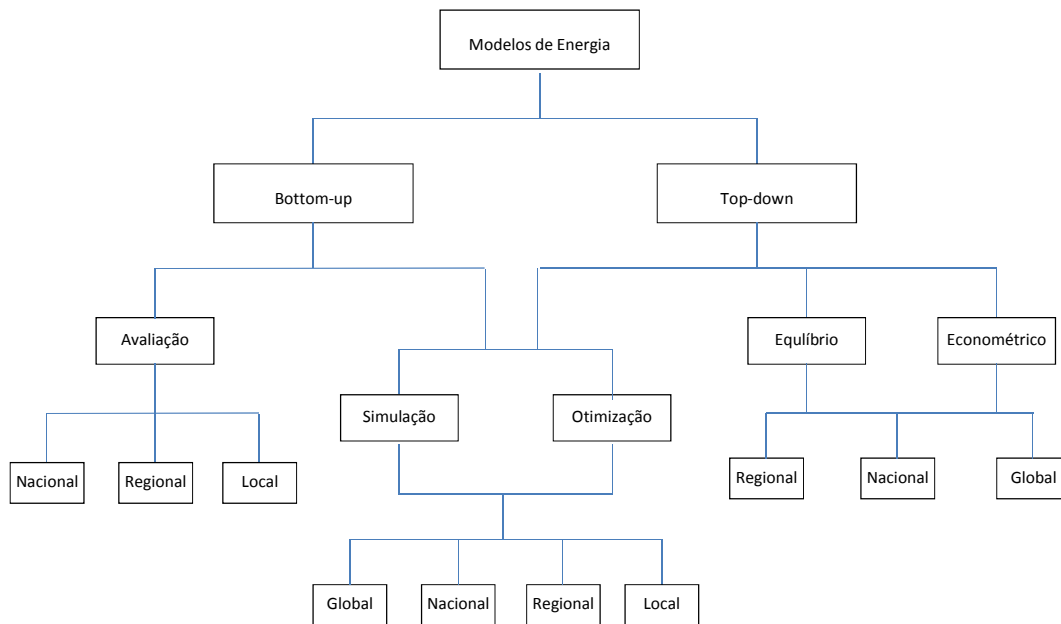


Figura 2.1 – Representação esquemática da classificação dos modelos de energia.

2.3 – Apoio multicritério à decisão no setor energético

O planeamento energético sustentável inclui uma diversidade de objetivos, uma vez que a tomada de decisão no setor energético está diretamente relacionada com processos de análise e de gestão de diferentes tipos de informação (tecnológica, ambiental, económica e social). Muitas vezes, os métodos tradicionais de avaliação, tais como a análise custo-benefício, não permitem a integração de todos os elementos envolvidos num processo de planeamento energético assente em bases realistas. Neste contexto, as

metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA) são particularmente adequadas ao tratamento de uma vasta gama de variáveis, podendo ser avaliadas segundo diferentes eixos (Tsoutsos et al., 2009; Diakoulaki et al., 2005).

Os modelos MCDA permitem incluir vários critérios de avaliação (económicos, tecnológicos, sociais, ambientais e políticos), geralmente conflituosos e não comensuráveis, vários pontos de vista, vários atores participantes e partes interessadas, cada um dos quais possuindo, no processo de decisão, os seus valores, as suas preferências e os seus critérios. Para além disso, os modelos multicritério, combinam dados qualitativos e quantitativos.

Os processos tradicionais de decisão baseados num único critério são normalmente destinados à maximização dos benefícios ou minimização dos custos. Contudo, a necessidade de incluir na análise os impactos ambientais e sociais das opções energéticas e os pontos de vista dos diferentes intervenientes, promoveu o uso dos métodos de decisão multicritério (Georgopoulou et al., 1998). As metodologias multicritério permitem uma melhor compreensão das características inerentes ao problema de decisão, promovem o papel dos participantes nos processos de decisão, facilitam o compromisso e as decisões coletivas e fornecem uma boa plataforma ao analista para a compreensão e a perceção dos modelos num cenário realista. As metodologias multicritério permitem ajudar a melhorar a qualidade das decisões, tornando-as mais explícitas, racionais e eficientes. De facto, um processo de decisão que faça intervir explicitamente vários critérios de avaliação, será mais transparente e menos arbitrário (Dias, 2000).

A aplicação de modelos MCDA em processos de decisão no setor energético é abundante e diversificada na literatura científica. Pohekar e Ramachandran (2004) apresentam uma revisão da literatura que envolve mais de 90 trabalhos científicos publicados. Depois de uma descrição sucinta de alguns métodos multicritério, os autores fazem uma análise da aplicabilidade dos vários métodos e apresentam os diferentes trabalhos classificados por área e ano de aplicação. Zhou et al. (2006) avaliam o aumento verificado ao longo do tempo da aplicação das metodologias multicritério aos problemas relacionados com a eletricidade e as energias renováveis. Kowalski et al. (2009) analisa 19 aplicações da análise multicritério ao setor energético, sendo feita

referência à participação ou não de partes interessadas. Wang et al. (2009) apresentam uma revisão da literatura dos métodos multicritério para o setor das energias renováveis. O estudo não foca nenhuma tecnologia em particular e tem como objetivo a recolha dos vários critérios utilizados pelos autores nos diferentes trabalhos revistos. Ribeiro et al. (2011) apresentam uma revisão da literatura relativa a aplicações da análise multicritério ao planeamento dos sistemas de energia, mas que incluam a dimensão social. Fazendo referência à maior dificuldade de incorporar a dimensão social nestes modelos, face à dimensão económica e ambiental, argumentam que, apesar disso, a consideração da dimensão social é fundamental para o sucesso dos processos de decisão. Num trabalho recente, Scott et al. (2012) faz uma revisão da literatura sobre a aplicação das técnicas MCDA ao projeto e funcionamento de sistemas de bioenergia.

Nas várias aplicações de MCDA ao setor energético é possível constatar a existência de vários métodos de avaliação multicritério. A seleção do método multicritério mais adequado para uma determinada aplicação é controversa quer na literatura científica quer na prática (Greening e Bernow, 2004). Al-Shemmeri et al. (1997) referem que a seleção do método multicritério mais apropriado pode tornar-se, ela própria, num problema multicritério. Em seguida, apresenta-se uma breve referência a alguns dos métodos de avaliação multicritério.

2.3.1 – Métodos de avaliação multicritério

As metodologias multicritério permitem ao decisor escolher, ordenar ou classificar alternativas com base numa avaliação efetuada de acordo com vários critérios. As decisões são tomadas com base em *trade-offs* ou compromissos entre um conjunto de critérios, normalmente conflituosos entre si.

Existem vários métodos de avaliação multicritério, embora seja reduzido o número dos métodos com alguma expressão na prática do apoio multicritério à decisão (Dias, 2000). Segundo Dias (2000), os métodos de avaliação multicritério podem ser classificados de acordo com a problemática a que se dedicam (métodos para escolher, para ordenar ou para classificar as ações), ou de acordo com o tipo de abordagem operacional (procedimentos de critério único excluindo incomparabilidade – métodos de

agregação completa; procedimentos de relação de prevalência aceitando incomparabilidade – métodos de agregação parcial; e procedimentos de julgamento interativo com iterações de tentativa e erro – métodos de agregação local).

Omann (2004) apresenta uma classificação dos métodos de avaliação multicritério onde é feita a distinção entre métodos para resolução de problemas com um conjunto discreto de opções e métodos dedicados à resolução de problemas que requerem a seleção a partir de um conjunto contínuo de opções. A classificação tem ainda em consideração a abordagem operacional (semelhante à classificação seguida por Dias (2000)) e faz a distinção entre métodos quantitativos e qualitativos.

Polatidis et al. (2006), a propósito da seleção de um método de avaliação multicritério para o planeamento de energias renováveis, argumentam que os principais métodos de avaliação multicritério podem ser classificados com base no tipo de modelo de decisão em que são aplicados. Os métodos são classificados em dois grandes grupos: *outranking* e métodos baseados na teoria da utilidade, de acordo com as principais características de cada grupo.

Løken (2007) segue três grandes categorias (ou escolas de pensamento): modelos de mensuração de valor; modelos de metas, aspiração e de nível de referência; modelos *outranking* (escola francesa).

Com base na divisão usada em Clímaco (1997) - que considera as abordagens multicritério de apoio à decisão divididas em modelos multiatributo (MADM: aplicados a problemas com alternativas discretas) e multiobjectivo (MODM: aplicados a problemas que consideram um espaço contínuo de alternativas) -, apresenta-se na Figura 2.2 a caracterização de alguns dos métodos de avaliação multicritério que têm sido aplicados ao setor energético (Pohekar e Ramachandran, 2004; Løken, 2007; Zhou et al., 2006). Para os métodos referidos, será usada a designação correspondente ao acrónimo pelo qual são conhecidos.

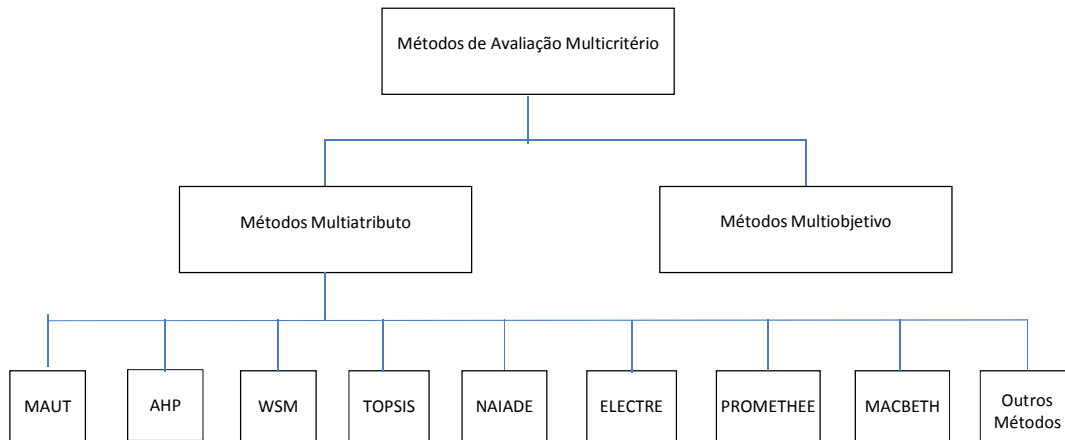


Figura 2.2 – Métodos de avaliação multicritério.

Multiple Attribute Utility Theory – MAUT (Keeney e Raiffa, 1976) é uma teoria normativa sobre o comportamento de um decisor racional numa situação de decisão num contexto de incerteza. As preferências do decisor são modeladas sob a forma de funções de utilidade multi-atributo. É atribuída uma pontuação numérica (ou valor) a cada alternativa, refletindo o desempenho dessa alternativa em cada um dos critérios, que são agregadas usando um dado modelo de agregação, tendo em conta as preferências do decisor em relação aos critérios, produzindo uma ordem de preferência para as alternativas. A escala de desempenhos em cada critério é transformada numa escala de utilidade, tendo em conta a atitude do decisor face ao risco. Se a função utilidade for côncava, linear ou convexa, o decisor é avesso ao risco, neutro, ou propenso ao risco, respetivamente. Enquanto em MAUT geralmente se considera a existência de incerteza sobre os desempenhos das ações nos vários critérios ou sobre os parâmetros de preferência (por exemplo, os pesos dos critérios no modelo de agregação), tal não é tido em conta na teoria de valor multi-atributo (MAVT).

Analytic Hierarchy Process – O método AHP decompõe o problema de decisão numa hierarquia de subproblemas (Saaty, 1997). O decisor é chamado a avaliar a importância relativa dos vários elementos (critérios, ações) nesta hierarquia através de comparações entre pares de elementos usando categorias semânticas, em relação a um elemento num nível superior da hierarquia, que geram valores numéricos. Estas avaliações são convertidas e usadas para calcular pesos (prioridades), que depois dão origem a um valor de desempenho para cada ação, i.e. quanto é que essa ação contribui para o objetivo global no topo da hierarquia. Este procedimento é alvo de críticas (Bana e

Costa e Vansnick, 2008) por não ser conforme as condições de “preservação da ordem”. Dada a quantidade de comparações par a par que é necessário efetuar, o método calcula um índice de consistência que mede a consistência das respostas dadas pelo decisor neste processo. Um procedimento baseado em valores próprios é usado para derivar estes pesos a partir das comparações par a par.

Weighted Sum Model – WSM – é provavelmente o método mais conhecido e utilizado, graças às suas características simples e intuitivas. O valor global de uma opção é calculado efetuando a multiplicação da pontuação obtida para cada critério pela ponderação desse critério, somando-se posteriormente todas as pontuações ponderadas. Esta ‘performance global’ é utilizada para selecionar uma opção. No entanto, esta metodologia é apenas adequada se os critérios forem mutuamente independentes em termos de preferências. Os níveis de performance de uma opção são agregados num único número. A normalização para criar uma escala adimensional é necessária, se as pontuações obtidas para os critérios forem medidas em escalas diferentes. Em geral, esta situação ocorre na presença de múltiplos critérios. Nesta situação, utiliza-se em geral uma função linear para realizar este tipo de transformação.

ELimination Et Choix Traduisant la REalité – ELECTRE – designação que se refere a uma família de métodos, dedicados a várias problemáticas: de escolha, ordenação e classificação (Figueira et al., 2005). Os métodos ELECTRE constroem uma ou várias relações de prevalência sobre o conjunto das ações. Posteriormente, essas relações são exploradas de acordo com a problemática a que cada método se destina. As preferências nos métodos ELECTRE são modeladas usando relações binárias de prevalência (*S*, *surclassement*, *outranking*), cujo significado deve ser entendido como a ação *a* é “pelo menos tão boa como” a ação *b* ($a S b$). A relação de prevalência para modelar preferências introduz a relação de incomparabilidade, para dar conta de situações em que o decisor é incapaz de estabelecer uma relação de preferência estrita ou de indiferença entre duas ações. A construção de uma relação de prevalência é baseada em dois conceitos essenciais: concordância – uma maioria suficiente de critérios deve estar a favor da afirmação $a S b$, e não discordância – se a condição de concordância se verificar, nenhum dos critérios em “minoridade” deve opor-se demasiado fortemente à afirmação $a S b$. Estas duas condições devem verificar-se para validar a afirmação $a S b$. Uma relação de prevalência não é necessariamente transitiva. Nos métodos

ELECTRE os pesos dos critérios refletem o seu “poder de voto” na contribuição para a maioria de critérios a favor da prevalência. Os pesos são independentes das escalas, não podendo aqui ser interpretados como taxas de substituição, como é o caso de métodos de agregação compensatórios (MAUT, AHP, MACBETH). Para ter em conta a incerteza na avaliação das ações os métodos ELECTRE usam limiares de discriminação (de indiferença e de preferência). Os métodos ELECTRE I, IV, IS são dedicados à problemática de escolha. Os métodos ELECTRE II, III, IV são dedicados à problemática de ordenação. O método ELECTRE TRI foi concebido para o problema da classificação de um conjunto de ações segundo categorias ordenadas predefinidas.

Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – Os métodos PROMETHEE, desenvolvidos por Brans e Mareschal (2005), geram uma ordenação parcial (I) ou completa (II) das ações, incluindo também o caso de ordenações baseadas em intervalos (III) e o caso contínuo (IV), bem como a consideração de restrições de segmentação (V). Estes métodos pertencem, tal como a família de métodos ELECTRE, à categoria de métodos baseada em relações de prevalência (*outranking*) nas quais se pretende enriquecer a relação de dominância usando informação realista fornecida pelo decisor. Esta informação inclui pesos, entendidos como coeficientes de importância dos critérios, cuja seleção é encarada como o “espaço de liberdade” do decisor, e comparações entre pares de ações para cada critério, em que a diferença entre o desempenho das duas ações para um dado critério é atribuída uma certa preferência expressa numericamente. Como base nesta informação são construídos índices de preferência agregados e fluxos de prevalência (*outranking flows*) com base nos quais são geradas ordenações parciais (I) ou completas (II).

Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique – MACBETH é um método de análise multicritério que requer apenas a expressão de julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para quantificar a atratividade relativa das ações (Bana e Costa et al., 2012). O decisor, ou grupo de decisores, é chamado a expressar informação de preferências sobre um par de ações em relação à respetiva atratividade relativa (julgamento ordinal). Se as duas ações não forem igualmente atrativas, então o decisor deve explicitar um julgamento qualitativo sobre a respetiva diferença de atratividade. Este processo é auxiliado pela consideração de categorias semânticas de atratividade (“muito fraca”, ..., “muito forte”, “extrema”). Estes julgamentos são depois

usados para construir um modelo de avaliação que fornece uma informação numérica sobre a atratividade das ações para o decisor que emitiu os julgamentos. O método MACBETH inclui considerações de “preservação da ordem” das ordenações fornecidas pelo decisor e entre as diferenças de atratividade implícitas nos julgamentos qualitativos das diferentes categorias semânticas.

Novel Approach for Imprecise Assessment and Decision Evaluations – NAIADE (Munda, 2006) usa informação afetada por vários tipos e graus de incerteza para efetuar a comparação das ações num conjunto de critérios. A incerteza nos desempenhos de cada ação em cada critério pode ser captada sob a forma de variáveis estocásticas, números difusos (fuzzy) ou expressões linguísticas. NAIADE não usa pesos para os critérios, mas apenas técnicas de comparação entre pares de ações para gerar uma ordenação das ações. Um tipo de avaliação baseia-se nos desempenhos de cada ação em cada critério expressos numa matriz de impactes. Um segundo tipo de avaliação debruça-se sobre os conflitos entre diferentes partes interessadas e a possível formação de coligações face às ações, envolvendo a avaliação linguística das ações por cada grupo de partes interessadas.

The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions – TOPSIS (Yoon e Hwang, 1995) é uma técnica para ordenar as ações por similaridades com a solução ideal, isto é, baseia-se na ideia de que a melhor ação deve ter a mínima distância em relação à solução ideal - sendo esta composta pelos melhores valores possíveis para cada critério - e a máxima distância em relação à solução composta pelos piores valores possíveis para cada critério. O método TOPSIS calcula uma medida de desempenho agregada para cada ação, gerando uma ordenação completa das ações.

2.3.2 – Aplicações MCDA no setor energético

Com base na informação recolhida na revisão efetuada à literatura científica, apresentam-se na Tabela 2.2 algumas das aplicações de MCDA ao setor energético. Para cada estudo apresentado na Tabela 2.2, é indicado o respetivo objetivo (que vai desde o planeamento de expansão da capacidade de produção até à avaliação de tecnologias/alternativas e, com maior incidência nos estudos da última década, ao

planeamento/avaliação de sistemas de energias renováveis), bem como o local da sua aplicação prática. A existência ou não da participação pública no processo de decisão é também tida em consideração.

O planeamento energético envolve, muitas vezes, vários decisores e pode afetar numerosas partes interessadas com diferentes perceções, valores e preocupações (Greening e Bernow, 2004). A participação de especialistas relevantes no processo de planeamento, bem como das autoridades competentes é um elemento essencial no processo de decisão e nas aplicações das metodologias multicritério que frequentemente envolvem um grande grupo interdisciplinar (Diakoulaki et al., 2005). Embora as vantagens do envolvimento público no processo de decisão estejam bem documentadas na literatura, a participação pública efetiva pode ser uma tarefa difícil. Os processos participativos são caros e demorados e ainda não são muito comuns, quer no setor público quer no setor privado. Na maioria das aplicações, as partes interessadas participam, essencialmente, na atribuição dos pesos (entendidos como coeficientes de importância) aos critérios de avaliação. No entanto, existem vários exemplos da participação das partes interessadas na identificação e seleção das alternativas e, em menor número, exemplos do seu envolvimento em todas as etapas importantes do processo de decisão (Diakoulaki et al., 2005).

Weijermars et al. (2012) identificam algumas das partes interessadas a incluir no processo de decisão. O grupo das partes interessadas é vasto e engloba organizações multinacionais, governos nacionais e locais, comunidade científica e tecnológica, setor privado, organizações não-governamentais, media, redes sociais e público em geral.

Tabela 2.2 – Aplicações de MCDA ao setor energético.

Estudo	Âmbito	Método	Participação pública	Aplicação
Georgopoulou et al. (1997)	Planeamento energético regional	Electre III		Ilha de Creta, Grécia
Hobbs e Horn (1997)	Planeamento da procura	Vários	Sim	Província Canadiana
Beccali et al. (1998)	Estratégias difusão renováveis	Electre III	Não	Sardenha, Itália
Akash et al. (1999)	Seleção de centrais elétricas	AHP		Sistema eletroprodutor, Jordânia
Voropai e Ivanova (2002)	Planeamento de expansão do setor elétrico	AHP		Rússia
Georgopoulou et al. (2003)	Redução de GEE no setor energético	Electre TRI	Sim	Grécia
Espie et al. (2003)	Planeamento de sistema de distribuição elétrica	SMART		Distribuidora do Reino Unido
Haralambopoulos e Polatidis (2003)	Projectos de energias renováveis	PROMETHEE II	Sim	Chios, Grécia
Beccali et al. (2003)	Tecnologias de energias renováveis	Electre III	Não	Sardenha, Itália
Kablan (2004)	Promoção da conservação energética	AHP		Jordânia
Nigim et al. (2004)	Avaliação de alternativas renováveis	AHP, SIMUS	Sim	Kitchener–Waterloo, Ontario, Canadá
Cavallaro (2005)	Instalações de energias renováveis	PROMETHEE		Messina, Sicília, Itália
Madlener e Stagl (2005)	Promoção da produção renovável	PROMETHEE	Sim	Europa
Cavallaro e Ciraolo (2005)	Avaliação de instalações eólicas	NAIADE		Salina, Itália
Patlitzianas et al. (2007)	Avaliação da produção renovável	OWA		14 EU Estados Membros aderentes
Diakoulaki e Karangelis (2007)	Planeamento expansão setor elétrico	PROMETHEE		Grécia
Burton e Hubacek (2007)	Comparação de tecnologias de produção renovável	MACBETH	Sim	Kirklees, Yorkshire, Reino Unido

Tabela 2.2 – Aplicações de MCDA ao setor energético (cont.).

Estudo	Âmbito	Método	Participação pública	Aplicação
Papadopoulos e Karagiannidis (2008)	Otimização de sistemas descentralizados	Electre III		Karpathos e Kassos, Grécia
Neves et al. (2008)	Avaliação de iniciativas de eficiência energética	Electre TRI	Sim	Portugal
Terrados et al. (2009)	Planeamento de energias renováveis	SWOT	Sim	Jaén, Espanha
Tsoutsos et al. (2009)	Planeamento de energias renováveis	PROMETHEE	Sim	Creta, Grécia
Buchholz et al. (2009)	Seleção de sistemas bioenergéticos	NAIADE	Sim	Comunidade rural, Uganda
Phdungsilp (2010)	Avaliação de cenários no sistema energético urbano	Web-HIPRE		Bangkok, Tailândia
Kaya e Kahraman (2010)	Planeamento de energias renováveis	VIKOR & AHP	Sim	Istambul
Ghafghazi et al. (2010)	Opções- sistema de aquecimento	PROMETHEE	Sim	Vancouver, Canada
Browne et al. (2010)	Avaliação de alternativas no setor doméstico	NAIADE		Cidade Irlandesa
Martinez et al. (2011)	Expansão da capacidade elétrica	MAVT	Sim	Sistema Elétrico Nacional, México
Haurant et al. (2011)	Seleção de instalações fotovoltaicas	Electre IS	Não	Corsega, França
Kaya e Kahraman (2011)	Planeamento de energias renováveis	TOPSIS		
Chinese et al. (2011)	Seleção de sistemas de climatização - setor industrial	AHP	Não	Treviso, Itália
Haluzá e Machacek (2011)	Avaliação de instalações elétricas inteligentes	SUM-WSA	Não	
Wilkens and Schmuck (2012)	Avaliação de cenários-biogás	PROMETHEE	Sim	Pequena localidade, Alemanha
Henao et al. (2012)	Eletrificação de zonas rurais isoladas			Província de Jambaló, Colombia
Sola e Mota (2012)	Seleção de tecnologias energéticas (setor industrial)	MAUT	Sim	Empresa química, Brasil

2.4 – Modelos de energia no contexto urbano

A gestão dos sistemas energéticos urbanos envolve decisões que podem afetar significativamente o meio ambiente. A Agenda 21 Local tem enfatizado o nível local quando se trata de questões de sustentabilidade. Esta ênfase tem guiado a transição dos sistemas de energia locais de sistemas energéticos assentes em combustíveis fósseis para a utilização de combustíveis de balanço de carbono zero e sistemas de energia que contemplam recursos energéticos renováveis e um incremento da eficiência energética.

Diferentes métodos de planeamento energético são utilizados por diferentes países, dependendo de vários fatores, como por exemplo, fatores políticos, técnicos, económicos e geográficos. Nos países em vias de desenvolvimento, é frequente o recurso ao planeamento energético a nível nacional. Nestes países, o principal decisor é o governo central, não tendo as autoridades regionais (municípios ou províncias) poder suficiente para tomar decisões. O planeamento energético para áreas geográficas menores (regional e local) é mais usual nos países industrializados. Isto deve-se ao facto de o planeamento energético nos países democráticos ser, geralmente, da responsabilidade dos governos locais (municípios) ou regionais (Van Beek, 2003), beneficiando da existência de informação detalhada e apropriada (ou estatística) necessária ao processo de planeamento, o que nem sempre se verifica nos países em vias de desenvolvimento.

Manfren et al. (2011) apresentam uma seleção dos modelos atualmente disponíveis para o planeamento da geração distribuída. Vários dos modelos referidos constam na Tabela 2.1 e são classificados de forma semelhante à usada nessa tabela. Os autores fazem uma análise dos modelos selecionados na perspetiva de reunir as suas capacidades numa estrutura de otimização para apoiar uma mudança de paradigma nos sistemas urbanos de energia.

Keirstead et al. (2012) fazem uma revisão dos vários métodos e metodologias aplicadas aos sistemas de energia em ambiente urbano. Com base na informação recolhida, concluem que podem ser identificados cinco tipos de modelos de acordo com o âmbito e aproximação disciplinar: tecnologia; edifícios; clima urbano; configuração

dos sistemas e avaliação de políticas. Os autores argumentam que todos os modelos analisados são setoriais, mas que os resultados do estudo sugerem que existe um grande potencial para a aplicação de metodologias integradas aos sistemas energéticos urbanos de modo a incorporarem de uma forma mais completa toda a complexidade destes sistemas.

São apresentados na Tabela 2.3 alguns exemplos de modelos/metodologias energéticas aplicados em ambiente urbano, obtidos na revisão bibliográfica efetuada, alguns dos quais fazem parte das tabelas 2.1 e 2.2. Os vários exemplos são classificados de acordo com a metodologia usada: contabilização, simulação, otimização e multicritério. Para cada modelo/metodologia serão indicados o local da aplicação real e o objetivo da aplicação, sendo ainda identificada a autoria do estudo.

Tabela 2.3 – Modelos/metodologias aplicados à problemática de energia em ambiente urbano.

Modelos de Contabilização			
Modelo	Âmbito	Aplicação	Autor
SAFIRE-LP	Planeamento energético local	Londres e Bristol, Reino Unido	EU (2002). http://safire.energyprojects.net/
PLACE3S	Planeamento urbano (usa a energia como padrão para medir a sustentabilidade)	Várias cidades	CESD (1997)
EEP	Quantificação do consumo de energia e emissões	Camden, Leicester, Belfast, Reino Unido; Newcastle, Austrália	Jones et al. (2000)
Modelos de Simulação			
Modelo	Âmbito	Aplicação	Autor
DREAM-City	Procura mensal de energia	Leicester e Milton Keynes, Reino Unido, e Cerdanyola, Espanha.	Boyle e Titheridge (1994).
	Políticas energéticas	Bangkok, Tailândia	Phdungsilp (2010)
LEAP	Previsão do consumo e emissões de GEE	Pequim, China	Feng e Zhang (2012)
	Avaliação de medidas de conservação energética	Xiamen, China	Lin et al. (2010)
ILUTE (a)	Sistemas para aquecimento residencial	Toronto, Canadá	Chingcuanco e Miller (2011).
Metodologia própria	Previsão do consumo e emissões de GEE	Osaka, Japão	Yamaguchi et al. (2007)

(a) Integrated Land Use, Transportation, Environment.

Tabela 2.3 – Modelos/metodologias energéticas aplicados em ambiente urbano (cont.).

Modelos de Otimização			
Modelo	Âmbito	Aplicação	Autor
MODEST	Central de cogeração	Sistema de distribuição de calor - Suécia	Sundberg e Karlsson (2000)
TURN (b)	Impacto das tecnologias nas emissões de GEE	Newcastle-upon-Tyne, Reino Unido	Keirstead e Calderon (2012)
DEECO	Tecnologias URE	Würzburg, Alemanha	Bruckner et al. (1997)
	Técnicas solares passivas	Würzburg, Alemanha	Lindenberger et al. (2004)
MARKAL	Medidas de redução de GEE (Protocolo de Quioto)	Val d' Agri, Itália	Pietrapertosa et al. (2003)
	Planeamento energético local	Basilicata, Torino e Aosta, Itália; Göteborg, Suécia; Mannheim, Alemanha e Delfland, Holanda	IEA (2000)
MARKAL-TIMES	Políticas energéticas	Pesaro, Itália	Comodi et al. (2012)
Modelo multiobjetivo	Avaliação de sistemas energéticos	Cidade hipotética	Tsuji and Chiba (1998)
Modelo multiobjetivo	Gestão sustentável energia/ambiente	Cidade hipotética	Bose e Anandalingam (1996).
MESAP	Organização duma matriz/observatório	EXPO'98, Lisboa, Portugal	Schlenzig (1997)
	Planeamento energético local	Mannheim e Viernsheim, Alemanha	Schlenzig e Reuter (1996)
MESSAGE	Planeamento energético local	Viena, Áustria	Messner e Schrattenholzer (2000)
Metodologias Multicritério			
Modelo	Âmbito	Aplicação	Autor
MAVT	Avaliação de cenários	Bangkok, Tailândia	Phdungsilp (2010).
NAIADE	Avaliação de cenários de consumo de eletricidade no setor doméstico	Cidade Irlandesa	Browne et al. (2010)
PROMETHEE	Avaliação de cenários-biogás	Pequena localidade, Alemanha	Wilkens e Schmuck (2012)
ELECTRE III	Otimização de sistemas de energia descentralizados	Karpathos e Kassos, Grécia	Papadopoulos e Karagiannidis (2008)
MACBETH	Comparação de tecnologias para produção renovável	Kirklees, Yorkshire, Reino Unido	Burton e Hubacek (2007)
EAT (c)	Planeamento energético urbano	Noruega	Løken et al. (2009)

(b) Technologies and Urban Resource Networks

(c) Equivalent Attribute Technique

2.5 – Notas conclusivas

É apresentada neste capítulo uma revisão da literatura dos diferentes modelos aplicáveis ao setor energético. Várias iniciativas de planeamento energético têm sido implementadas nas últimas décadas, especialmente após o embargo petrolífero da década de 70 do século passado, existindo, presentemente, um considerável número de modelos aplicáveis aos sistemas de energia, como se pode verificar na Tabela 2.1. Apesar de algumas características comuns, estes modelos podem diferir na aproximação analítica (com destaque para as abordagens *top-down* e *bottom-up*), na metodologia/modelo utilizada (econométrica, macroeconómica, de equilíbrio geral ou parcial, otimização, simulação e multicritério), nos algoritmos de otimização e ainda na cobertura setorial e na cobertura geográfica de aplicação.

Uma descrição mais detalhada de alguns dos modelos apresentados pode ser encontrada em Bhattacharyya (1996), Kagiannas et al. (2003), Jebaraj e Iniyar (2006), Hiremath (2007), Connolly et al. (2010), Baños et al. (2011), Bazmi e Zahedi (2011), Mendes et al. (2011) e Suganthi e Samuel (2012).

À semelhança da maioria dos problemas de decisão do mundo real, o planeamento e gestão dos sistemas de energia possui intrinsecamente uma natureza multicritério, no sentido em que é necessário considerar explicitamente nos modelos múltiplos aspetos de avaliação, geralmente conflituosos e não comensuráveis. Para além dos objetivos de carácter económico e tecnológico, são igualmente importantes os objetivos de natureza social e ambiental, bem como os objetivos de natureza política. Nestas circunstâncias, uma abordagem contemplando um único objetivo (geralmente um indicador económico que pretende representar todos esses aspetos) é inadequada para um planeamento energético que pretenda ser realista. Os modelos de apoio à decisão, bem como a perceção dos problemas por parte dos decisores, tornam-se mais realistas se os diferentes aspetos da realidade forem explicitamente considerados (Clímaco et al., 2003).

As metodologias multicritério de apoio à decisão são particularmente adequadas ao planeamento energético sustentável (Diakoulaki et al., 2005; Tsoutsos, 2009). Os modelos MCDA permitem não só incluir vários critérios de avaliação, vários pontos de vista, vários atores participantes e partes interessadas como ainda combinar dados

qualitativos e quantitativos. A adequação de MCDA aos processos de decisão no setor energético é bem patente no número de aplicações descritas na literatura científica (Pohekar e Ramachandran, 2004; Zhou et al., 2006; Kowalski, 2009; Wang et al., 2009; Ribeiro et al., 2011 e Scott, 2012).

Contudo, e apesar de amplamente utilizada no planeamento energético desde os anos 80 do século passado (Hobbs e Meier, 2000), a metodologia MCDA foi, no passado, quase exclusivamente aplicada a nível nacional e regional, limitando-se a aplicações setoriais em contexto urbano. Løken (2007) salienta que a metodologia MCDA nunca foi aplicada a sistemas de energia locais integrados, isto é, envolvendo vários recursos energéticos.

A maioria dos modelos de planeamento energético urbano têm sido desenvolvidos quer na esfera académica quer no âmbito da investigação experimental. No entanto, as suas potencialidades e benefícios têm sido reconhecidos, motivando o seu desenvolvimento e promoção junto das autoridades competentes em matéria de política de planeamento energético.

Por outro lado, e apesar de muitos dos processos de planeamento energético integrado serem encetados a nível nacional, ao nível local a facilitação da maioria destes processos tem sido relegada para segundo plano, descurando uma apresentação mais sistematizada dos subsistemas mais complexos. À medida que aumenta o conhecimento dos resultados relativamente a determinadas decisões de planeamento, a transparência deste tipo de modelos facilita a integração e participação das partes interessadas no processo de decisão (Managenergy, 2011).

Deste modo, torna-se necessário, para o planeamento e para a gestão dos sistemas energéticos urbanos, dispor de metodologias integradas, guiadas pela sustentabilidade económica e ambiental, pela garantia de um serviço energético seguro, pela qualidade de vida dos cidadãos e com atuação simultânea sobre o lado da oferta e sobre o lado da procura de energia. Tais metodologias devem permitir o envolvimento de todos aqueles que influenciam e são influenciados pelas decisões no setor energético. Uma metodologia MCDA permitirá acautelar todas estas questões desde que exista uma estruturação adequada do problema, como a que se propõe no capítulo seguinte.

Capítulo 3 - Aplicação da Soft Systems Methodology à problemática energética urbana³

3.1 – Introdução

No capítulo anterior, onde se apresenta, nomeadamente, uma revisão da literatura acerca de alguns dos modelos e metodologias aplicados no âmbito do planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos, conclui-se que as metodologias multicritério de apoio à decisão são particularmente adequadas a este tipo de problemas de decisão. Neste contexto, refere-se ainda a necessidade da existência de uma análise adequada da estruturação dos problemas em causa.

Como referido por von Winterfeldt e Fasolo (2009), a fase de estruturação é reconhecida por diversos autores (Checkland e Scholes, 1990; Keeney, 1992; Bana e Costa et al., 1999; Diakoulaki et al., 2005; Pohekar e Ramachandran, 2004; Belton et al., 1997, entre outros) como o primeiro passo - e não o menos importante - de um processo de apoio à decisão, em oposição à teoria de decisão clássica, onde a estrutura do problema é predefinida. Tsoukiàs (2007), referindo a opinião unânime de vários autores, baseados em diversas experiências mundiais reais, reforça a ideia de que a estruturação e a formulação do problema permanecem uma das partes mais críticas do processo de decisão. Mesmo que todas as informações relativas ao problema de decisão sejam conhecidas pelo decisor, são-no de uma forma desordenada, necessitando ser estruturadas.

A compreensão de uma situação complexa e normalmente mal definida, em que se pretende intervir, passa pela identificação das características principais do contexto de

³ Parcialmente baseado em Coelho et al. (2010).

decisão, pelo estabelecimento do âmbito e dos limites da análise, pela identificação dos atores envolvidos e das suas principais motivações e objetivos e ainda pela tipificação das potenciais ações que constituem o ponto de aplicação da análise (Bana e Costa e Beinat, 2010). Daqui resultará uma base operacional bem definida que permitirá ao analista apoiar o decisor e restantes atores na identificação dos pontos de vista fundamentais e na operacionalização dos critérios para avaliar os impactos das ações e ponderar vantagens e desvantagens.

Se a aplicação de MCDA ao planeamento energético é abundante na literatura científica, o mesmo não se pode dizer relativamente à aplicação das metodologias de estruturação a este tipo de problemas e, em particular, aos problemas do planeamento energético urbano. Mingers e Rosenhead (2004) referem que, numa análise da aplicação prática de Métodos de Estruturação de Problemas (*Problem Structuring Methods* - PSM), num total de aproximadamente 50 exemplos, apenas um faz referência ao uso de uma metodologia de estruturação (*Soft Systems Methodology* - SSM) na área da energia, centrando-se no problema da racionalização energética e não no do planeamento energético. Neves et al. (2004) apresentam a utilização da mesma metodologia na avaliação multicritério de iniciativas de eficiência energética. Uma aplicação mais recente de SSM é descrita em Ngai et al. (2012) para identificar oportunidades de apoio à gestão em sistemas de uso racional de energia nos processos de manufatura do setor têxtil.

Apresenta-se neste capítulo a estruturação e formulação de problemas de planeamento e gestão energética num contexto urbano, com recurso à metodologia SSM, indicada para situações problemáticas mal definidas, onde podem ser consideradas diferentes interpretações e onde existe uma elevada componente social, política e humana. Esta fase de estruturação constitui o primeiro passo no desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão baseada em análise multicritério, que possa ser utilizada para facilitar a tomada de decisões no planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos.

Nesta fase de estruturação, com a aplicação da SSM, foi fundamental toda a informação recolhida junto dos vários atores envolvidos, através das várias entrevistas

realizadas. Estas entrevistas decorreram, em diversas fases do processo de estruturação, na cidade que se escolheu como cenário de decisão.

Numa primeira fase, foram realizadas entrevistas informais junto dos atores selecionados, com base no conhecimento sobre planeamento energético e na informação recolhida da literatura e incluíram questões gerais, com o objetivo de identificar todos os atores que deviam ser envolvidos no processo.

Nesta primeira fase as entrevistas realizadas envolveram elementos de diferentes organismos: Direção Regional de Energia e Geologia; Delegação Regional do Ministério da Economia; uma Operadora de Energia; uma Autarquia (Vereador); uma Agência Municipal de Energia; uma Empresa de Serviços de Energia; Universidades e Institutos de Investigação.

Identificados os atores participantes, foram realizadas várias rondas de entrevistas semiestruturadas, com questões específicas para cada grupo de atores, e sessões de trabalho com um grupo mais restrito de atores; o que permitiu um melhor conhecimento do papel desempenhado por cada ator, do seu grau de intervenção e do seu poder de influenciar as decisões, das relações entre os diversos atores e a identificação dos seus valores, objetivos e preocupações.

Numa segunda fase, o grupo de entrevistados foi alargado, incluindo: técnicos municipais; técnicos da operadora de energia; produtores locais de energia; elementos de instituições bancárias; juristas; economistas; arquitetos; técnicos responsáveis pela área de energia em grandes edifícios de serviços; consumidores residenciais e de serviços. As várias sessões de trabalho que tiveram lugar envolveram técnicos municipais e especialistas de diversas áreas.

3.2 – Metodologias de Estruturação de Problemas

Existem diversos PSM, no âmbito da Investigação Operacional *soft*, para estruturação de problemas complexos (Rosenhead, 1989, 1996; Rosenhead e Mingers,

2001), que visam, fundamentalmente, analisar e estruturar situações problemáticas mais do que resolver problemas (Rosenhead e Mingers, 2001).

Tendo como finalidades principais a ajuda em processos de decisão de problemas complexos e a estruturação de situações problemáticas complexas, com elevado grau de incerteza e de objetivos não consensuais, os PSM procuram explorar as diferentes opiniões e incertezas existentes de forma a permitir alcançar um consenso. De acordo com Rosenhead (2006), as situações problemáticas para as quais os PSM são vocacionados são caracterizadas por: múltiplos atores; múltiplas perspetivas; interesses incomensuráveis e / ou conflitantes; aspetos importantes intangíveis e incertezas fundamentais. Em oposição aos métodos tradicionais *hard*, os PSM apresentam duas características fundamentais: a facilitação e a estruturação. A facilitação visa proporcionar um ambiente onde os participantes ou partes interessadas são devidamente orientados e onde as discussões ou debates são adequadamente canalizados. A estruturação, por outro lado, refere-se ao processo de organização do problema, que deve permitir que os participantes ou partes interessadas compreendam o problema e, em última análise, participem no processo e na tomada de decisão.

Embora assumindo diferentes particularidades, os PSM apresentam algumas características comuns e cada metodologia propõe uma solução para a representação da situação problemática, que permitirá aos participantes clarificar o seu entendimento sobre a situação, convergir numa potencial plataforma de solução e encontrar compromissos que possibilitem, pelo menos, a resolução parcial da situação em causa. Para isso, os PSM devem: permitir que diferentes perspetivas sejam analisadas em paralelo; ser cognitivamente acessíveis, mesmo para os atores menos familiarizados com o problema, de modo a que seja possível ter um processo de estruturação participativo e representativo; funcionar de forma iterativa, para que a representação do problema possa fazer refletir o estado e evolução da discussão entre os atores; permitir a identificação e o compromisso com melhoramentos parciais ou locais, em vez de exigir uma solução global, o que implicaria uma fusão dos vários interesses. Como consequência destes requisitos, os PSM, ainda que sofisticados no modo como concebem e interagem com o processo de decisão, são relativamente rudimentares no aparato matemático ou estatístico que acarretam, embora alguns PSM utilizem *software* de apoio (Mingers e Rosenhead, 2004).

As características dos PSM mais conhecidos são sintetizadas em seguida.

Strategic Options Development and Analysis (SODA) – É um método de identificação de problemas gerais que se baseia no conceito de mapas cognitivos (uma forma de mapear as perspectivas individuais das partes interessadas) para revelar e registrar os pontos de vista individuais sobre a situação problemática. Os mapas cognitivos individuais podem ser combinados de modo a obter o enquadramento para discussões em grupo, guiadas por um facilitador, até à obtenção de um acordo sobre um *portfolio* de ações (Eden e Ackermann, 2001).

Soft Systems Methodology (SSM) – É um método geral para redefinição de sistemas, desenvolvido a partir de engenharia de sistemas. Em oposição aos métodos clássicos de engenharia, a SSM assume que a determinação dos objetivos é uma parte do problema. Numa primeira fase do processo, tenta-se expressar as questões e as perspectivas, permitindo obter as “visões do mundo” de cada participante. Os participantes concebem modelos conceptuais para cada uma das “visões do mundo” a partir de definições de raiz. Estes modelos são comparados com as perceções do sistema existente, com o objetivo de gerar debate sobre as alterações que são realizáveis e sistemicamente desejáveis (Checkland, 1981; Checkland e Scholes, 1990; Checkland, 2001).

Strategic Choice Approach (SCA) – É uma abordagem de planeamento centrada na gestão da incerteza em situações estratégicas – incerteza sobre prioridades, sobre a resposta do sistema a intervenções e sobre o que farão outros decisores. Os facilitadores apoiam os participantes na modelação das interações entre áreas de decisão. Da comparação interativa dos esquemas alternativos de decisão resultará a revelação das incertezas fundamentais, permitindo a identificação das áreas prioritárias para compromissos parciais e a exploração de planos de contingência (Friend, 2001).

Robustness Analysis – É uma abordagem que se preocupa com a manutenção da flexibilidade da decisão em situações de incerteza. Num processo interativo, os analistas e os participantes avaliam, quer a compatibilidade dos compromissos alternativos iniciais com possíveis configurações futuras do sistema que está a ser planeado, quer o desempenho de cada uma das configurações em ambientes futuros admissíveis. Isto

permitirá comparar a flexibilidade mantida pelos compromissos alternativos iniciais (Rosenhead, 2001).

Drama Theory – É um método baseado em duas abordagens: *Hipergame* e *Metagame*, que são procedimentos interativos para tomada de decisão em situações de conflito. É um método interativo de análise de cooperação e de conflitos entre vários atores. É construído um modelo com base nas percepções disponíveis para os vários atores e com base na sua classificação. O método procura os dilemas apresentados pelos vários atores, sendo cada dilema um ponto de mudança que tenderá a causar emoções específicas em cada ator e a produzir argumentos racionais, através dos quais o modelo é redefinido. O problema é considerado resolvido apenas quando as sucessivas redefinições do modelo eliminarem todos os dilemas (Bennett et al., 2001; Mingers e Rosenhead, 2004).

Outros PSM não referidos, mas cuja descrição se pode encontrar na literatura, são: *Viable Systems Model* (VSM), *System Dynamics* (SD) e *Decision Conferencing* (Mingers e Rosenhead, 2001; Mingers e Rosenhead, 2004).

3.2.1 - A escolha de SSM

De entre os vários métodos que poderiam ser usados na fase de estruturação da metodologia baseada em análise multicritério que se pretende desenvolver, optou-se por escolher a SSM. As principais razões para esta escolha devem-se ao facto de a SSM mostrar uma grande flexibilidade na descrição do contexto da situação problemática em que se pretende intervir, bem como na interpretação do papel desempenhado por cada participante, do seu grau de envolvimento e intervenção e das relações entre os diversos participantes. Por outro lado, a familiarização com a linguagem e com os conceitos de engenharia de sistemas poderá facilitar a interpretação e exploração dos problemas inter-relacionados.

A SSM faculta um enquadramento eficiente para a condução de um sistema de análise de processos onde os processos tecnológicos e as atividades humanas são interdependentes. Esta metodologia foi desenvolvida por Checkland, dado o seu

interesse em aplicar os conceitos de engenharia de sistemas aos problemas complexos, mal estruturados, onde as várias questões são vagamente percebidas, não se encontrando claramente definidas (Checkland, 1981; Checkland e Scholes, 1990; Checkland e Poulter, 2006). A SSM é uma metodologia que permite a sistematização holística das situações problemáticas (sociais) e que, sendo orientada para a ação, permite organizar a análise dessas situações, de modo a possibilitar a tomada de ações corretivas. Esta metodologia é particularmente adequada para a resolução de conflitos que emergem da multiplicidade de visões do mundo e, portanto, de objetivos conflituosos de várias partes interessadas (Daellenbach, 1997).

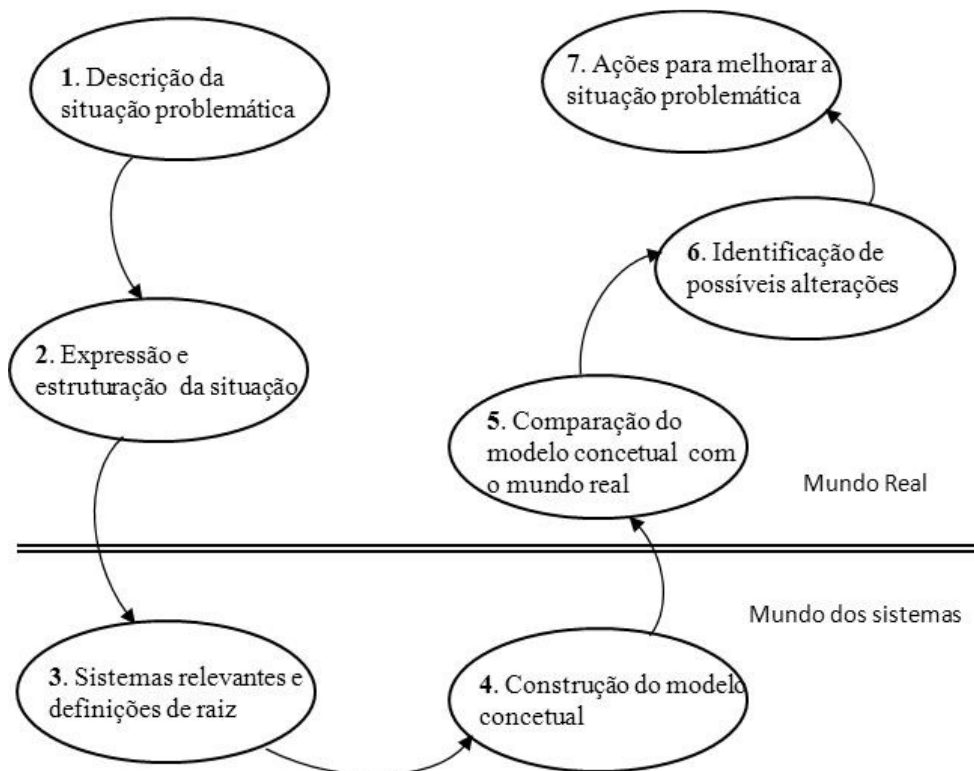
A vantagem oferecida pela metodologia SSM, ao fazer a ligação entre as fases de estruturação e de avaliação de alternativas, advém, fundamentalmente, da sua capacidade de fazer ressaltar as principais questões de natureza distinta que devem ser incorporadas nos modelos MCDA. Fielden e Jakes (1998) consideram a SSM uma metodologia útil em situações problemáticas no âmbito do setor energético, uma vez que contribui para: deslindar problemas não estruturados complexos; questionar o sistema, reconhecendo a existência de definições alternativas em relação aos limites do sistema (e que, portanto, podem ajudar a propor soluções alternativas para a oferta de energia); efetuar comparações (por exemplo, entre abastecimento centralizado e não centralizado de energia)

3.3 - Soft Systems Methodology – Conceito e estrutura

A metodologia SSM foi desenvolvida por Peter Checkland (Checkland, 1981) e surgiu como alternativa à discussão de problemas *soft*, que são mal definidos e envolvem variáveis comportamentais, não podendo ser adequadamente tratados por metodologias *hard*. A SSM é uma metodologia para lidar com situações problemáticas, nas quais existem importantes componentes de natureza social, política e humana.

No caso dos sistemas *hard*, o problema está normalmente bem estruturado e claramente definido, existindo vários algoritmos para obter a solução. Os sistemas *soft* estão mal estruturados, com muitos fatores interagindo entre si. Para além disso, em muitos casos, tem que se considerar a intervenção humana no sistema.

A abordagem metodológica dos problemas utilizando a SSM é realizada num processo de inquérito em 7 etapas, como mostrado no diagrama da Figura 3.1. No diagrama existe uma clara distinção entre aquilo que acontece ou que expressa o Mundo Real e o Mundo dos Sistemas, que é conceptual. De facto, a linha que separa as fases 1, 2, 5, 6 e 7 das fases 3 e 4, indica que a análise usando SSM trata de duas preocupações: uma ligada ao mundo real e outra concentrada no mundo dos sistemas, utilizando uma linguagem sistémica.



Baseado em Checkland (1981).

Figura 3.1 – As sete etapas da SSM.

Caraterização da situação problemática

A caraterização da situação problemática abrange as duas primeiras etapas: descrição da situação problemática não estruturada e a estruturação da situação problemática. A metodologia SSM inicia-se com a identificação de uma situação do mundo real considerada problemática por várias pessoas/ entidades. A descrição da

situação problemática tem como objetivo um diagnóstico da situação existente, identificando os intervenientes e a natureza do problema.

Nesta fase de caracterização, a estratégia mais conhecida tem sido a representação gráfica da situação problemática em estudo. Estas representações gráficas podem incluir um conjunto de informações significativamente pormenorizadas, pelo que são habitualmente conhecidas pela designação de *Rich-pictures*. Monk e Howard (1998) entendem a *Rich-picture* como uma representação tipo *cartoon*, que retrata todas as partes interessadas, as suas inter-relações e suas preocupações, pretendendo-se que dê uma visão abrangente e altamente pormenorizada da situação problemática.

Para a exploração da situação problemática, para além da *Rich-picture*, a SSM pode ainda recorrer a um processo de inquirição, com recurso às análises de intervenção, do sistema social e do sistema político, também designadas por “Análise Um, Dois e Três”, respetivamente (Checkland, 1981; Checkland e Scholes, 1990; Checkland e Poulter, 2006), que se passa a descrever:

Análise Um – análise dos papéis que os intervenientes assumem ou que se espera que assumam. Esta análise deve clarificar quem é o “dono”, ou seja, quem solicitou a intervenção e o facilitador, isto é, a pessoa encarregada de conduzir a resolução do problema. Identificado o facilitador, ele próprio, durante esta análise, deve tentar identificar quem são as partes interessadas, ou seja, todos aqueles que têm interesse ou que são suscetíveis de serem afetados pela situação problemática. Esta informação fornece um ponto de partida para as fontes de informação sobre a situação;

Análise Dois – análise do sistema social em termos de papéis, normas e valores. Durante a Análise Dois, o problema é encarado como um “sistema social”, tentando-se identificar quais os papéis sociais significativos na situação problemática e as normas comportamentais pelas quais se regem, e por que valores se podem classificar esses comportamentos;

Análise Três – análise do sistema político, numa tentativa de entender como se pode encontrar o equilíbrio entre os diferentes interesses, reconhecidos e considerados, e os jogos de poder que ocorrem nas organizações. Durante esta análise, procura-se

identificar as relações de poder existentes na situação problemática, averiguando como esse poder pode ser manifestado, qual a sua extensão, como pode ser obtido, delegado, usado, etc. Esta análise alerta o facilitador para as questões de poder que terão que ser tidas em conta durante todo o processo da aplicação da SSM.

Definições de raiz e formulação de modelos de atividades relevantes

Selecionados os sistemas mais significativos, a SSM passa à construção dos respetivos modelos conceptuais, que engloba as fases 3 e 4. No entanto, antes da construção do modelo, é necessária a definição clara e objetiva do sistema a ser modelado, a designada definição de raiz, também aqui denominada por definição-chave. De acordo com o guia sugerido por Checkland (1981) para a construção da definição de raiz, esta deve ser guiada no sentido de conter seis componentes, resumidas na mnemónica CATWOE, com origem nas iniciais dos seis termos: *Customers* (Clientes); *Actors* (Atores); *Transformation process* (Transformação); *Weltanschauung* (Visão do mundo); *Owner* (Dono); *Environment constraints* (Ambiente):

- C** Clientes – os beneficiários imediatos ou as vítimas do resultado do sistema;
- A** Atores – os intervenientes na transformação, i.é., aqueles que realizam uma ou mais atividades dentro do sistema;
- T** Transformação – é o núcleo do sistema de atividades humanas, onde algumas entradas definidas são convertidas nalgum tipo de saída e passadas novamente aos clientes. Os atores tomam parte neste processo de transformação;
- W** Visão do mundo – é a perspetiva ou ponto de vista que dá sentido à definição-chave em desenvolvimento. Portanto, uma definição-chave deve ter apenas uma única visão do mundo;
- O** Dono – o indivíduo ou grupo responsável pelo sistema proposto. Tem poder para modificar ou mesmo parar o sistema, sobrepondo-se a outros atores do sistema;
- E** Ambiente – todos os sistemas de atividades humanas funcionam sob algumas restrições impostas pelo ambiente externo, sejam elas legais, físicas ou éticas. São elementos exteriores ao sistema, que este considera garantidos e que devem ser separados do seu domínio.

Obtidas as definições-chave, desenvolve-se o modelo conceptual capaz de atingir a transformação descrita na fase 3. Este modelo é constituído por um conjunto de atividades humanas concebidas como um processo de transformação e ligadas por dependências lógicas (Checkland, 1981; Checkland e Tsouvalis, 1997). Checkland, (1981) destaca que a definição dessas atividades humanas deve ser dada por verbos que descrevam ações que os intervenientes possam desempenhar diretamente (como recolher informação, fazer planos, etc) e não por verbos que mais caracterizam consequências do que ações (como diminuir custos). Aqueles autores referem ainda que os modelos devem ser simples e incluir 7 ± 2 atividades.

Depois de elaborados os modelos conceptuais, é preciso validá-los através da comparação com um sistema formal. Um sistema formal possui os seguintes elementos: Propósito/missão; Medida de desempenho; Processo de tomada de decisão; Subsistemas ligados; Interação com o ambiente; Recursos físicos e humanos; e Continuidade.

O modelo deve incluir as atividades de monitorização e controlo que avaliem a eficácia, a eficiência e a efetividade do sistema, isto é, que avaliem, respetivamente, se o sistema funciona, se o sistema utiliza o mínimo de recursos necessários e se o sistema se comporta de acordo com o esperado (Checkland e Scholes, 1990).

Debate da situação e implementação de ações para melhorar a situação problemática

Uma vez concebido o modelo e de regresso ao mundo real, a SSM efetua, na fase 5, a comparação entre o modelo e o mundo real. Nesta fase de comparação, é de extrema importância a participação dos envolvidos no problema, de modo a gerar debates sobre possíveis mudanças que possam ocorrer.

Checkland (1981) descreve quatro modos de efetuar essa comparação: através de uma discussão informal; através de um questionário formal; através da descrição de cenários baseada na operação dos modelos; e através da tentativa de modelar o mundo real com a mesma estrutura do modelo conceptual. Dos quatro modos indicados, a comparação através de um questionário formal é o mais usual, como referido por Checkland e Scholes (1990). Com recurso ao questionário formal procura-se, para cada atividade e ligação estabelecidas no modelo, averiguar se essa atividade existe ou não na situação real, de que modo é realizada e como é avaliada.

Com base nas comparações feitas, é possível identificar, na fase 6, propostas de alterações que será necessário introduzir nos processos, nas estruturas e nas atitudes no sistema real e que serão implementadas na etapa 7. O sucesso da implementação exige que as alterações propostas sejam, além de desejadas, realizáveis.

3.4 - Aplicação da *Soft Systems Methodology*

3.4.1 – O sistema energético urbano

As cidades e as áreas metropolitanas constituem o contexto no qual as implicações ecológicas, sociais e económicas das atuais políticas ambientais mais se manifestam, ocupando o centro do debate da sustentabilidade ambiental. A principal justificação reside no facto de a maioria das atividades humanas estar concentrada nas cidades, consequência não só das taxas naturais de crescimento mas também da afluência de pessoas a partir das zonas rurais e de áreas menos prósperas. De acordo com os dados das Nações Unidas (UN, 2012), quase metade da população mundial vive em áreas urbanas (em Portugal, em 2010, a percentagem da população urbana era de 60.7) e, em 2030, prevê-se que 59 % dos 8.3 biliões que constituirão a população mundial residam em áreas urbanas (71.4% em Portugal).

As cidades são, por isso, zonas de grande concentração de consumo de energia e simultaneamente pontos geográficos importantes no que diz respeito às emissões poluentes. Presentemente, as áreas urbanas são responsáveis por dois terços do consumo mundial de energia, contabilizando mais de 70% das emissões globais de CO₂, e prevendo-se que o consumo de energia nas cidades aumente significativamente até 2030 (IEA, 2008). Só por si, estes factos mostram a enorme importância da intervenção nos centros urbanos, no sentido de reduzir o ritmo de utilização dos recursos energéticos em geral.

No âmbito do desenvolvimento sustentável, da tendência para a liberalização dos mercados de energia, da importância crescente das tecnologias de produção descentralizada com base em fontes de energia renováveis e do quadro legislativo existente, nacional e internacional (de que são exemplos a Agenda 21, o Protocolo de Kyoto, o Pacote Energia-Clima), a satisfação da crescente procura de energia nas áreas urbanas é uma questão da maior importância.

O sistema energético urbano deverá garantir de forma segura, sustentável e equitativa a satisfação da procura, sujeita a várias influências, como sejam preços, regulamentos e preferências do consumidor. Um tal sistema é um sistema complexo que envolve vários vetores energéticos (eletricidade, combustíveis líquidos e gasosos), diferentes redes de distribuição e uma grande diversidade de serviços de energia (climatização, iluminação, etc.) em diferentes setores de atividade (residencial, serviços, indústria, transportes), como se pretende ilustrar através do diagrama de Sankey apresentado na Figura 3.2.

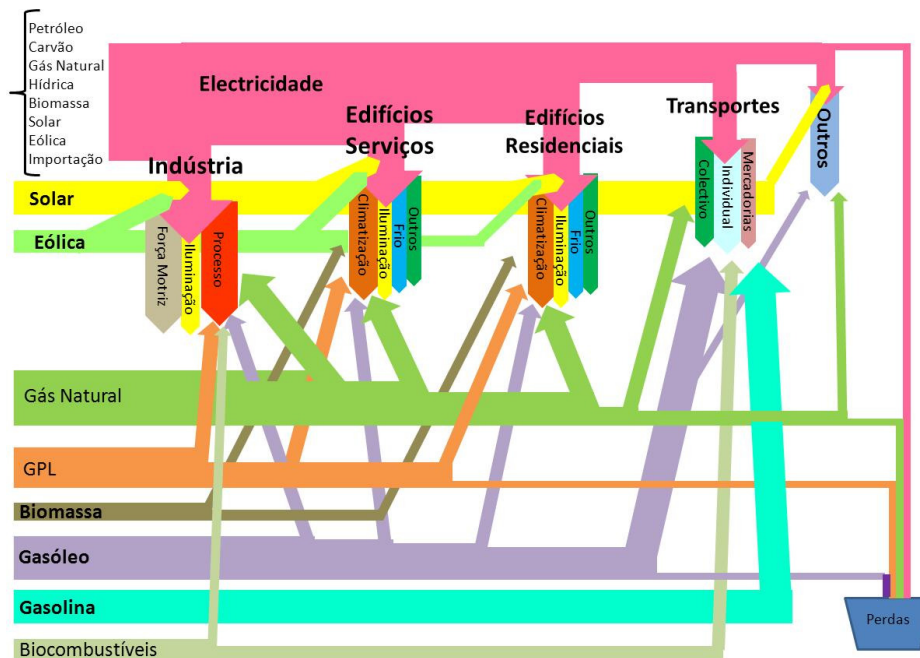
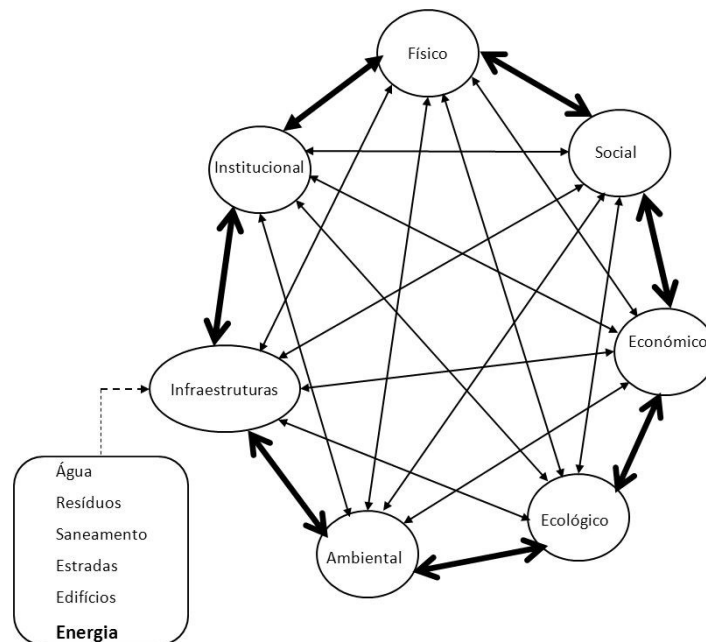


Figura 3.2 – Diagrama de Sankey de um sistema energético urbano.

Apesar de a energia representar um recurso fundamental nas cidades modernas, não tem sido tradicionalmente considerada como um elemento importante no planeamento dos municípios. Para isso tem contribuído o facto de o abastecimento de energia não ser, na maior parte dos casos, assegurado pelos municípios, mas por terceiros que faturam diretamente o consumidor, apresentando-se a autoridade municipal também como cliente. Mas as decisões quotidianas das entidades municipais em áreas como a ocupação do solo, o abastecimento de água, a recolha de resíduos sólidos e o traçado de eixos viários têm grandes impactos tanto no consumo como no abastecimento de energia, pelo que será vantajoso envolver os municípios no planeamento energético. Um

modo possível de o conseguir será através da consideração do sistema energético, não apenas em pé de igualdade com os outros sistemas de infraestruturas convencionais (de acessibilidade, sanitário e de comunicações) em todas as questões de planeamento e de gestão urbanos, mas encarando-o de modo a que ele influencie as decisões a todos os níveis, desde o uso do solo até à eficiência dos equipamentos de uso final, passando pelo desempenho energético dos edifícios e a mobilidade.

Sendo, só por si, um sistema complexo, um sistema energético urbano constitui apenas uma das várias infraestruturas de um sistema mais vasto e ainda mais complexo – o sistema urbano, que, para além do subsistema das infraestruturas, engloba outros subsistemas: Físico; Social; Económico; Ecológico, Ambiental e Institucional, que são interdependentes e estão interligados, funcionando globalmente (Zia e Devadas, 2007), como representado na Figura 3.3. Todos estes subsistemas urbanos dependem direta ou indiretamente da energia para o seu correto funcionamento, sendo indubitavelmente a energia o precursor do funcionamento, do crescimento e do desenvolvimento de qualquer sistema urbano.



Baseada em Zia e Devadas (2007).

Figura 3.3 – O sistema urbano e as interações energéticas.

Estando o desenvolvimento urbano sustentável intimamente ligado com a urbanização e os padrões de consumo, os governos locais têm vindo a planear e implementar abordagens mais sustentáveis para a produção e utilização da energia. Os governos locais têm fortes razões para promover práticas de planeamento sustentável de energia (CEC, 2005; European Commission, 2012), assumindo o seu envolvimento diversos papéis, identificados nos parágrafos seguintes.

Consumidor e prestador de serviços

Os governos locais são, muitas vezes, eles próprios grandes consumidores de energia nos edifícios que ocupam e que consomem muita energia, por exemplo, no aquecimento e na iluminação. A implementação de programas e de ações para economizar energia nos edifícios públicos é um domínio em que podem ser realizadas grandes poupanças. As autoridades locais e regionais fornecem também serviços de consumo intensivo de energia, como é o caso dos sistemas de abastecimento de água, das frotas municipais, dos transportes públicos e de outras infraestruturas, como a iluminação pública, áreas em que podem ser feitas melhorias. E mesmo no caso de a autarquia ter adjudicado esses serviços a outros fornecedores, podem ser aplicadas medidas para reduzir a utilização de energia através de contratos públicos de fornecimento e de serviços.

Organizador, promotor e regulador

As autoridades locais e regionais são responsáveis pelo ordenamento do território e a organização do sistema de transportes. As decisões estratégicas em matéria de desenvolvimento urbano para, nomeadamente, impedir a expansão urbana, podem reduzir a utilização de energia nos transportes. As autoridades locais e regionais podem desempenhar frequentemente um papel regulador, por exemplo, estabelecendo normas de desempenho energético ou prevendo a instalação nos novos edifícios de equipamentos de energias renováveis.

Consultor, motivador e modelo

As autoridades locais e regionais podem contribuir para informar e motivar os residentes, as empresas e outras partes interessadas locais sobre modos mais eficazes de utilizar a energia. Face às preocupações com a proteção ambiental, e em particular com a redução da poluição atmosférica, elas têm uma obrigação de promover a melhoria da

eficiência energética. As ações de sensibilização são essenciais para que toda a comunidade se empenhe em apoiar as políticas energéticas sustentáveis.

Produtor e fornecedor

As autoridades locais e regionais estão numa posição vantajosa no que diz respeito à utilização dos recursos renováveis locais, incluindo os resíduos. Sendo, por vezes, responsáveis pela produção e distribuição de energia e água para os habitantes e para os vários atores económicos, podem promover a produção local de energia e a utilização de fontes de energia renováveis. Podem também encorajar os cidadãos a pôr em prática projetos ligados às energias renováveis, dando apoio financeiro às iniciativas locais.

Dois papéis adicionais para o governo local são referidos em ICLEI (2009): enquanto envolvido na aquisição de grandes quantidades de bens – tais como papel, combustível, materiais de construção, lâmpadas e veículos - e como grande empregador, pode influenciar diretamente os padrões de consumo energético dos seus funcionários.

Contudo, as estratégias energéticas tradicionais são de natureza setorial, focadas essencialmente em eficiência energética, do lado da procura e do lado da oferta, combinando-as, eventualmente num plano energético global, não abordando de forma integrada as ligações essenciais entre a energia e o desenvolvimento socioeconómico. Em geral, esta situação conduz a um sistema sub-ótimo, uma vez que pretere diversas interdependências que podem existir entre as componentes do sistema (Nilsson e Martensson, 2003).

Portanto, torna-se necessário usar uma abordagem holística no planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos que ajude na resolução deste tipo de problemas (Fielden e Jakes, 1998; McIntyre e Pradan, 2003).

Esta abordagem holística implica a consideração de todos os fatores que devem integrar o processo de planeamento e de gestão de um sistema energético urbano. Os principais fatores são: a eficiência energética (com um impacto positivo sobre o consumo de energia e sobre o meio ambiente) e a exploração de recursos locais – energias renováveis (com impacto positivo no emprego local, na dependência energética nacional e no ambiente); os vários vetores energéticos que garantam o abastecimento

dos consumidores com diferentes padrões de consumo e diversificadas utilizações finais de energia; as políticas de transportes (com um impacto significativo na procura energética urbana e no ambiente urbano); e os edifícios (geralmente um dos setores onde se verifica um maior consumo em meio urbano).

3.4.2 – Estruturação do problema

Seguindo a abordagem clássica da SSM em sete etapas, descrita no ponto 3, e feita a descrição do sistema energético urbano no ponto 4.1, o passo seguinte da fase de estruturação da situação problemática foi desenvolvido de acordo com as definições das Análises Um, Dois e Três, anteriormente referidas. Com a informação recolhida nas várias entrevistas efetuadas, obteve-se uma primeira versão da *Rich-picture*, resultante desta fase de estruturação e que foi apresentada em Coelho et al. (2008).

Numa segunda ronda de entrevistas, tentou obter-se junto dos interessados os seus comentários sobre questões que poderiam ter sido omissas, sub ou sobrevalorizadas ou mal compreendidas. Os comentários e sugestões obtidos permitiram obter uma *Rich-picture* mais completa, no que respeita não só aos interessados, mas também ao seu papel no processo e às suas relações de poder, e que é apresentada na Figura 3.4.

Identificam-se de seguida os interessados e o papel que desempenham no processo e é indicada a relação existente entre eles, tendo em consideração que foi escolhida uma cidade portuguesa como cenário de decisão, tal como referido no início deste capítulo.

Instituições internacionais - influenciam os rumos a serem seguidos na política energética e definem as regras para a elegibilidade de financiamento, através de fontes ou programas. Exigem ao Governo central de cada país o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos (Protocolo de Quioto, por exemplo).

Portugal, enquanto Estado Membro da União Europeia, está obrigado ao cumprimento das Diretivas Comunitárias, de que são exemplo as Diretivas relativas ao desempenho energético dos edifícios, à participação da produção de energia com base em fontes renováveis e à promoção da eficiência energética nos setores industriais, Estado e transportes (Diretiva n° 2010/31/UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que reformula a Diretiva n° 2002/91/CE; Diretiva n° 2009/28/CE, relativa à promoção do uso de energia proveniente de fontes renováveis; Diretiva n° 2009/125/CE,

relativa à definição dos requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia; Diretiva n.º 2006/32/CE, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos; Diretiva n.º 2010/30/UE, relativa à rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos relacionados com a energia).

A Comissão Europeia é responsável por diversas iniciativas de apoio à implementação de estratégias energéticas, nomeadamente no contexto urbano. São exemplos destas iniciativas:

CIVITAS - iniciativa que visa apoiar e avaliar a implementação de estratégias ambiciosas de transporte urbano sustentável;

CONCERTO - iniciativa para fomentar o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, através da promoção da integração de medidas de eficiência energética e de sistemas de energias renováveis;

Managenergy - iniciativa para apoiar o trabalho dos diferentes atores nas áreas da eficiência energética e das energias renováveis a nível local e regional;

BUILD-UP - iniciativa criada para sensibilizar todas as partes da cadeia de construção em relação ao potencial de poupança energética em edifícios;

Edifícios ecológicos - programa criado para a promoção da eficiência energética em edifícios com recurso a projetos de demonstração, tanto para a construção de novos edifícios como para técnicas de renovação;

Pacto de Autarcas - compromisso formal apoiado pela UE, assumido pelos municípios signatários, de redução das emissões de CO₂.

A União Europeia promove ainda outras iniciativas, que complementam os programas nacionais de financiamento, como sejam:

JESSICA - iniciativa da Comissão Europeia e do Banco Europeu de Investimento que permite aos Estados Membros a utilização de alguns dos fundos estruturais (como o FEDER) em investimentos reembolsáveis dos planos de desenvolvimento urbano sustentável;

Política de coesão - para apoio de investimentos nos domínios da eficiência energética, da cogeração e da gestão energética, no período 2007-2013;

Energia Inteligente-Europa (2007-2013) – programa que apoia projetos que abranjam disseminação de boas práticas no âmbito da renovação do parque imobiliário. O mecanismo ELENA – Assistência Europeia à Energia Local, constitui um dos seus instrumentos mais recentes;

Programa-Quadro de Ações de Investigação, Desenvolvimento Tecnológico e Demonstração (2007-2013) - Este programa apoia a investigação e a inovação no domínio da eficiência energética.

Governo central – é responsável, desde logo, pela transposição da legislação europeia para a legislação nacional. O papel do governo central é essencial no que diz respeito à temática da energia, ao fornecer o quadro regulamentar e político dentro do qual todas as outras partes interessadas nas questões energéticas locais devem operar. O Governo central encoraja o Governo local a adotar regulamentos municipais que reflitam bons princípios de planeamento energético e a envolver o público na avaliação de uma série de opções de desenvolvimento. O Governo central legisla sobre produção descentralizada ou local de energia (microprodução, miniprodução, cogeração) e define os montantes e condições de atribuição de benefícios fiscais e das tarifas especiais a aplicar à produção de energia a partir de fontes renováveis. É responsável pela atribuição de parte do orçamento municipal e compete-lhe a decisão da atribuição de pedidos de financiamento para projetos específicos.

É também o Governo central que exige garantia da segurança no abastecimento de energia, economia de energia, uso racional de energia e conservação do meio ambiente. Impõe legislação específica para novas construções ou para grandes renovações (caso do RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios e o RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios). É ainda ao Governo central que compete a definição dos requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia e a imposição da colocação de etiquetas e elaboração de fichas de informação sobre o consumo de energia, bem como de outros produtos que tenham impacto no consumo de energia – assim se inserindo nos objetivos de política energética definidos na Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020 (ENE, 2020, Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010).

De realçar ainda que é o Governo central que analisa a competitividade internacional do setor energético.

Governo local (englobando os serviços municipais e as participações municipais) – embora a sua atividade esteja dependente das leis nacionais, e a sua política energética seja alinhada com a política energética nacional, o Governo local é o responsável pelo desenvolvimento de estratégias e medidas ao nível local. Em Portugal, através do órgão deliberativo (Assembleia Municipal) e do órgão executivo (Câmara Municipal), compete aos municípios, entre outras tarefas: o licenciamento de novas construções, reedificação, utilização, conservação ou demolição de edifícios; a gestão da iluminação pública; criação, construção e gestão de instalações, equipamentos, serviços, redes de circulação, de transportes, de energia, de distribuição de bens e recursos físicos integrados no património municipal.

Enquanto nível de governo mais próximo da população, a administração local desempenha um papel essencial em várias áreas: na sensibilização ambiental; no incremento da eficiência energética em edifícios públicos e na iluminação pública; na mobilidade sustentável; na exploração de energias renováveis, nomeadamente através da integração de sistemas de micro e miniprodução nos edifícios de cuja gestão é responsável; e na racionalização de consumos (água e energia).

Nas áreas da eficiência energética e da exploração de energias renováveis, o município pode recorrer a financiamentos externos para a realização dos projetos. Para além dos programas europeus já referidos, existem outros programas nacionais, entre eles:

Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica – PPEC, promovido pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, para apoio de iniciativas de promoção da eficiência energética e redução de consumo de eletricidade;

Fundo Português de Carbono – FPC, entidade estatal que apoia projetos nacionais de redução de emissões poluentes;

Fundo de Eficiência Energética – FEE, criado no âmbito do Plano de Ação para a Eficiência Energética, para a sua operacionalização;

Fundo de Apoio à Inovação – FAI, que apoia projetos nas áreas da eficiência energética e das energias renováveis;

Quadro de Referência Estratégica Nacional – QREN, com programas operacionais regionais regulares, com potencialidade de aplicação às iniciativas municipais.

As autoridades locais dispõem ainda de outras opções de financiamento para os seus projetos, como é o caso do crédito bancário ou mecanismos como os Certificados Brancos ou os contratos de desempenho.

Os Certificados Brancos são um mecanismo introduzido pela diretiva Eco.Ap - Eficiência Energética na Administração Pública, que permite às entidades públicas que ultrapassem o aumento de 20% na eficiência energética até 2020 a venda do excedente a entidades que não tenham atingido esse objetivo.

Os contratos de desempenho permitem que entidades privadas, as Empresas de Serviços de Energia (ESE), assumam os custos de investimento de medidas de eficiência energética, com a contrapartida de uma parte das poupanças geradas com a implementação dessas medidas.

A aposta de intervenção dos órgãos do poder municipal nas áreas do ambiente e da gestão de energia contribui, habitualmente, para a melhoria da imagem do poder local junto dos munícipes, sendo também uma boa forma de legitimar as ações e de granjear apoio eleitoral.

Instituições financeiras – financiam o governo local para apoiar o processo de planeamento e de desenvolvimento de novos planos. Financiam, ainda, os produtores locais para investirem em fontes de energia renováveis e os consumidores em geral, para investirem em tecnologias/equipamentos eficientes.

Agência de energia – quer seja municipal ou de âmbito regional, o seu papel é essencial no apoio à concretização de estratégias e políticas relativas à eficiência energética, energias renováveis, inovação tecnológica, combate às alterações climáticas e à promoção do desenvolvimento sustentável. Um dos papéis que lhe é atribuído é o da disseminação regular de informação aos consumidores, com o sentido de promover a utilização racional de energia. Deve avaliar/estimular o interesse da comunidade/social em iniciativas de eficiência energética que possam vir a ser incluídas no planeamento energético.

Grupos ambientalistas – não têm papel na legislação mas têm observadores nos comitês locais. Analisam o impacto da implementação das medidas em termos ambientais e de bem-estar social. Exercem influência sobre a sociedade e sobre o governo, exigindo melhor qualidade ambiental através do incremento da produção a partir das fontes renováveis e da eficiência energética.

Consumidores - estão preocupados com os custos a pagar pela energia, com a proteção do ambiente e com a fiabilidade do fornecimento de energia. Incentivam o governo local a incluir metas de sustentabilidade energética nos planos oficiais da comunidade e indicam as suas preferências relativamente aos serviços de energia. Reagem a novas infraestruturas e tecnologias e têm poder suficiente para influenciar as decisões de todos os intervenientes, pelo que a sua opinião deve ser considerada no momento de decidir quais as ações a implementar.

Fabricantes/comercializadores - oferecem assistência técnica e podem apoiar na implementação de algumas medidas de redução de consumo. Têm como objetivo a maximização das vendas, podendo requerer financiamento para a introdução de novas tecnologias no mercado. Podem ser forçados, pelo governo, a enfrentar *standards* de eficiência ou de etiquetagem ou ser solicitados a participar em iniciativas específicas. São confrontados, por parte dos consumidores, com a procura da eficiência energética a preços baixos.

Gabinetes técnicos – envolvendo gabinetes de arquitetura e de engenharia e outros profissionais, investigadores, consultores, empresas privadas e construtores. Estes profissionais atuam como fontes de informação e de consultoria dos agentes de decisão. Realizam trabalhos para o município, com intervenção nas áreas dos edifícios, transportes, iluminação pública, rede de esgotos, etc. Estão obrigados ao cumprimento das regras e normas nacionais e locais.

Empresas de energia e operadoras de transportes – têm como objetivos custos baixos e receitas elevadas, um sistema de abastecimento fiável e compatível com as infraestruturas existentes. Estabelecem uma relação comercial com os consumidores, que lhes solicitam um serviço de qualidade ao mais baixo custo. Identificam as opções de serviço da comunidade e tentam incorporá-las nos planos estratégicos e operacionais

internos. É-lhes exigido, por lei, a observância de alguns *standards* de qualidade ambiental e de eficiência. Têm uma grande influência sobre as decisões finais do sistema energético urbano.

Produtores locais - exigem um papel ativo no sistema de abastecimento de energia. A sua atividade está dependente da legislação nacional relativa à produção local e também às regras e normas municipais existentes. Podem beneficiar da Agência de Energia na concretização dos seus projetos.

Empresas de Serviços Energéticos (ESE) - permitem obter melhorias da eficiência energética ao aceitarem riscos financeiros quando cobrem, ou ajudam a financiar, os custos iniciais de investimento e ao procederem ao seu refinanciamento com as poupanças realizadas. Podem ajudar as autoridades públicas a modernizar os edifícios, agrupando-os em projetos moduláveis no âmbito de contratos de desempenho energético.

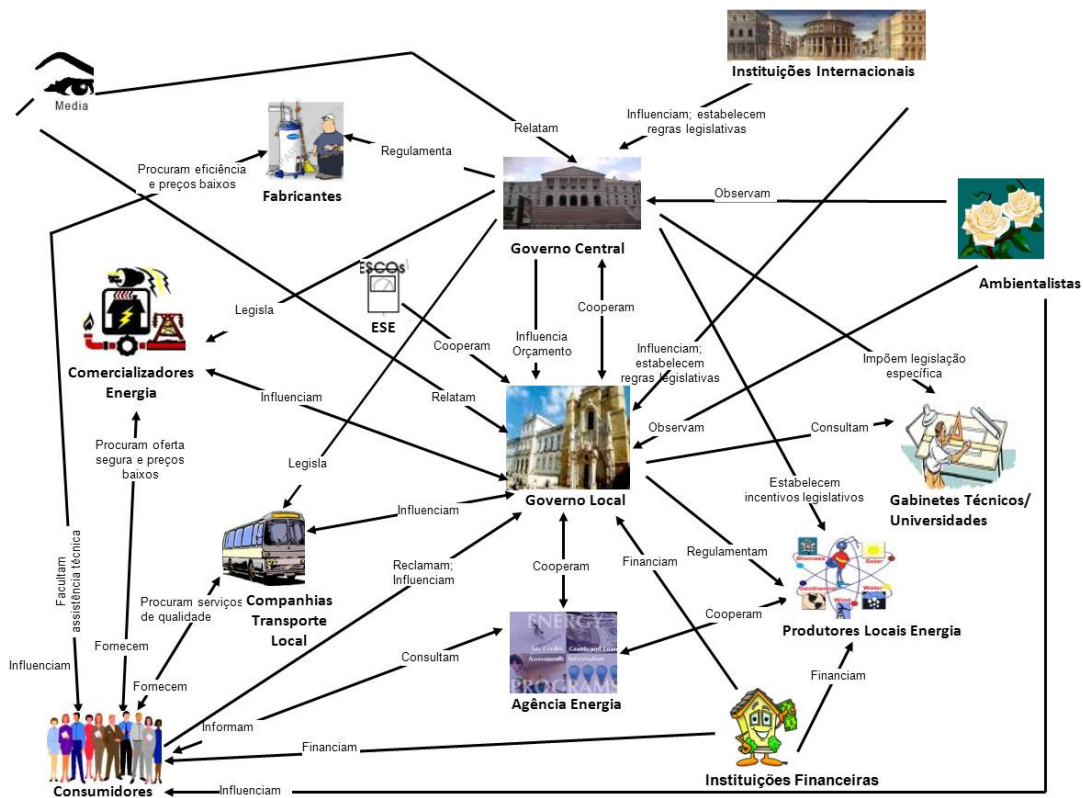


Figura 3.4 – Rich-picture do sistema energético urbano.

3.4.3 – Formulação da Definição de Raiz

Após a estruturação do problema, procede-se à formulação da definição de raiz do sistema. A definição de raiz é essencialmente uma frase que descreve, de forma abstrata, a natureza fundamental de um sistema quando visto do ponto de vista particular.

A construção da definição de raiz deve ser guiada pela mnemónica CATWOE (Checkland, 1981). Essencialmente, a mnemónica CATWOE incorpora a transformação identificada e, subsequentemente, força cinco questões, cujas respostas são consideradas necessárias, se a transformação (T) é para começar a ser entendida contextualmente. A Tabela 3.1, baseada em Georgiou (2008) indica estas questões, juntamente com alguns elementos da base de conhecimentos que permitem apoiar na sua informação. As questões solicitam a identificação dos vários atores envolvidos no processo de transformação, de acordo com os seus papéis.

Tabela 3.1 – Os elementos CATWOE e as suas fontes básicas de informação.

Mnemónica	Termos	Questões	Fonte de informação
C	Cliente(s)	Quem beneficiará e quem será afetado pela transformação?	Análise Um e Três
A	Ator(es)	Quem irá realizar a transformação, ou fazer com que ela seja fisicamente concretizada?	Análise Um e Três
T	Transformação	A própria transformação	Regras metodológicas
W	Visão do mundo	Que razões ou perspetivas justificam proceder àquela transformação?	Análise Dois
O	Dono (s)	Quem pode parar ou alterar a transformação?	Análise Um e Três
E	Ambiente	Que restrições existem na envolvente da transformação?	Análise Dois

A mnemónica CATWOE resulta nas seguintes definições:

Cliente – todos os integrantes da vida da cidade/região: cidadãos, empresas privadas e públicas, autarquia, órgãos do governo, fabricantes/comerciantes, que podem beneficiar ou ser vítimas do sistema energético urbano. Os beneficiários serão os consumidores que, tendo liberdade de escolha, vão beneficiar de um melhor e mais seguro sistema energético, com menores custos económicos e ambientais; os fabricantes de equipamento para produção local de energia a partir de fontes renováveis; e os

residentes que beneficiarão da criação de emprego com a implementação de medidas de eficiência energética e de produção local a partir de fontes renováveis; a sociedade, em geral, no que respeita ao desenvolvimento sustentável e dependência energética nacional. As vítimas poderão ser as companhias de energia, com possível redução de vendas bem como os fabricantes de equipamentos não eficientes que serão substituídos por equipamentos/tecnologias mais eficientes.

Atores – aqueles que melhor conhecem as exigências e as questões técnicas de um sistema energético urbano. Um comité de planeamento local composto pelos decisores municipais, promotores e consultores e membros das empresas de energia.

Transformação – mudanças que ocorrem dentro ou por causa do sistema. Planos urbanos setoriais existentes relacionados com a energia —→ um planeamento energético urbano integrado que define metas, políticas e procedimentos, a fim de ajustar a oferta à procura de energia no médio prazo e de forma sustentável.

Visão do mundo – um plano de investimento no sistema energético urbano para satisfazer a procura de energia deve garantir a melhoria do desenvolvimento económico e, ao mesmo tempo, assegurar o balanço entre justiça social, segurança e sustentabilidade ambiental.

Dono – o Executivo Municipal, com uma visão ampla sobre o problema, é o único decisor considerado. Este é a autoridade de referência e tem a principal preocupação com o sistema e o poder final para fazer o sistema deixar de existir.

Ambiente – restrições técnicas/tecnológicas; restrições ambientais; legislação comunitária; compromissos internacionais assumidos; legislação nacional e autárquica; restrições económico-financeiras; dados existentes, capacidade de obter dados inexistentes ou relevantes; interesses dos participantes; interesses dos beneficiários.

A seguinte definição de raiz tem as suas origens nas definições fornecidas pela mnemónica CATWOE descritas acima: "Um sistema que apoie a tomada de decisão do Executivo Municipal, no âmbito do desenvolvimento sustentável, a ser gerido por um comité de planeamento local, que inclua cenários de procura de energia e a identificação de um portfólio de ações com impacto no sistema energético urbano (no contexto de

uma visão global do uso de energia) para serem analisadas de acordo com vários eixos de avaliação".

3.4.4 - Construção do Modelo Conceptual

Enquanto a definição de raiz indica o que o sistema é, um modelo conceptual é um relato do que o sistema deve fazer para ser o sistema descrito na definição de raiz (Checkland, 1981). O modelo conceptual construído a partir da definição de raiz é mostrado na Figura 3.5. O modelo é composto por sete atividades principais e inclui, também, atividades para monitorização e controlo de desempenho no processo de transformação.

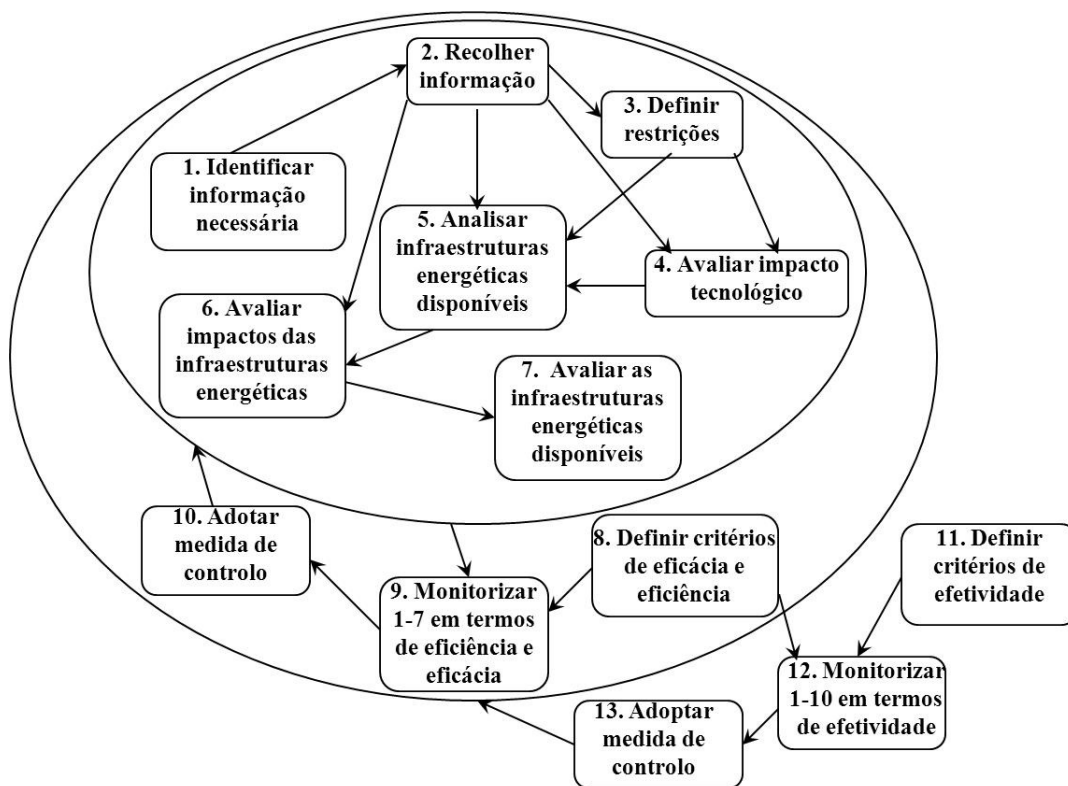


Figura 3.5 – Modelo conceptual do sistema energético urbano.

As atividades 1 e 2 estão relacionadas com a identificação e recolha de todos os dados necessários para o desenvolvimento do sistema, nomeadamente: disponibilidade local de fontes de energia renováveis (por exemplo, dados locais relativos à irradiação solar média mensal e à velocidade média mensal do vento); conjunto dos vetores energéticos disponíveis; tecnologias de conversão de energia; oportunidades de

incremento da eficiência energética; infraestruturas energéticas existentes; caracterização do parque edificado; legislação do setor energético existente. Os mecanismos de recolha de informação serão adaptados de acordo com o tipo de dados disponíveis, com as entidades que os disponibilizam e com os meios existentes. A atividade 3 torna-se necessária para definir com clareza todas as restrições relacionadas com o sistema energético urbano. Estas restrições podem ser de natureza diversa: legislativa, ambiental, económica e técnica e ainda restrições relacionadas com a disponibilidade e capacidade dos recursos locais (limitações à capacidade de ligação à rede dos sistemas de microprodução, por exemplo).

As restrições definidas na atividade 3 podem condicionar a escolha das diferentes tecnologias, cujo impacto na procura e abastecimento de energia tem que ser avaliado. A avaliação dos impactos tecnológicos, nomeadamente dos impactos relacionados com os custos de investimento e custos de manutenção, com o desempenho, fiabilidade e segurança e com a aceitação e a aplicabilidade da tecnologia, é feita na atividade 4. Para além dos impactos tecnológicos, devem igualmente ser avaliados os impactos no sistema energético urbano e os impactos sobre o meio ambiente.

Na atividade 5, as informações obtidas nas atividades 2, 3 e 4 são necessárias para a análise das opções do lado da oferta que garantam a satisfação da procura de energia e para o mapeamento das opções da infraestrutura energética. Isto requer a análise da infraestrutura energética existente e a avaliação das opções futuras de abastecimento de energia, utilizando os recursos e as tecnologias disponíveis.

Na atividade 6, é feita a avaliação dos impactos das opções das infraestruturas energéticas. Esta avaliação requer que os interesses e preferências dos atores relevantes, obtidos durante as entrevistas realizadas e revelados durante as fases de estruturação e de formulação da definição de raiz, sejam traduzidos em critérios. A avaliação deve conter todos os aspetos considerados relevantes, incluindo os aspetos expressos em unidades diferentes e mesmo aqueles que são expressos em termos qualitativos.

A avaliação das opções feita na atividade 7 é o objetivo deste sistema e enfatiza a necessidade de um método multicritério, que permita a incorporação das preferências do decisor no processo de apoio à decisão. O método ELECTRE TRI (Yu, 1992; Mousseau et al, 2000) afigura-se a escolha adequada, por permitir a utilização de diferentes escalas

(quantitativas e qualitativas) para os diferentes critérios e a definição de pesos de forma independente da escala usada. Deste modo, é criada a possibilidade de incluir e avaliar novas ações em qualquer ponto do processo de decisão. Acresce que a avaliação dos cursos de ação possíveis no planeamento e gestão do sistema energético urbano é feita no âmbito de um problema de classificação, isto é, serão classificados em categorias (ou classes) predefinidas, de acordo com o seu mérito absoluto e não em comparação com o conjunto das ações consideradas.

A qualidade do processo de transformação deve ser avaliada com base no “critério dos 3 E’s” (Checkland e Scholes, 1990):

Eficácia – (o que é?) – O sistema funciona? i.é., alcançou-se o resultado desejado? O sistema permite a elaboração de um plano energético urbano sustentável?

Eficiência – (como?) – O sistema faz o melhor uso dos recursos para alcançar o resultado desejado? O sistema funciona com os recursos mínimos?

Efetividade – (porquê?) – O processo de transformação alcançou os objetivos de longo prazo?

No contexto urbano, o uso de indicadores permite a monitorização do retorno dos investimentos, ou seja, a avaliação da eficiência (que pode ser expressa em tempo e dinheiro) e o controlo da eficácia do sistema (exprimível em termos das opções oferecidas, adquiridas e fornecidas), mas o sistema necessita ainda de ser efetivo. A efetividade na administração local poderá ser garantida através do desenvolvimento de estratégias sustentáveis a longo prazo.

3.4.5 - Comparação do Modelo Conceptual com o Mundo Real

Como já foi referido, existem quatro modos de efetuar a comparação do modelo conceptual com o mundo real (Checkland, 1981). No presente estudo a comparação foi feita de maneira informal, mas também apoiada com questionários formais. Algumas das entrevistas já realizadas contribuíram para comparar o modelo conceptual e o mundo real. Durante a fase de comparação, foram realizadas outras entrevistas com recurso a um questionamento formal.

Algumas das questões levantadas durante a fase de comparação e que devem ser tidas em consideração são:

- Melhorar a análise da oferta e procura de energia e as previsões de consumo;
- Desenvolver e manter atualizadas bases de dados municipais de informação relativa a fontes de energia renováveis locais e novas tecnologias;
- Obter e atualizar bases de dados de informação estatística do setor energético, assim como dados relativos aos impactos ambientais;
- Simplificar/facilitar a comunicação entre os participantes e aumentar a importância do papel do cidadão na identificação de oportunidades de mudança;
- Realizar uma triagem preliminar das restrições relativas às principais questões energéticas e manter um processo de observação para avaliar restrições;
- Escolher medidas e unidades para todos os indicadores e determinar valores para os indicadores;
- Levar a cabo a avaliação dos impactos por meio de modelação quantitativa ou análise qualitativa;
- Usar um sistema de apoio à decisão baseado num método multicritério dedicado a classificar as ações em categorias ordenadas predefinidas.

A partir dos resultados obtidos através do debate realizado nesta fase, foram identificadas alterações que devem ser incluídas para poder melhorar a situação problemática. A avaliação das mudanças foi realizada durante as sessões de trabalho com os principais interessados.

3.5 – Notas conclusivas

Neste capítulo foi apresentada a aplicação da abordagem *Soft Systems Methodology* para a estruturação de um problema de apoio à decisão, que constitui o primeiro passo para o desenvolvimento de uma metodologia MCDA para avaliar diferentes ações em problemas de planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos. Esta fase de estruturação contou, desde o início, com a preciosa colaboração de várias partes interessadas.

Hobbs e Horn (1997) referem que o envolvimento público, logo na fase inicial dos processos de decisão das questões energéticas, permitirá: assegurar que os valores públicos locais são refletidos nas decisões; obter informação sobre os impactos que de outro modo podem passar despercebidos; informar a comunidade local e melhorar a equidade e transparência dos procedimentos, conquistando o apoio e a confiança dos cidadãos tanto no processo de decisão como nos seus resultados.

A aplicação da SSM à problemática energética urbana permitiu consolidar o conhecimento sobre a situação em estudo, identificando as principais partes interessadas, explorando o papel desempenhado por cada uma e as suas relações de poder, reconhecendo os interesses de cada ator, as suas preferências, bem como as suas preocupações. Esta informação irá ser utilizada no quadro de apoio à decisão.

As linhas orientadoras sugeridas por Keeney (1992), no quadro do *Value Focused Thinking* (Pensamento Focado em Valores, uma estratégia onde a identificação das ações pode ser antecedida pela definição dos valores ou pontos de vista dos decisores) serão seguidas para a identificação de uma lista de valores dos decisores e para a estruturação do conjunto de valores identificados numa árvore de objetivos fundamentais. Estes objetivos fundamentais podem ser convertidos em critérios para uma abordagem multicritério de avaliação do impacto das ações a considerar no planeamento e gestão do sistema energético urbano.

O desenvolvimento de uma metodologia de apoio à decisão, baseada em análise multicritério, que possa ser utilizada para facilitar a tomada de decisões no planeamento e gestão dos sistemas energéticos em contexto urbano, é apresentado no próximo capítulo. A metodologia será desenvolvida no contexto português, usando uma cidade portuguesa, localizada no centro do país e de média dimensão, como cenário de decisão e considerando a legislação e programas de apoio nacionais e internacionais aplicáveis.

Capítulo 4 - Construção do Modelo Multicritério

4.1 – Introdução

Neste capítulo apresenta-se a construção de um modelo multicritério que permite avaliar diferentes ações em problemas de planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos, caracterizados por múltiplos aspetos de avaliação, múltiplas perspetivas e múltiplos intervenientes, como descrito no ponto 4.1 do capítulo anterior⁴.

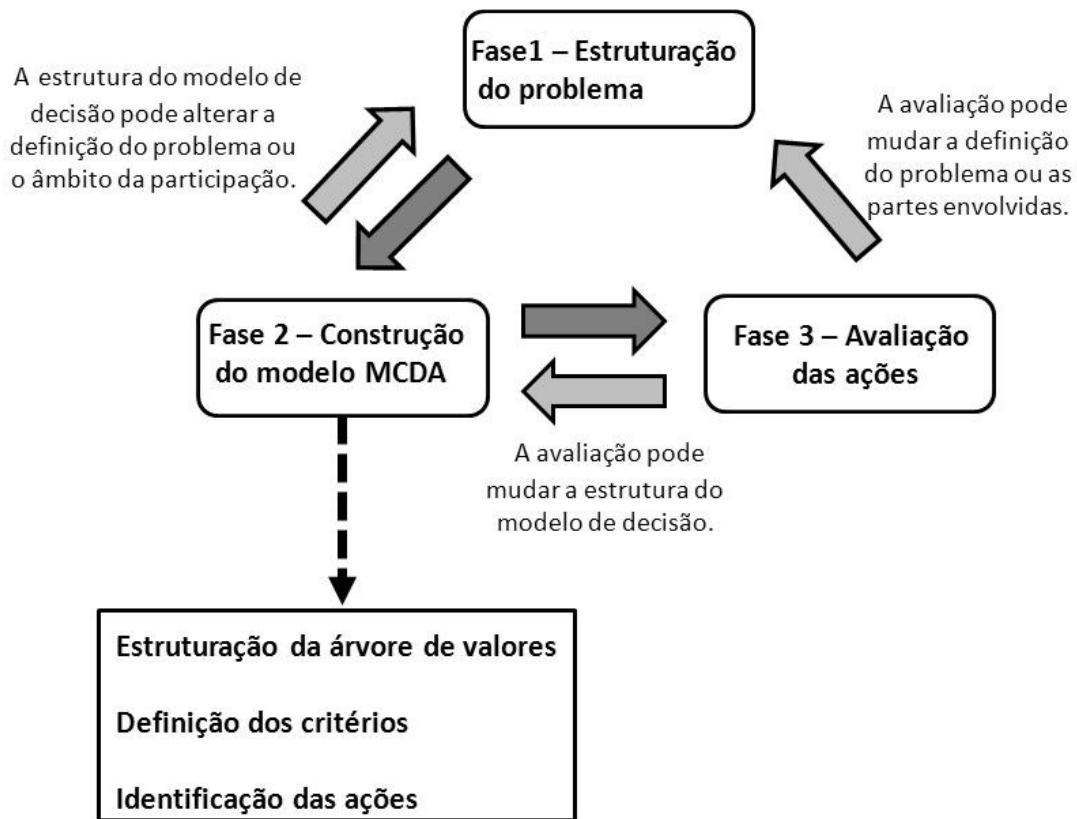
O modelo pretende-se de fácil compreensão e utilização, não só para o(s) decisor(es), mas também para os outros atores envolvidos no planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos. A metodologia desenvolvida possui, ainda, um âmbito alargado de aplicação, não se restringindo à cidade continental portuguesa usada como cenário de decisão.

De acordo com Franco e Montibeller (2009) e Bana e Costa e Beinat (2010), a construção do modelo constitui uma das três fases da estruturação de um processo MCDA – como ilustrado na Figura 4.1 –, envolvendo três tarefas principais: estruturação dos objetivos dos decisores numa árvore de valores, definição dos critérios a usar na avaliação das ações e identificação das ações.

A sequência natural das fases envolvidas no processo MCDA é indicada na Figura 4.1 pelas setas com sombreado mais escuro. As setas com sombreado mais claro mostram a recursividade do processo: isto é, pode passar-se da fase dois à fase um se na etapa de construção do modelo MCDA se alterar a definição do problema; e da fase três pode regressar-se às fases anteriores se a avaliação das ações alterar a estrutura do

⁴ Parcialmente baseado em Coelho et al. (2012).

modelo ou a definição do problema. O caráter dinâmico e interativo dum processo de decisão já anteriormente tinha sido reconhecido por Belton et al. (1997) e Wright e Goodwin (1999). Os autores referem a necessidade de se transitar entre as várias fases de construção de um modelo de avaliação, à medida que se vai consolidando o conhecimento sobre o problema e acerca dos valores dos decisores e das partes interessadas.



Baseado em Franco e Montibeller (2009).

Figura 4.1 – Representação esquemática da estrutura de um processo MCDA.

A estruturação do problema referente ao planeamento e gestão de um sistema energético urbano foi efetuada através da aplicação da SSM (ver capítulo anterior). A informação obtida durante a fase de estruturação será utilizada na fase de construção do modelo de avaliação, nomeadamente para a identificação e estruturação dos valores dos decisores numa árvore de objetivos fundamentais. Estes podem ser convertidos em critérios para uma análise multicritério de avaliação do impacto das ações a considerar no sistema energético urbano.

Para a estruturação da árvore de valores, Belton et al. (1997) e Franco e Montibeller (2009) fazem referência a duas aproximações tradicionalmente sugeridas: a aproximação *top-down* e a aproximação *bottom-up*. A aproximação *top-down* é guiada pelo objetivo global que será, numa aproximação descendente, decomposto em objetivos e estes, por sua vez, decompostos em sub-objetivos, construindo-se uma imagem mais detalhada até se obter o modelo desejado. A aproximação *bottom-up* é guiada pelas alternativas. Nesta aproximação, o processo inicia-se com a identificação dos objetivos que distinguem as alternativas. Estes objetivos devem então ser agrupados de acordo com a sua natureza e, numa abordagem ascendente, estes grupos de objetivos serão, por sua vez, agrupados num nível hierárquico superior, construindo a árvore de valores.

Estas duas aproximações clássicas apresentam algumas características semelhantes às duas estratégias definidas por Keeney (1992) para a estruturação da árvore de valores: *Value Focused Thinking*⁵ (VFT) e *Alternative Focused Thinking*⁶ (AFT). O autor argumenta que o pensamento focado em alternativas, onde a identificação das alternativas é feita no início do processo, sendo os objetivos definidos para as distinguir (de forma semelhante à aproximação *bottom-up* anteriormente referida), constitui uma forma limitada de pensar acerca das situações de decisão, por constituir uma abordagem meramente reativa e não proactiva. A preferência do autor vai para a estratégia em que o pensamento é focado em valores. Nesta estratégia, a ênfase inicial do processo de decisão está na articulação dos valores através da identificação e estruturação dos objetivos. Apenas quando estes valores forem identificados é que as alternativas serão também identificadas, isto é, numa primeira fase, decidir-se-á o que se aspira alcançar e, numa segunda fase, descobrir-se-á como atingir o que se pretende, constituindo os valores a força motriz do processo de decisão.

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia de apoio à decisão que permita a avaliação de qualquer ação que possa vir a ser implementada num sistema energético urbano, tendo em consideração múltiplos aspetos de avaliação, não restringindo esta a um conjunto predefinido de ações. Neste contexto, as linhas orientadoras do pensamento focado em valores serão seguidas para a identificação e

⁵ Pensamento focado em valores.

⁶ Pensamento focado nas alternativas.

estruturação de uma árvore de valores, tendo por base a informação obtida durante a aplicação da SSM à problemática energética urbana. No entanto, o conhecimento de ações usualmente consideradas no planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos será de grande utilidade na determinação dos valores relevantes, como sugerido por Belton et al. (1997), ao referir a complementaridade das aproximações *top-down* e *bottom-up*.

4.2 – A Estratégia *Value-Focused Thinking*

O papel central do pensamento focado em valores, onde os valores são a base de toda a atividade de apoio à decisão, está esquematizado na Figura 4.2.



Traduzido de Keeney (1992, p.24).

Figura 4.2 – Ilustração esquemática da estratégia *Value-Focused Thinking*.

Num processo de decisão, as linhas orientadoras do pensamento focado em valores facilitarão o envolvimento de todas as partes interessadas. A linguagem comum - em vez de uma linguagem técnica - usada na VFT, não só criará a oportunidade das partes interessadas expressarem os seus valores, mas facilitará também a comunicação entre os envolvidos, facultando uma base de entendimento entre todos. Este aspeto é particularmente importante em processos de decisão que envolvam múltiplas partes interessadas, com diferentes valores, como é o caso do planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos.

Keeney (2007) apresenta uma descrição mais pormenorizada da utilização dos valores no processo de decisão. Na sua análise, com base em estudos de caso de decisões de política pública, o autor ilustra a utilização dos valores no processo de decisão, nomeadamente: na facilitação do envolvimento das partes interessadas; na obtenção de uma base de concordância entre elas; na criação de alternativas; na identificação das necessidades de informação; na avaliação das alternativas; e no estabelecimento da consistência entre decisões e programas relacionados.

4.2.1 – Identificação e estruturação dos objetivos

A identificação e estruturação dos objetivos não é uma tarefa fácil (Keeney, 2007): os fins são frequentemente confundidos com os meios; as metas, restrições ou até alternativas são confundidas com os objetivos; as relações entre objetivos não são claras; e o conceito de prioridade entre objetivos é facilmente deturpado. O autor refere, ainda, que um conjunto de objetivos claros e úteis ao processo de decisão não se deve limitar a uma simples listagem de objetivos, a qual será ineficaz. Há necessidade de uma estrutura lógica para o desenvolvimento de objetivos na tomada de decisões, fornecendo estes a base para quantificar os valores. Em seguida, apresentam-se cinco tipos de informação necessária para especificar completamente os valores das partes interessadas, indicados por Keeney (2007):

- Uma lista de valores gerais adequados, referente a possíveis consequências que possam resultar da decisão a ser tomada;
- Uma tradução de cada um desses valores gerais em objetivos específicos;
- Uma estrutura dos objetivos, evidenciando as relações entre eles;

- Uma definição de atributos para definir e medir o grau de concretização de cada objetivo e servir de base para descrever as consequências;
- Uma quantificação do desejo relativo de todas as consequências possíveis (que pode ser feita especificando valores de *trade-off* entre os vários objetivos).

A fase da identificação e estruturação dos objetivos torna-se mais complexa quando o processo de decisão envolve várias partes interessadas, nem sempre partilhando dos mesmos valores. Para a identificação dos objetivos, Keeney (1992) sugere o recurso a dez estratégias, apresentando a descrição de cada uma delas: uma lista de desejos; alternativas; problemas e falhas; consequências; metas, restrições e linhas de orientação; perspectivas diferentes; objetivos estratégicos; objetivos genéricos; estruturação de objetivos; quantificação de objetivos.

Após a especificação dos objetivos para cada um dos valores gerais, Keeney (1992) sugere que a sua estruturação se faça considerando a distinção entre objetivos fundamentais (ou objetivos de finalidade) e objetivos de meios. Os objetivos fundamentais são os que são utilizados para descrever as consequências das ações numa determinada situação de decisão, enquanto os objetivos de meios são importantes apenas pela sua influência no alcance dos objetivos fundamentais. Embora com o mesmo significado, os objetivos fundamentais e os objetivos de meios são também designados por pontos de vista fundamentais (PVF) e pontos de vista (PV), respetivamente (Bana e Costa e Beinat, 2010).

Para a estruturação dos objetivos, recorrer-se-á a uma organização segundo uma estrutura arborescente, dando origem à árvore dos objetivos (também referida como árvore dos valores). A árvore dos objetivos permite a visualização dos vários níveis de especificação dos objetivos, o que leva a que muitas vezes se faça referência a uma hierarquia em vez de árvore de objetivos. No entanto, Bana e Costa e Beinat (2010) lembram que a designação de hierarquia pressupõe algum tipo de subordinação entre objetivos de diferentes níveis, o que não pode existir, uma vez que um objetivo fundamental pode surgir em qualquer nível da árvore e não apenas no nível superior.

Independentemente da sua localização nos vários níveis da árvore, o conjunto dos objetivos fundamentais corresponderá naturalmente ao conjunto de critérios a utilizar na

avaliação e, segundo Keeney (1992, p. 82), respeitando nove propriedades, ele deverá ser:

- Essencial – indicando apenas as consequências relevantes para a situação de decisão;
- Controlável – referindo as consequências da escolha no conjunto das alternativas;
- Completo – incluindo todos os aspectos fundamentais das várias alternativas de decisão;
- Mensurável – definindo os objetivos e qualificando o seu grau de satisfação;
- Operacional – fornecendo a informação necessária para uma análise consistente, considerando restrições de tempo e esforço;
- Decomponível – permitindo a separação dos diferentes objetivos em análise;
- Não redundante – evitando a duplicação de eventuais consequências;
- Conciso – minimizando o número de objetivos necessários para a análise de decisão;
- Compreensível – sendo facilmente comunicado e compreendido por todos os indivíduos em posição de fazer ou influenciar as decisões.

4.2.2 – Especificação dos Critérios

Para descrever as consequências e medir o grau de satisfação de cada objetivo fundamental, é necessária a especificação de um atributo ou medida de eficácia⁷ (Keeney, 2007).

De acordo com Keeney (1992) e Keeney e Gregory (2005), são identificados três tipos diferentes de critérios: critérios naturais, critérios construídos e critérios indiretos (*proxy*). Os critérios naturais são de uso geral e têm interpretação única para todas as partes interessadas. Por exemplo, no objetivo “minimização do custo de um determinado equipamento”, o critério natural será o custo medido em Euros.

⁷ Os termos atributo, medida de desempenho, medida de eficácia e critério, são muitas vezes usados como sinónimos (Keeney e Gregory, 2005).

Contrariamente a um critério natural, relevante em diferentes contextos de decisão, um critério construído é desenvolvido para um contexto de decisão específico. No entanto, com o passar do tempo e a sua utilização, alguns critérios construídos tendem a assumir as características de um critério natural. Um exemplo de um critério construído indicado em Keeney (1992) é o Produto Interno Bruto. Este critério, construído para agregar vários fatores de modo a constituir um indicador económico de um país, é entendido e interpretado da mesma forma por todos.

Em situações em que é difícil identificar quer um critério natural quer um critério construído para medir o grau de satisfação de um objetivo fundamental, pode recorrer-se ao critério indireto. Um critério indireto para um objetivo fundamental pode representar um critério natural para um objetivo de meios. Este critério partilha de algumas características do critério natural, mas é menos informativo, uma vez que indica apenas indiretamente a concretização de um objetivo fundamental (Keeney, 1992). Como exemplo, considere-se o controlo dos efeitos da poluição atmosférica na saúde pública, onde um importante objetivo a atingir nas cidades consiste na minimização do número de enfermidades causadas pela poluição atmosférica. Nestes casos, poderá ser difícil identificar quer o critério natural quer o critério construído para medir as enfermidades; nestas circunstâncias, um critério indireto poderá ser a concentração de poluentes medidos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Independentemente do tipo de critério usado, cada critério deve possuir cinco propriedades (Keeney e Gregory, 2005), para ser usado num modelo de avaliação MCDA:

- Não-ambíguo – o critério deve representar uma relação clara entre as consequências de uma ação e a descrição dessas consequências;
- Completo – o critério deve incluir todas as consequências possíveis do objetivo fundamental correspondente;
- Direto – o critério deve descrever de uma forma direta as consequências mais relevantes;
- Operacional – o critério deve requerer informação que possa ser obtida e deve permitir determinar valores de *trade-off* entre objetivos;

- Compreensível – as consequências e valores de *trade-off* obtidos com o critério devem ser facilmente compreendidos e comunicados a todas as partes interessadas.

Cada critério pode ser expresso através de uma escala quantitativa ou qualitativa e cada critério está associado a um sentido de preferência: crescente quando a preferência é pelo maior valor da escala (correspondendo à maximização do critério) e decrescente na situação oposta (correspondendo à minimização do critério).

Roy (1985) refere que o conjunto dos critérios a utilizar deve ser exaustivo (não omitindo critérios, de modo a que duas ações com desempenhos iguais em todos os critérios sejam consideradas equivalentes) e coeso (a avaliação global de uma ação não pode piorar quando o seu desempenho num dos critérios melhorou, mantendo-se os outros inalterados).

4.3 – Identificação e estruturação dos objetivos da problemática energética urbana

Com base na informação obtida com a aplicação da SSM à problemática energética urbana, apresentada no capítulo anterior, foi possível obter os valores das partes interessadas e que foram traduzidos em objetivos. Na Tabela 4.1, apresentam-se os objetivos identificados para as seguintes partes interessadas: Governo Local do Município; produtores locais; fabricantes/grossistas/retalhistas; companhias de energia e consumidores.

Tabela 4.1 – Objetivos identificados durante a aplicação da SSM.

Companhias de energia	Consumidores
Garantir qualidade do serviço	Reduzir fatura de energia
Cumprir legislação	Reduzir consumos de energia
Reduzir custos	Obter um serviço com qualidade
Aumentar lucros	Aumentar conforto e bem-estar
Manter clientes	Reduzir custos de equipamentos eficientes
Atrair novos clientes	Adquirir energia a baixo preço
Melhorar a imagem da empresa	Obter incentivos/benefícios
Reduzir impactos ambientais	Reduzir impactos ambientais

Tabela 4.1 – Objetivos identificados durante a aplicação da SSM (cont).

Produtores locais	Fabricantes/grossistas/retalhistas
Aumentar o “peso” no sistema energético	Aumentar vendas
Reduzir custos	Aumentar lucros
Aumentar lucros	Reduzir custos
Aumentar nível de produção	Cumprir legislação
Cumprir legislação	Conquistar novos clientes
Reduzir impactos ambientais	Aumentar quota de mercado
Obter incentivos/benefícios/financiamento	
Governo Local do Município	
Cumprir legislação (nacional; acordos internacionais)	
Criar emprego local	
Impulsionar desenvolvimento local	
Reduzir fatura energética do município	
Reduzir consumos de energia (edifícios, iluminação pública, outras infraestruturas)	
Reduzir impactos ambientais	
Emissões de CO ₂	
Emissões de outros poluentes	
Consumo e poluição de água	
Uso e contaminação do solo	
Melhorar imagem do município	
Aumentar conforto nos edifícios municipais	
Reduzir custos de manutenção (edifícios e infraestruturas)	
Aumentar níveis de produção local de energia (edifícios escolares)	
Contribuir para a redução do consumo de combustíveis fósseis	
Contribuir para a redução de importações de energia primária	
Usufruir de serviços de energia com qualidade	
Adquirir energia ao mais baixo preço	
Incentivar o uso eficiente da energia	
Adquirir novas tecnologias ao mais baixo custo	

Uma primeira versão de uma árvore dos objetivos referentes ao sistema energético urbano foi apresentada em Coelho et al. (2009). Nesta primeira aproximação à estruturação dos objetivos, foram apenas considerados três subgrupos: objetivos ambientais; objetivos sociais; e objetivos técnico-económicos.

Durante as sessões de trabalho com especialistas e investigadores na área da energia e planeamento energético e ainda com técnicos municipais, foi consensual a consideração dos objetivos tecnológicos e dos objetivos económicos em dois subgrupos distintos. Um dos argumentos que influenciou esta decisão foi a natureza das escalas a utilizar em cada um destes subgrupos de objetivos.

Assim, considerando os quatro subgrupos: objetivos económicos; objetivos tecnológicos; objetivos ambientais e objetivos sociais, foi possível obter a estruturação dos objetivos que se apresenta na Figura 4.3. Foi ainda possível especificar os critérios que irão ser usados no modelo de avaliação - indicados nas caixas sombreadas da Figura 4.3 - e definir as escalas usadas para cada critério.

Os critérios com medidas quantitativas bem determinadas - tais como, custo do investimento, período de retorno do investimento (*payback* simples), redução das emissões de CO₂ - serão expressos numa escala quantitativa. Critérios associados a objetivos resultantes de valores de julgamento das partes interessadas, como o da contribuição para desenvolvimento local ou aceitação social, serão expressos através de uma escala qualitativa, à semelhança do que tem sido prática em estudos semelhantes (Cavallaro e Ciraolo, 2005; Tsoutsos et al., 2009).

No modelo proposto serão considerados doze critérios de avaliação, sete dos quais são expressos numa escala quantitativa e cinco são expressos numa escala qualitativa. Na Tabela 4.2, são apresentados os doze critérios selecionados, o tipo de escala de avaliação utilizada (e o respetivo indicador) e o sentido de preferência de cada critério considerado, seguindo-se uma pequena descrição de cada um dos subgrupos de critérios.

Tabela 4.2 – Identificação dos critérios de avaliação.

Critério	Escala	Indicador	Sentido de preferência
Custos de investimento	Quantitativa	€/W	Minimizar
Custos de manutenção	Quantitativa	€/W/ano	Minimizar
Retorno do investimento	Quantitativa	anos	Minimizar
Redução da fatura energética	Quantitativa	€/ano	Maximizar
Poupança de energia primária	Quantitativa	€/ano	Maximizar
Produção anual/redução anual de energia	Quantitativa	kWh/ano	Maximizar
Maturidade da tecnologia	Qualitativa	Escala de quatro valores	Maximizar
Impacto no desempenho do sistema	Qualitativa	Escala de quatro valores	Maximizar
Redução de emissões CO₂	Quantitativa	kg/ano	Maximizar
Outros impactos ambientais	Qualitativa	Escala de quatro valores	Minimizar
Aceitação social	Qualitativa	Escala de quatro valores	Maximizar
Contribuição para o desenvolvimento local	Qualitativa	Escala de quatro valores	Maximizar

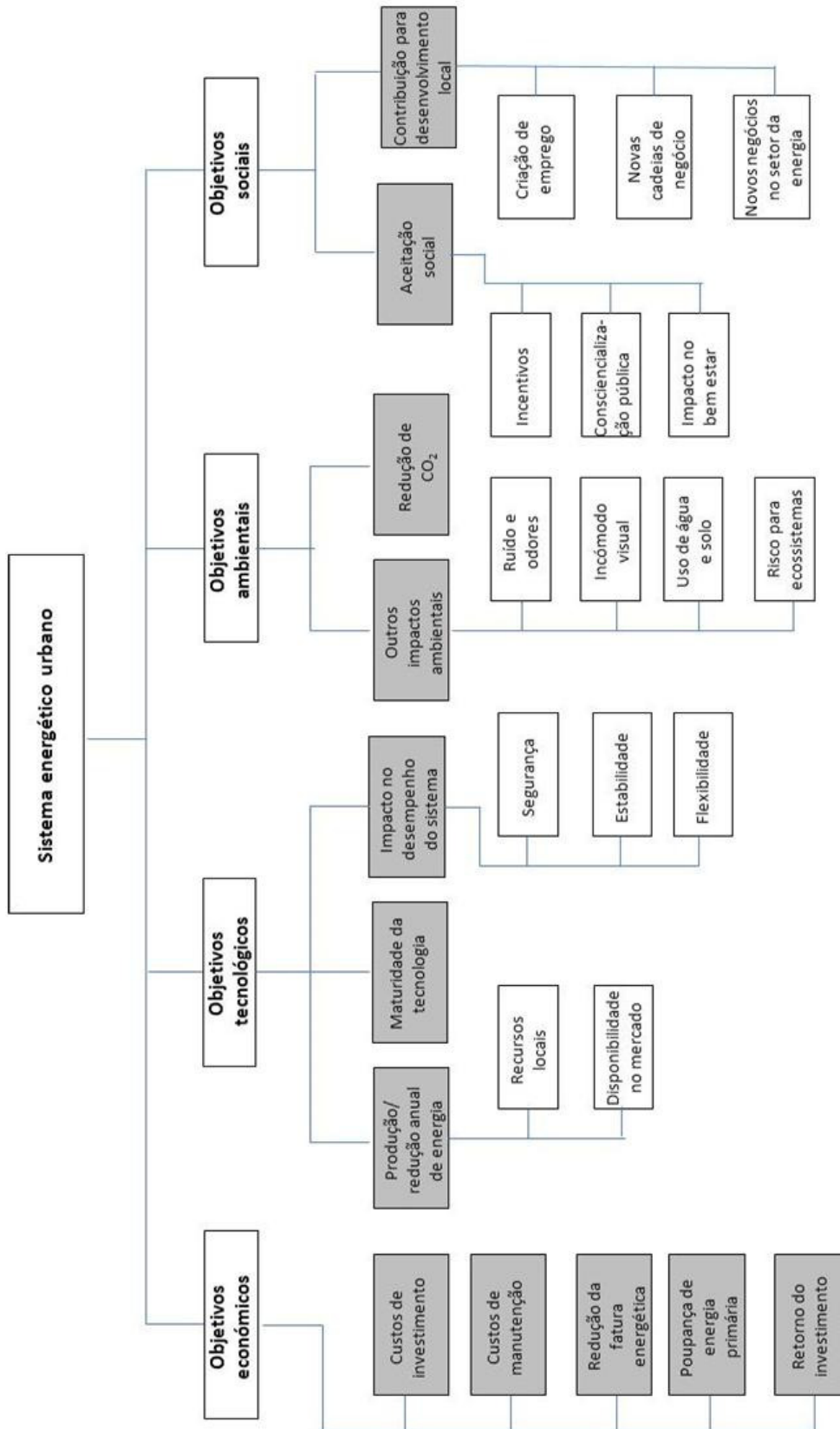


Figura 4.3 – Árvore dos objetivos do sistema energético urbano.

Critérios Económicos:

- Custos de investimento – incluem os custos totais com a aquisição e instalação dos equipamentos, e custos de ligação à rede pública, quando aplicável. Este critério será expresso em Euros por W reduzido, para as ações de eficiência energética e em Euros por W instalado, no caso de ações relacionadas com a instalação de sistemas de produção.
- Custos de manutenção – incluem os custos anuais de manutenção. Estes custos serão avaliados em Euros por W (reduzido ou instalado, de forma semelhante aos custos de investimento) por ano.
- Retorno do investimento – considera-se o retorno simples do investimento de qualquer projeto energético, sendo referido ao período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial, e expresso em número de anos.
- Redução da fatura energética – representa o impacto de uma ação específica na redução do total da fatura de energia (na sequência da redução do consumo verificado) e é expressa em Euros por ano. Este critério pode ser entendido tanto como um critério económico como um critério social indicando, neste último caso, o efeito do sistema de energia nos consumidores e na sociedade. Para cumprir as características dos critérios de avaliação descritos no ponto 4.2.2 e atendendo ao indicador utilizado para expressar este critério, optou-se por incluí-lo no grupo dos critérios económicos.
- Poupança de energia primária – este critério refere-se aos custos evitados com a importação de energia primária (no caso de Portugal, com uma forte dependência da importação de combustíveis fósseis) que uma determinada ação permite obter (combustível fóssil importado substituído por energia produzida a partir de uma instalação de energias renováveis ou combustível fóssil evitado com a implementação de medidas de eficiência energética).

Critérios tecnológicos:

- Produção anual de energia/redução anual de energia – este critério refere-se à produção total anual de energia a partir de um sistema de energias renováveis ou à redução total anual de consumo de energia obtida com a implementação de uma medida de eficiência energética. Será avaliado em kWh por ano.

- Maturidade da tecnologia – este critério procura avaliar a tecnologia usada nos sistemas de energia. A medida da maturidade de uma tecnologia indica quão divulgada/testada está a tecnologia quer em termos nacionais quer em termos internacionais. O critério é expresso numa escala qualitativa que pode assumir os valores de 1 a 4, de acordo com Beccali et al. (2003): 1 – indica que a tecnologia apenas foi testada em laboratório; 2 – refere-se a tecnologias usadas em projetos piloto, onde o objetivo demonstrativo está ligado ao objetivo experimental; 3 – indica que a tecnologia embora já usada em projetos reais, ainda pode ser melhorada; 4 – o valor mais elevado da escala refere-se a uma tecnologia consolidada, que está perto de atingir os limites teóricos da eficiência.
- Impacto no desempenho do sistema – está relacionado com os impactos da penetração dos sistemas de energias renováveis à escala urbana no desempenho da rede elétrica (nomeadamente instalações de microprodução e miniprodução), e também com os efeitos da implementação das medidas de eficiência energética. Este critério é também avaliado qualitativamente e expresso através da seguinte escala:
 - 1 – impacto negativo;
 - 2 – ausência de impacto ou impacto nulo;
 - 3 – impacto moderadamente positivo;
 - 4 – impacto positivo.

Critérios ambientais:

- Redução de emissões de CO₂ – este critério avalia o montante total das emissões de CO₂ evitadas como resultado das ações de eficiência energética ou como resultado da produção de energia a partir de fontes renováveis e é avaliada em kg de CO₂ equivalentes por ano. O valor das emissões evitadas será calculado com base em fatores de emissão por unidade de energia produzida com base em sistemas convencionais.
- Outros impactos ambientais – este critério tem em consideração outros impactos ambientais, para além das emissões de gases poluentes: impacto visual criado pelo desenvolvimento de um projeto numa área específica; criação de odores ou ruído pela atividade de produção das instalações (por exemplo, por instalações de biomassa e pela instalação de mini turbinas eólicas, respetivamente); o

potencial risco para os ecossistemas causado pela atividade de produção dos vários projetos incluídos nas ações (Cavallaro, 2005). O critério será avaliado qualitativamente e convertido numa escala de quatro valores (baseada em Beccali et al., 2003):

- 1 – ausência de impacto ou impacto nulo;
- 2 – impacto baixo;
- 3 – impacto moderado;
- 4 – impacto elevado.

Critérios sociais:

- Contribuição para o desenvolvimento local – este critério estima os efeitos globais económicos e sociais que podem vir a ser sentidos nas áreas afetadas pela implementação das ações. Os potenciais efeitos são, entre outros, a criação de emprego e as novas oportunidades de negócio. O critério será avaliado qualitativamente, de acordo com a seguinte escala (Cavallaro, 2005):

- 1 – impacto fraco;
- 2 – impacto moderado (criação de alguns empregos permanentes);
- 3 – impacto médio-alto (criação de emprego e oportunidades de negócio);
- 4 – impacto elevado (forte impulso no desenvolvimento local, com criação de empregos permanentes, criação de pequenas indústrias).

- Aceitação social – a aceitação social expressa o índice de aceitação pela população local à realização de projetos ou à implementação de medidas de eficiência energética. A aceitação social é expressa como um critério qualitativo, através de uma escala de quatro valores (Cavallaro, 2005):

- 1 – a maioria dos habitantes opõe-se ao desenvolvimento de qualquer projeto ou à implementação de qualquer ação;
- 2 – fraca aceitação por parte dos habitantes;
- 3 – a maioria dos habitantes concorda com as ações propostas, desde que não seja negativa e significativamente afetada;
- 4 – a maioria dos habitantes aceita sem restrições a implementação das ações propostas.

4.4 – Contexto de identificação das ações

As ações a avaliar deverão ter em consideração o contexto de decisão, no qual a metodologia é desenvolvida, e a legislação e os programas de apoio nacionais e internacionais aplicáveis. As ações enquadram-se em três grandes categorias, designadas por tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios existentes.

A eficiência energética é frequentemente referida como um importante combustível para o futuro (IEA, 2011) e está no âmago do Pacote Energia-Clima 20-20-20, a Estratégia Europeia para 2020. O aumento da eficiência no uso da energia é uma das formas mais eficazes em termos de custos para melhorar a segurança do aprovisionamento energético e reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e outros poluentes. A eficiência energética é encarada, em muitos aspetos, como o maior recurso energético da Europa (Comunicação da Comissão Europeia nº 109/2011) para a concretização do objetivo de 20% de poupança de energia. A eficiência energética terá ainda impactos positivos no que respeita às importações de combustíveis fósseis, na promoção da competitividade económica e no estímulo do desenvolvimento de novos mercados de tecnologias e produtos energeticamente eficientes, apesar de poder verificar-se o efeito *rebound*⁸, não considerado neste estudo.

Em Portugal, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) (2008 -2015), igualmente designado por Portugal Eficiência 2015, (Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008), integra políticas e medidas ambiciosas de eficiência energética, nos termos previstos na Diretiva do Conselho Europeu 2006/32/CE, incluindo todos os setores de atividade e agrupando as medidas em doze programas específicos. A mesma Diretiva estabeleceu, entretanto, a obrigação de todos os Estados Membros publicarem um plano de ação para a eficiência energética, estabelecendo metas de, pelo menos, 1 % de poupança de energia por ano até 2016.

⁸ Efeito direto – a melhoria na eficiência energética poderá conduzir a um aumento do consumo.
Efeito indireto – a melhoria na eficiência energética poderá conduzir a uma redução do preço de determinados bens, aumentando a sua procura, gerando um aumento do consumo de energia.
Efeito global na economia – com a eficiência energética existe uma redução dos preços, o que poderá aumentar a procura de energia. A eficiência energética poderá ainda significar crescimento económico, e este por seu turno conduzirá ao aumento do consumo de energia (MAOTDR, 2007).

A promoção da eficiência energética constitui um dos cinco eixos principais em que assenta a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) (Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010). A ENE 2020 promove a eficiência energética consolidando o objetivo de redução de 20% do consumo de energia final em 2020, através da aposta em medidas comportamentais e fiscais, assim como em projetos inovadores, designadamente otimização dos modelos de iluminação pública e de gestão energética dos edifícios públicos, residenciais e de serviços.

As energias renováveis são a solução para uma produção de energia mais limpa e segura e deverão ser o principal vetor do lado da oferta. No Roteiro para a Energia (Comunicação da Comissão Europeia nº 885/2011), a Comissão Europeia, ao analisar os desafios que se colocam para dar cumprimento ao objetivo de descarbonização do sistema energético e garantir, ao mesmo tempo, a segurança do aprovisionamento energético e a competitividade, identifica uma elevada penetração de energias renováveis para além de 2010 como o maior pré-requisito para um sistema energético seguro e sustentável.

A base da produção renovável nacional está fundamentalmente assente na combinação de grandes instalações de aproveitamento da energia hídrica e da energia eólica. Porém, a visão nacional para este setor passa pela diversificação da carteira de energias renováveis, apostando quer em tecnologias já maduras e que possam dar um contributo mais imediato para o sistema electroprodutor, quer também pela aposta em investigação e desenvolvimento de tecnologias e em projetos em fase de teste/demonstração que apresentem potencial de criação de valor na economia nacional (Resolução do Conselho de Ministros nº 29/2010). As metas nacionais para cada uma das tecnologias de energia renovável estão definidas no Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) (PNAER, 2010).

Em Portugal, é considerável o potencial para a produção renovável a partir de instalações de menores dimensões (microprodução e miniprodução) e o licenciamento desta atividade de produção de eletricidade com possibilidade de entrega de energia à rede elétrica pública está regulado por leis específicas. O Decreto-lei nº 363/2007 estabelece o regime jurídico aplicável à microprodução, tendo alguns aspetos sido modificados por legislação mais recente (Decreto-lei nº 118-A/2010), nomeadamente, o

montante anual de energia entregue à rede e o regime bonificado de remuneração. A miniprodução é regulada pelo Decreto-lei nº 34/2011, o qual estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, baseada numa só tecnologia de produção cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 250 kW.

Os edifícios representam cerca de 40 % do consumo de energia total na União Europeia. O setor está em expansão, pelo que será de esperar um aumento do seu consumo de energia. Por conseguinte, a redução do consumo de energia no setor dos edifícios constitui uma importante medida, necessária para reduzir a dependência energética da União Europeia e as emissões de gases com efeito de estufa (Diretiva nº 2010/31UE). De acordo com o Plano de Eficiência Energética (Comunicação da Comissão Europeia nº 109/2011), o maior potencial de poupança de energia é o oferecido pelos edifícios. O plano incide nos instrumentos destinados a desencadear o processo de renovação em edifícios públicos e privados e a melhorar o desempenho energético dos componentes e equipamentos neles utilizados.

No setor dos edifícios, a legislação portuguesa inclui regulamentação relativa ao desempenho energético e à qualidade do ar interior dos edifícios, através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) (Decreto-lei nº 78/2006), de acordo com exigências e disposições contidas no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) (Decreto-lei nº 79/2006), e no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (Decreto-lei nº 80/2006). A legislação é aplicável quer aos novos edifícios, quer aos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação.

Em conformidade com o Plano Europeu de Eficiência Energética (Comunicação da Comissão Europeia nº 109/2011), que refere que o setor público deve dar o exemplo, nomeadamente através da eficiência energética na despesa pública, da renovação dos edifícios públicos e dos contratos de desempenho energético, foi criado, a nível nacional, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP) (Resolução do Conselho de Ministros nº 2/2011) e foi publicada uma nova lei sobre a matéria (Decreto-lei nº 29/2011). O Eco.AP traduz-se num conjunto de medidas de

eficiência energética para a execução a curto, médio e longo prazo nos serviços, organismos e equipamentos públicos. O novo Decreto-lei estabelece o regime jurídico de contratação pública para a formação e execução dos contratos de desempenho energético que revistam a natureza de contratos de gestão de eficiência energética, a celebrar entre os serviços e organismos da Administração Pública e as ESE, para implementação de medidas de eficiência energética em edifícios públicos e equipamentos afetos à prestação de serviços públicos.

4.5 – Processo de avaliação

A seleção do método a usar na fase de avaliação exige uma reflexão acerca da problemática de decisão em causa (Roy, 1985), que refletirá a finalidade da avaliação, de acordo com o tipo de resultado pretendido: descrição; seleção (ou escolha); ordenação (ou seriação); classificação (triagem ou afetação).

A problemática de descrição pretende apenas descrever as ações possíveis e as consequências que cada uma delas acarreta numa linguagem formal e adequada. As problemáticas de seleção e de ordenação referem-se a uma avaliação relativa das ações, tornando-se necessário compará-las entre si; enquanto a problemática de classificação se refere à avaliação absoluta das ações confrontando-as com padrões predefinidos.

Neste trabalho, a avaliação das ações possíveis será feita no âmbito de uma problemática de classificação, isto é, o objetivo é a afetação das ações a categorias (ou classes de preferências) ordenadas predefinidas. Esta afetação terá em consideração o mérito absoluto das ações e não o resultado da comparação entre as ações, o que possibilita a consideração de novas ações para avaliação em qualquer ponto do processo de decisão. Este facto levou a considerar o método ELECTRE TRI particularmente adequado para o processo de avaliação, por ser um método de afetação ordinal de um conjunto de ações a categorias predefinidas, com base em múltiplos critérios. Face a um conjunto de categorias, em que cada uma é delimitada por duas ações de referência (definidas pelo decisor), o método afeta cada ação a uma categoria, por comparação com cada ação de referência (Yu, 1992; Roy e Bouyssou, 1993).

Outras características do método influenciaram esta escolha. A indiferença do ELECTRE TRI à escala de medida permite a consideração de critérios medidos em

unidades diferentes, incluindo escalas qualitativas, evitando problemas de conversão e de dificuldade na medição de impactos. Por outro lado, o facto de a classificação não ser baseada em comparações feitas entre as ações consideradas para avaliação, mas entre estas ações e um conjunto de ações de referência (perfis de referência) definidas pelo decisor, apresenta duas vantagens importantes. O número de comparações necessário é significativamente reduzido, uma vez que o número de perfis de referência é, em geral, muito menor que o número de ações em avaliação. A segunda vantagem está relacionada com a qualidade dos resultados obtidos, uma vez que a classificação das diferentes ações refletirá as preferências do decisor.

A consideração de uma família de pseudo-critérios é outra das características do método ELECTRE TRI. No caso de um verdadeiro critério, uma ação é considerada preferível a outra se o seu desempenho for melhor do que o de outra face a esse critério, mesmo que por uma diferença mínima, e só serão consideradas indiferentes se os seus desempenhos forem exatamente iguais. No caso de um pseudo-critério, uma ação é estritamente preferível a outra se a diferença de desempenhos segundo esse critério for significativa (não inferior a um limiar de preferência associado ao critério e definido pelo decisor) e as duas ações serão consideradas indiferentes se a diferença dos desempenhos for pequena (não superior a um limiar de indiferença associado ao critério e definido pelo decisor). Sempre que os limiares de preferência e indiferença não tenham o mesmo valor, surge uma situação de hesitação entre a preferência e a indiferença, designada por preferência fraca.

4.5.1 – Breve descrição do método ELECTRE TRI

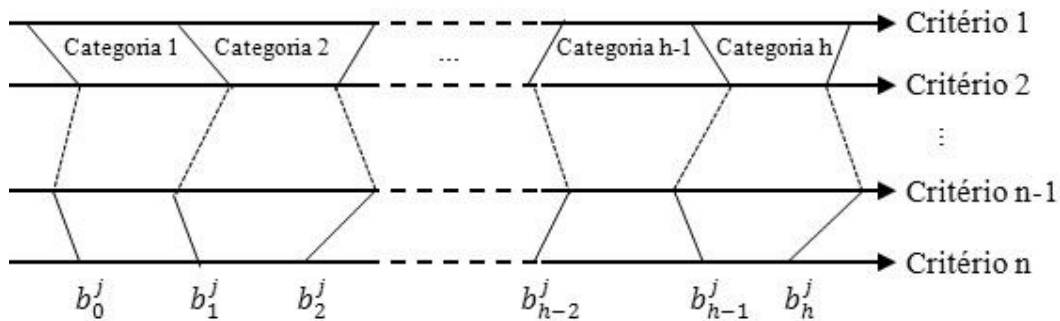
O método ELECTRE TRI permite classificar um conjunto $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ de ações, avaliadas em n critérios g_1, \dots, g_n , segundo um conjunto $C = \{C^1, \dots, C^h\}$ de categorias predefinidas e ordenadas por ordem de preferência, sendo C^1 a pior e C^h a melhor categoria⁹.

Cada categoria C^l , $l = 1, \dots, h$ é definida através de duas ações de referência (perfis de referência): b_l^j (que delimita a categoria superiormente) e b_{l-1}^j (que delimita a

⁹ Uma descrição mais detalhada do método ELECTRE TRI pode ser obtida em Mousseau et al. (2000) e Dias et al. (2002).

categoria inferiormente), definidas para cada critério g_j , $j = 1, \dots, n$. Assim, torna-se necessário definir os perfis de referência b_0^j, \dots, b_h^j , tais que, excetuando o primeiro e o último, cada um constitui simultaneamente o limite superior de uma categoria e o limite inferior da categoria seguinte, como se pode observar na Figura 4.4.

Os perfis de referência devem respeitar determinadas condições (Yu, 1992), nomeadamente: os perfis b_0^j e b_h^j devem ser, em todos os critérios, respetivamente pior e melhor do que qualquer das ações a classificar; o perfil b_l^j deve ser melhor que o perfil anterior, b_{l-1}^j , em todos os critérios.



Baseado em Dias, 2000

Figura 4. 4 - Definição de categorias no ELECTRE TRI.

A aplicação do método ELECTRE TRI processa-se em duas fases principais. Numa primeira fase estabelece-se uma relação de prevalência entre cada ação a_i , $i = 1, \dots, m$ e as ações de referência b_l^j , $l = 1, \dots, h$, que delimitam as categorias. Na segunda fase processa-se a afetação das ações às categorias, com base nas relações de prevalência estabelecidas na primeira fase.

A relação de prevalência, entre cada ação e as ações de referência, válida ou não a afirmação " $a_i S b_l$ ", que se traduz em "a ação a_i prevalece sobre uma referência b_l " e que significa " a_i é no mínimo tão boa como b_l ", ou, ainda, " a_i não é inferior a b_l ". A construção da relação de prevalência envolve vários passos, relacionados com:

- o cálculo dos índices de concordância para cada critério $c_j(a_i, b_l)$;
- o cálculo do índice de concordância global $c(a_i, b_l)$;
- o cálculo dos índices de discordância para cada critério $d_j(a_i, b_l)$;
- o cálculo do índice de credibilidade da prevalência $\sigma(a_i, b_l)$;

- o estabelecimento da relação de prevalência através do limiar de corte λ .

Para cada critério g_j , o índice de concordância indica quanto o critério está de acordo com a hipótese " $a_i S b_l$ ", e é calculado tendo em consideração: os limiares de indiferença (q_j) e de preferência (p_j) definidos para o critério considerado, e a vantagem (Δ_j) de uma ação a sobre outra ação b nesse critério. $\Delta_j = g_j(a_i) - g_j(b_l)$, se g_j for para maximizar e $\Delta_j = g_j(b_l) - g_j(a_i)$ se g_j for para minimizar. O índice de concordância para cada critério será então estabelecido com base em:

$$c_j(a_i, b_l) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } \Delta_j < -p_j \\ 1 & , \text{ se } \Delta_j \geq -q_j \\ \frac{p_j + \Delta_j}{p_j - q_j} & , \text{ se } -p_j \leq \Delta_j < -q_j \end{cases}$$

A concordância é máxima (total, ou seja 1), se a vantagem Δ_j for positiva ou, no caso ser negativa, se a desvantagem (i.e., $-\Delta_j$) não exceder o limiar de indiferença q_j . A concordância é nula se a desvantagem exceder o limiar de preferência p_j . Quando a desvantagem se situa entre aqueles dois limiares, a concordância varia linearmente

Os índices de concordância de cada um dos n critérios são agregados num *índice global de concordância* (multicritério), considerando os coeficientes de importância k_j de cada critério, de acordo com: $c(a_i, b_l) = \sum_{j=1}^n k_j \cdot c_j(a_i, b_l)$, onde k_j (que será sempre um valor positivo) representa o *coeficiente de importância* (peso) do critério de índice g_j , $j = 1, \dots, n$. A soma dos pesos k_1, \dots, k_n deverá ser igual a 1.

Por outro lado, para cada critério g_j , o índice de discordância indica quanto o critério discorda com a hipótese " $a_i S b_l$ ", e é calculado tendo em consideração os limiares de veto (v_j) e de preferência (p_j) associados ao critério considerado, e a vantagem (Δ_j), de acordo com:

$$d_j(a_i, b_l) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } -\Delta_j \leq p_j \\ 1 & , \text{ se } -\Delta_j > v_j \\ \frac{-\Delta_j - p_j}{v_j - p_j} & , \text{ se } p_j < -\Delta_j \leq v_j \end{cases}$$

O índice de credibilidade da afirmação " $a_i S b_l$ " obtém-se dos índices anteriores através da expressão (Mousseau e Dias, 2002): $\sigma(a_i, b_l) = c(a_i, b_l)[1 - d^{max}(a_i, b_l)]$, onde, $d^{max}(a_i, b_l) = \max_{j \in \{1...n\}} d_j(a_i, b_l)$, é o índice global de discordância.

Por fim, o limiar de corte λ é estabelecido para efetuar a dicotomia entre prevalência e não prevalência: " $a_i S b_l$ " se e apenas se $\sigma(a_i, b_l) \geq \lambda$.

O último passo da aplicação do ELECTRE TRI consiste na afetação de cada ação $a_i \in A$ através da comparação desta ação com as ações de referência. Este processo difere de acordo com a regra aplicada: pessimista (a mais aplicada na prática) ou otimista. Na afetação pessimista procura-se atribuir a ação às piores categorias possíveis, enquanto na afetação otimista, pelo contrário, se procura atribuir a ação às melhores categorias possíveis.

4.5.2 – Aplicação computacional IRIS¹⁰

O sistema de apoio à decisão IRIS (Interactive Robustness analysis and parameters' Inference for multicriteria Sorting problems) implementa uma metodologia baseada no ELECTRE TRI, permitindo classificar um conjunto de ações em categorias ordenadas e previamente definidas, tendo em consideração os desempenhos dessas ações face a múltiplos critérios. O programa IRIS apresenta seis características principais:

- Implementa a classificação pessimista do método ELECTRE TRI, que toma em conta o conceito de discordância (efeito de veto);
- Não exige valores precisos para os pesos dos critérios (k_1, \dots, k_n) nem para o limiar de corte (λ) do método. O utilizador pode indicar intervalos de variação para estes parâmetros ou impor restrições lineares para os pesos dos critérios (incluindo comparações entre o peso de coligações de critérios, por exemplo, $k_1 \geq k_5$; $k_1 \geq k_2 + k_3$);
- Permite que algumas restrições sejam indicadas indiretamente através de exemplos de classificação que o método deve reproduzir (através da indicação do intervalo de categorias onde uma ou várias ações devem ser classificadas, como

¹⁰ Baseado em Dias e Mousseau (2003), onde se pode obter uma descrição detalhada do programa IRIS.

considerado para as ações a_5 , a_9 e a_{16} , no exemplo de aplicação do IRIS ilustrado na Figura 4.5);

- Infere uma combinação de valores para os parâmetros que limita a violação das restrições quando estas são incompatíveis entre si, minimizando o desvio máximo. Adicionalmente sugere alternativas de remoção de restrições, por forma a restaurar a consistência do conjunto (como ilustrado na Figura 4.6);
- Determina, quando o conjunto de restrições define um sistema com solução, uma combinação “central” de valores para os parâmetros que satisfaz todas as restrições (valores na parte inferior direita da Figura 4.5), apresentando, para cada ação, a categoria que corresponde a essa combinação de valores (células em tom de verde mais escuro no lado direito da Figura 4.5). Determina, ainda, a gama de categorias a que cada ação podia ser afetada sem violar nenhuma restrição;
- Permite, quando as restrições são consistentes, o cálculo de indicadores acerca da precisão dos parâmetros e da precisão dos resultados.

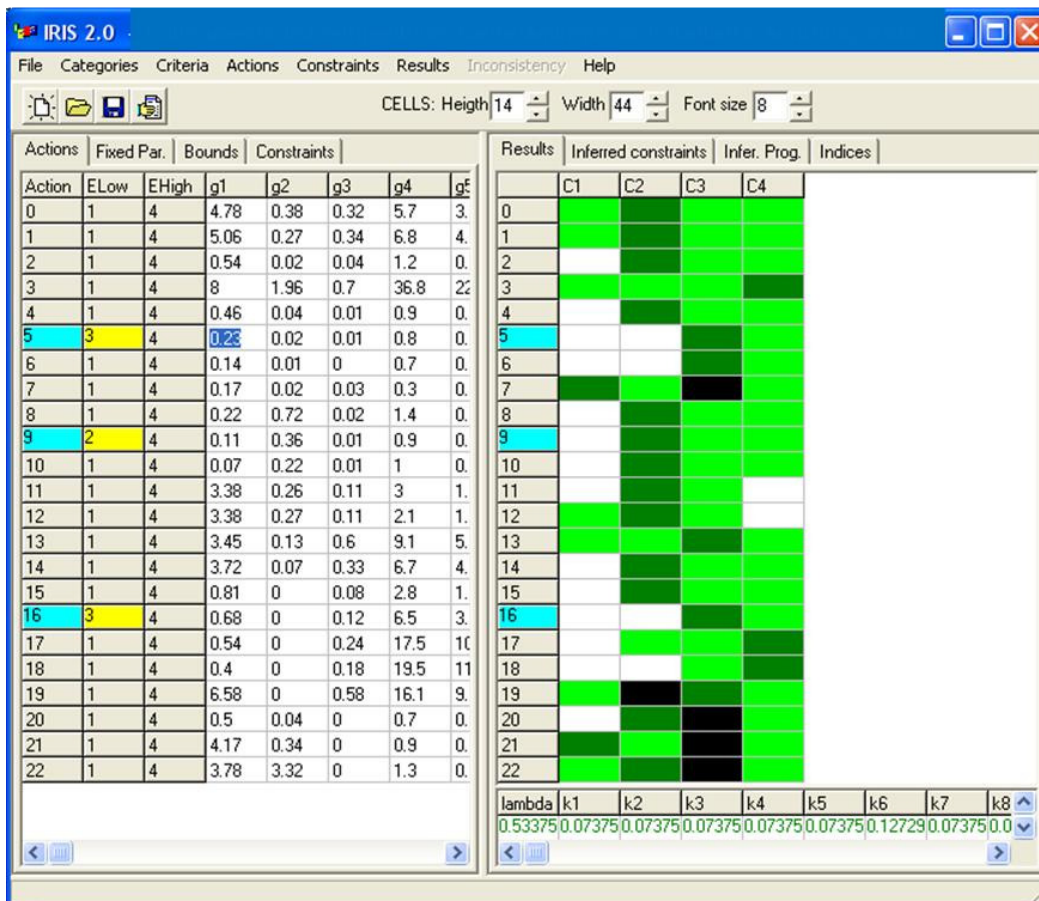


Figura 4. 5 – Exemplo de aplicação do IRIS – sistema de restrições consistente.

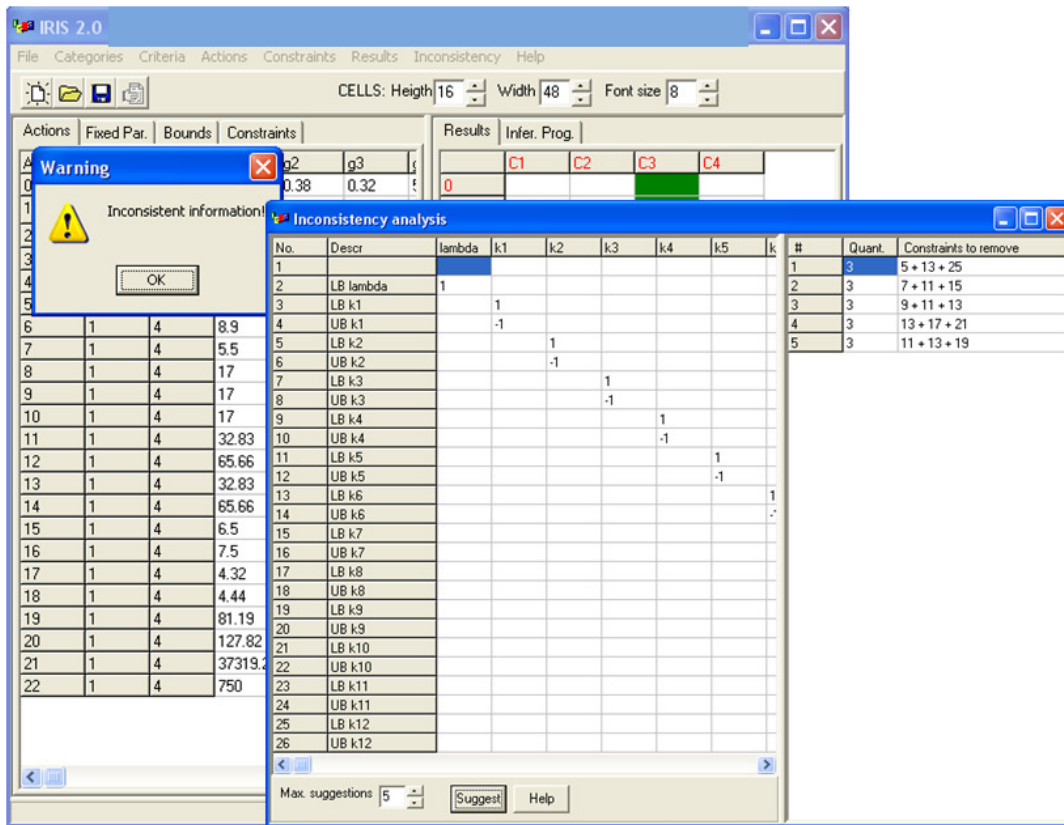


Figura 4. 6 – Exemplo de aplicação do IRIS – sistema de restrições inconsistente.

4.6 – Notas conclusivas

Neste capítulo apresentou-se a construção do modelo multicritério para avaliação de ações que podem ser consideradas no planeamento e gestão de sistemas energéticos urbanos.

O desenvolvimento do modelo foi feito com base na informação resultante da fase de estruturação, efetuada com a aplicação da metodologia SSM. As linhas orientadoras da estratégia *Value Focused Thinking*, foram seguidas para a identificação e estruturação dos valores das partes interessadas numa árvore de objetivos fundamentais. Estes objetivos fundamentais foram convertidos em critérios de avaliação das diferentes ações, no âmbito de um problema de classificação.

O modelo proposto contempla doze critérios de avaliação, agrupados de acordo com a sua natureza: critérios económicos, critérios tecnológicos, critérios ambientais e

critérios sociais. Sete desses critérios são expressos numa escala quantitativa e os restantes cinco são expressos numa escala qualitativa.

A aplicação do modelo proposto com o método ELECTRE TRI (através do programa IRIS) é apresentada no próximo capítulo.

Capítulo 5 - Aplicação do Modelo

5.1 - Introdução

Neste capítulo descreve-se a aplicação do modelo de decisão multicritério proposto para avaliar um conjunto de ações que podem ser implementadas no sistema energético da zona urbana da cidade que serviu de contexto de decisão¹¹.

A cidade, com uma área de 27.33 km², envolve cinco freguesias com 52 907 habitantes, é sede de um município com uma área de 318.78 km² e 143 396 habitantes (INE, 2011a). Das trinta e uma freguesias que constituem o município, vinte e quatro são freguesias predominantemente urbanas. A zona urbana da cidade envolve doze freguesias, num total de 107.11 km² e de 102 455 habitantes (INE, 2011a).

O número de edifícios existentes no município é de 40 638. A caracterização desses edifícios, segundo a época de construção, número de alojamentos, tipo de utilização e tipo de edifício é apresentada na Tabela 5.1. Nesta tabela, os dados entre parêntesis indicam o número de edifícios existentes na zona urbana da cidade, num total de 26 693 edifícios¹².

O número de consumidores de energia elétrica em 2010 totalizava 89 941, representando o setor doméstico e não-doméstico, respetivamente, 85.21% e 10.47% dos consumidores (DGEG, 2012).

Os consumos de energia verificados no município, pelos principais vetores energéticos e nos setores onde se verifica maior consumo, durante os anos de 2008, 2009 e 2010 são apresentados na Tabela 5.2 (DGEG, 2012).

¹¹ Os primeiros resultados da aplicação do modelo estão relatados em Coelho et al. (2012).

¹² Valores calculados a partir de INE (2011a).

Tabela 5.1 – Caracterização dos edifícios existentes no município.

Época de construção		
Até 1945	de 1946 a 1990	de 1991 a 2011
4 803 (3 311)	24 975 (14 866)	10 860 (5 516)

Utilização do edifício		
Exclusivamente residencial	Principalmente residencial	Principalmente não residencial
38 079 (21 956)	2292 (1 541)	267 (196)

Tipo de edifício		
Possuir 1 ou 2 alojamentos familiares	Possuir 3 ou mais alojamentos familiares	Outro tipo
34 753 (18 133)	5 343 (5 117)	542 (443)

Tabela 5.2 – Consumos de energia no município nos anos de 2008, 2009 e 2010 (MWh).

2008						
Setor Energia	Residencial	Serviços	Edifícios Estado	Iluminação Pública	Indústria	Transportes
Eletricidade	209 940.3	188 222.5	94 982.7	18 695.4	304 643.0	1 584.5
Gás Natural	77 783.8	43 480.5		-----	127 069.2	
GPL	35 048.3	12 847.4		-----	34 000.6	1 402.5
Comb. Líqu.	-----	43 728.5		-----	20 106.9	1 401 739.0
Total	322 772.4	383 261.6		18 695.4	485 819.7	1 404 726.0

2009						
Setor Energia	Residencial	Serviços	Edifícios Estado	Iluminação Pública	Indústria	Transportes
Eletricidade	224 544.1	185 933.0	94 334.5	18 317.9	247 175.3	1 495.3
Gás Natural	80 724.8	48 784,6		-----	71 775,8	
GPL	25 185.1	12 719.7		-----	27 401.7	7 135.9
Comb. Líqu.	-	22 634.5		-----	18 915.0	1 398 998.0
Total	330 454.0	364 406.3		18 317.9	365 267.8	1 407 629.2

2010 ⁽¹⁾						
Setor Energia	Residencial	Serviços	Edifícios Estado	Iluminação Pública	Indústria	Transportes
Eletricidade	227 331.4	189 538.8	98 325.7	18 520.3	268 325.0	1 586.4
Gás Natural	85 031,3	51 217.0		-----	70 465.3	
GPL	21 754.8	12 672.0		-----	27 611.1	6 857.0
Comb. Líqu.	-----	45 323.5		-----	12 465.3	1 183 643.0
Total	334 117.5	397 077.0		18 520.3	378 866.7	1 192 086.4

(1) Dados provisórios

5.2 – Seleção do conjunto das ações

Como referido no capítulo anterior (ver 4.4), as ações a avaliar enquadram-se em três grandes categorias: tecnologias eficientes, renovação de edifícios existentes e energias renováveis. A descrição das diferentes ações, por tipo de intervenção, é apresentada na Tabela 5.3, onde se designa: por TE, o grupo de ações de tecnologias eficientes, que envolve, essencialmente, ações de substituição de tecnologia; por RE, o grupo de ações de renovação de edifícios; e por ER o grupo de ações de energias renováveis. Na tabela são também indicados os setores de aplicação de cada ação.

No grupo TE, as ações são maioritariamente relacionadas com a substituição de tecnologias de iluminação nos setores residencial e de serviços, público e privado, e na iluminação pública. Esta escolha de ações prende-se com a opção de usar dados reais na determinação do desempenho destas nos vários critérios. De facto, para este grupo de ações, apenas foram consideradas aquelas para as quais se dispunha de dados reais, obtidos a partir de projetos desenvolvidos e/ou implementados na zona urbana em estudo ou em zonas urbanas vizinhas. Os projetos referidos foram desenvolvidos para: um edifício municipal; um edifício público – área da saúde; duas escolas do ensino secundário; dois edifícios departamentais de um estabelecimento de ensino superior; iluminação pública; um edifício residencial de sete pisos, com quatro apartamentos tipo T2 por piso; e para um apartamento T3.

Para o grupo ER, foram selecionadas ações que podem ser implementadas no contexto urbano e usados dados provenientes de projetos desenvolvidos na área do município, tendo em consideração, nomeadamente, os dados climatéricos desta zona. Os projetos foram desenvolvidos para: um edifício de serviços – piscinas e ginásio; uma escola secundária; e uma moradia unifamiliar.

Relativamente ao grupo RE, as ações analisadas e já implementadas, referiam-se apenas a uma intervenção levada a cabo num edifício de serviços da área da saúde. No entanto, durante as sessões de trabalho com investigadores e especialistas da área do comportamento térmico dos edifícios e com os técnicos municipais, foi possível analisar um grande volume de informação recolhida na literatura científica e selecionar as ações a avaliar neste grupo.

Tabela 5.3 – Descrição das diferentes ações por tipo de intervenção.

Ação	Descrição		Setor
TE	Melhoria da iluminação pública – substituição das tecnologias existentes (vapor de sódio de alta pressão - VSAP, por tecnologias LED).	150 W	Iluminação pública
		250W	
TE	Melhoria da iluminação pública através do controlo do fluxo luminoso das tecnologias existentes - instalação de regulador de fluxo luminoso para controlo de lâmpadas existentes.		
TE	Melhoria de sistemas luminosos de controlo de tráfego - substituição das lâmpadas incandescentes por tecnologia LED em semáforos.		Infraestruturas municipais
TE	Substituição de balastros magnéticos por balastros eletrónicos.	18 W	Residencial Serviços-público Serviços-privado
		36 W	
TE	Substituição das lâmpadas fluorescentes T8 por lâmpadas T5.	58 W	
TE	Substituição das lâmpadas fluorescentes T8 por lâmpadas LED.	18 W	Indústria
		36 W	
TE	Substituição de lâmpadas incandescentes por LED.	40 W 60 W	Serviços-público
TE	Uso de tecnologias mais eficientes para climatização – substituição de caldeiras por bombas de calor.		Serviços-privado
TE	Aumento da eficiência energética em motores - instalação de variadores de velocidade em elevadores.		
RE	Isolamento térmico de coberturas	Edifícios anteriores a 1946 Edifícios construídos entre 1946 e 1990	Residencial Serviços-público Serviços-privado
RE	Isolamento térmico da fachada opaca		
RE	Substituição de vidro simples por vidro duplo em janelas.		
RE	Substituição de caixilharia e vidro simples por vidro duplo em janelas.		
ER	Instalação de sistemas solares térmicos para água quente sanitária.		
ER	Instalação de sistemas solares térmicos para água quente de piscinas.		Infraestruturas municipais
ER	Instalação de sistemas de microprodução fotovoltaica.	Sistema fixo	Residencial Serviços-público
		Sistema de um eixo	
		Sistema de dois eixos	
ER	Instalação de sistemas de miniprodução fotovoltaica.		
ER	Integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios.	Painéis transparentes	Serviços-público Serviços-privado Indústria
		Painéis opacos	
		Painéis amorfos	
ER	Instalação de sistemas de microprodução eólica.	Turbina de eixo vertical	Residencial
		Turbina de eixo horizontal	

A dificuldade na obtenção de informação de ações concretas no setor industrial foi uma das razões que nos levaram a não avaliar ações específicas para este setor. Por outro lado, no município em estudo, o número de consumidores industriais de energia elétrica, no ano de 2010, tinham um peso inferior a 1.5% (DGEG, 2011). Para além disso, os grandes consumidores industriais existentes no município, estão localizados fora da zona urbana considerada.

A avaliação de ações no setor dos transportes, dada a sua especificidade, exigirá um modelo próprio ou, pelo menos, uma adaptação do modelo desenvolvido.

Assim, a aplicação do modelo privilegiará a avaliação de ações com potencial de implementação em áreas/setores em que a autoridade municipal é diretamente interessada, enquanto consumidora, ou em setores onde possa exercer alguma influência, enquanto motivador/regulador.

5.3 – Dados quantitativos

Custos de investimento e custos de manutenção

Os custos de investimento, que incluem os custos com a substituição ou instalação da nova tecnologia, são expressos em Euro/W. Estes valores foram obtidos tendo em consideração, por um lado, os preços atuais de mercado ou os custos apresentados em propostas de aquisição das novas tecnologias a instalar ou dos materiais a utilizar; e, por outro, a potência reduzida ou a instalar, respetivamente, para as ações que envolvam redução de consumo e para as ações que envolvam produção de energia.

Os custos anuais de manutenção, expressos em Euro/W, refletem as diferenças de valores entre os custos anuais associados à substituição, em fim de vida útil, das novas tecnologias e das tecnologias existentes, bem como os custos de substituição e de limpeza de equipamentos. Para a obtenção destes custos relativos às ações do grupo de tecnologias eficientes, nomeadamente as ações que envolvem substituição de tecnologias de iluminação, é necessário considerar, para além dos custos das tecnologias, o número de horas de funcionamento.

Os parâmetros necessários para estes dois critérios, relativos às ações de tecnologias eficientes, são apresentados na Tabela 5.4 e baseiam-se em Costa (2009); Costa et al., (2012); Fial (2011); Gomes (2010); Gordo (2010) e Lemos (2010).

Tabela 5.4 – Parâmetros usados na avaliação das ações – tecnologias eficientes.

Ação	Tecnologia existente		Nova tecnologia		Funcionamento horas/ano
	Potência W	Vida útil horas	Potência W	Vida útil horas	
VSAP/LED	194	20 000	80	60 000	4 015
VSAP/LED	294	20 000	110	60 000	4 015
Semáforos	100	8 000	5.5 (média)	100 000	8 760
Regulador	20 000	-----	14 000	60 000	4 015
Balastro 18	27.8	12 000	20.8	50 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
Balastro 36	45.5	12 000	34.1	50 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
Balastro 58	70.5	12 000	52.8	50 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
T8/T5 18	31	7 500	15	20 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
T8/T5 36	50	7 500	29	20 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
T8/T5 58	72	7 500	36	20 000	1 575/2 376 ⁽¹⁾
T8/LED 18	27.8	7 500	10.8	50 000	4 380
T8/LED 36	45.5	7 500	21.6	50 000	4 380
Incan/CFL	40	1 000	8	8 000	730/4 380 ⁽²⁾
Incan/CFL	60	1 000	11	8 000	1 460/4 380 ⁽²⁾
Ação	Tecnologia existente		Nova tecnologia		Funcionamento
Caldeira/bomba calor	GPL - rendimento 90.9%		Bomba calor – COP 3.3 Redução de potência – 42 kW		1 250 horas/ano
Elevador	Potência – 4.5 kW		Redução de potência – 290 W		120 chamadas/dia

(1) Para escolas e edifícios municipais, respetivamente.

(2) Para setor residencial e serviços-área saúde, respetivamente.

Para as ações do grupo energias renováveis, os valores da potência a instalar e do tempo de vida útil para cada um dos sistemas a considerar para a avaliação, são indicados na Tabela 5.5 (Duarte et al., 2010; Fial, 2011; Rodrigues, 2011). Não apresentando estes sistemas custos de manutenção anuais constantes ao longo da vida útil (por exemplo, a renovação de componentes não se verificará anualmente nem com uma periodicidade fixa), os custos de manutenção a considerar serão custos médios anuais.

Tabela 5.5 – Parâmetros usados na avaliação das ações – energias renováveis.

Sistema a instalar	Potência instalada (kW)	Vida útil (anos)
Solar térmico - para água quente sanitária (AQS)	13.5	20
Solar térmico - para água quente piscinas (AQP)	105.6	20
Sistema de microprodução fotovoltaica - fixo	4.05	25
Sistema de microprodução fotovoltaica – 1 eixo	4.05	25
Sistema de microprodução fotovoltaica – 2 eixos	4.05	25
Integração de sistemas fotovoltaicos - opacos	12.4	25
Integração de sistemas fotovoltaicos - transparentes	10.5	25
Integração de sistemas fotovoltaicos - amorfos	6.3	25
Sistema eólico-turbina eixo horizontal	3.5	25
Sistema eólico-turbina eixo vertical	3.0	25
Sistema de miniprodução	20	25

Relativamente às ações do grupo renovação de edifícios, não seria possível incluir na avaliação todos os tipos de edifícios existentes. Por isso, houve necessidade de tipificar os alojamentos/edifícios, de acordo com o setor a que respeitam e com as características/data de construção. Nos setores residencial e de serviços-privado, a avaliação das ações será feita por alojamento/escritório, enquanto que no setor público/municipal, essa avaliação será feita por edifício, utilizando as características de um edifício existente.

A avaliação das ações referentes à renovação de edifícios terá em consideração a data de construção e será realizada considerando dois períodos: edifícios construídos até 1945 e construídos entre 1946 a 1990. Nesta fase de aplicação do modelo, não se contemplaram ações aplicadas a edifícios construídos posteriormente. A razão prende-se com o facto de, nesse ano, surgir o primeiro regulamento sobre as características térmicas dos edifícios (Decreto-lei nº 40/1990) que, não sendo tão exigente como o que atualmente vigora, permitiu alguma regulamentação nesta área.

Para o setor residencial, serão ainda considerados dois tipos de alojamentos: alojamento em edifício com 4 fachadas, com cobertura em terraço e com dois ou seis alojamentos por edifício (para edifícios construídos até 1945 e entre 1946 e 1990, respetivamente); alojamento em edifício com as mesmas características mas apenas com duas fachadas.

Também para o setor dos serviços-privado, consideraram-se dois tipos de escritórios: localizados em edifícios de 4 fachadas e com três pisos (construção até 1945) e escritórios localizados em edifícios de duas fachadas e com quatro pisos (construção referente ao período de 1946 a 1990). No setor dos serviços-público/municipal, apenas se fará a distinção de acordo com a data de construção do edifício.

Na Tabela 5.6 são apresentados os principais parâmetros usados na avaliação das ações associadas à renovação de edifícios, calculados de acordo com as características dos edifícios considerados e de acordo com a opinião dos especialistas e dos técnicos municipais.

Tabela 5.6 – Parâmetros usados na avaliação das ações – renovação de edifícios.

Setor residencial			
Área média por alojamento - 106 m ² ; pé direito – 2.5 m ⁽¹⁾			
Área média aquecida por alojamento – 50.6 m ²⁽¹⁾			
Área média arrefecida por alojamento 35.2 m ²⁽¹⁾			
Horas anuais de utilização – 7 500 horas			
Tipo de edifício	Área de cobertura m ²	Área envidraçada m ²	Área parede opaca m ²
4 fachadas, anterior a 1946	56.25	8.48	96.90
2 fachadas, anterior a 1946	56.25	8.48	54.02
4 fachadas, entre 1946 e 1990	37.50	10.60	65.65
2 fachadas, entre 1946 e 1990	37.50	10.60	34.40
Setor Serviços-privado			
Área média por escritório – 100 m ²			
Área média climatizada – 50 %			
Horas anuais de utilização – 2 500 horas			
Tipo de edifício	Área de cobertura m ²	Área envidraçada m ²	Área parede opaca m ²
4 fachadas, anterior a 1946	37.50	64.50	64.5
2 fachadas, entre 1946 e 1990	28.12	36.00	18.00
Setor Serviços-público/municipal			
Área total do edifício – 2 340 m ² ; pé direito - 3 m			
Área média climatizada – 50 %			
Tipo de edifício	Área de cobertura m ²	Área envidraçada m ²	Área parede opaca m ²
4 fachadas	780	531	531

(1) (INE, 2011b)

Tendo em consideração os parâmetros apresentados nas tabelas 5.4, 5.5 e 5.6, foram obtidos os desempenhos das várias ações nos critérios: custos de investimento e custos anuais de manutenção.

Produção anual de energia/redução anual de energia

A produção anual de energia a partir de um sistema de energias renováveis depende das características técnicas do sistema e ainda das condições climáticas do local geográfico da instalação. Os valores anuais da produção de energia dos sistemas considerados para avaliação neste estudo foram obtidos a partir da informação disponível em Duarte et al. (2010); Fial (2011) e Rodrigues (2011). Uma vez que a produção anual de energia a partir destes sistemas é decrescente ao longo da vida útil do sistema, de acordo com a taxa de depreciação da tecnologia utilizada, serão usados valores médios anuais de produção.

A redução anual de energia obtida para cada ação de tecnologias eficientes é obtida a partir dos dados indicados na Tabela 5.4. Para as ações referentes à renovação de edifícios, para além dos parâmetros indicados na Tabela 5.6, foi necessário determinar o impacto dessas renovações nas necessidades energéticas para climatização. Com base na informação obtida em Ardente et al. (2011); Asadi et al. (2012); Cooperman et al. (2011); Diakaki et al. (2008); European Commission (2010a); Jardim (2009); Ouyang et al. (2011) e Vrachopoulos et al. (2012), foi possível discutir o valor daqueles impactos com os especialistas da área, tendo sido considerados plausíveis os valores que se apresentam na Tabela 5.7. Considerou-se, ainda, que o aquecimento é garantido por caldeira alimentada com gás natural e que o arrefecimento é elétrico.

Redução anual da fatura energética e tempo de retorno do investimento

O impacto na redução da fatura energética de uma ação estará dependente da redução anual de consumos verificados, dos vetores energéticos envolvidos e do custo unitário de cada vetor energético. Este custo está, por sua vez, dependente da opção contratual de abastecimento de energia.

Para as ações do grupo energias renováveis que envolvam venda da energia produzida à rede pública (caso dos sistemas de microprodução e miniprodução de

energia elétrica), a redução anual da fatura corresponderá ao montante faturado com a venda de energia, de acordo com os regimes de remuneração em vigor. Uma vez que os regimes remuneratórios, aplicáveis nestas situações, apresentam custos variáveis de aquisição de energia ao longo da vida útil dos sistemas de energias renováveis (Decreto-lei nº 118-A/2010; Decreto-lei nº 34/2011), consideraram-se valores médios anuais.

O retorno do investimento de qualquer ação refere-se ao período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Considerou-se o retorno simples, calculado através do quociente entre os custos de investimento e a redução anual de custos, sendo esta calculada a partir da redução anual da fatura energética e dos custos anuais de manutenção. A taxa de atualização apenas foi considerada nas ações do grupo de energias renováveis, por exigência do *software* utilizado.

Tabela 5.7 – Impacto da renovação de edifícios nas necessidades de climatização.

Ação	Redução (kWh/m ² /ano)	Aquecimento %	Arrefecimento %
Isolamento térmico de coberturas	65.0	68.5	31.5
Isolamento da fachada opaca, anterior a 1946	156.3		
Isolamento da fachada opaca, entre 1946 e 1990	28.7		
Substituição de vidro simples por vidro duplo em janelas, anterior a 1946	30.5	66.1	33.9
Substituição de vidro simples por vidro duplo em janelas, entre 1946 e 1990	43.1		
Substituição de caixilharia e vidro simples por vidro duplo em janelas, anterior a 1946	43.3		
Substituição de caixilharia e vidro simples por vidro duplo em janelas, entre 1946 e 1990	50.5		

Redução de emissões de CO₂

O impacto nas emissões de CO₂, para cada ação, dependerá do montante anual de energia evitada com as ações de tecnologias eficientes e de renovação de edifícios ou da produção anual de energia, obtida com as ações do grupo de energias renováveis. O valor das emissões evitadas será calculado com base nos fatores de emissão, por unidade de cada forma de energia, os quais são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Fatores de emissão de CO₂ por forma de energia.

Energia	Fator de emissão⁽¹⁾ kg CO₂/kWh
Elétrica	0.369
Gás natural	0.202
Gás butano/propano	0.223

⁽¹⁾ European Commission (2010b)

Poupança de energia primária

Para o cálculo dos custos evitados com a importação de energia primária, substituída por energia produzida a partir dos sistemas de energias renováveis ou evitada com a implementação de ações que reduzam o consumo de energia, tiveram-se em consideração os seguintes fatores: produção anual de energia elétrica (DGEG, 2010a); contribuição de combustíveis importados (carvão, petróleo e gás natural) na produção de energia elétrica (DGEG, 2010b) e os correspondentes custos de importação (DGEG, 2011). O valor obtido para o custo evitado com importações de combustíveis fósseis por cada kWh reduzido/produzido, usando como referência o ano de 2010, e usado na avaliação das diferentes ações é de 0.0199 Euros.

5.4 – Dados qualitativos

Como referido no capítulo anterior, para os critérios qualitativos será usada uma escala de quatro valores. Reproduzem-se na Tabela 5.9 as escalas de avaliação usadas para os critérios qualitativos.

Tabela 5.9 – Escalas de avaliação dos critérios qualitativos.

Critério	1	2	3	4
Maturidade da tecnologia	Tecnologia apenas testada em laboratório	Tecnologia usada em projetos-piloto	Tecnologia ainda pode ser melhorada	Tecnologia consolidada
Impacto no desempenho do sistema	Impacto negativo	Impacto nulo	Impacto moderadamente positivo	Impacto positivo
Outros impactos ambientais	Ausência de impacto	Impacto baixo	Impacto moderado;	Impacto elevado
Contribuição para o desenvolvimento local	Impacto fraco	Impacto moderado	Impacto médio-alto	Impacto elevado
Aceitação social	Alguma oposição	Fraca aceitação	Aceitação por parte da maioria	Aceitação sem restrições

5.5 – Desempenhos, perfis e limiares

Como o método ELECTRE TRI classifica as ações segundo categorias ordenadas predefinidas, sendo cada categoria definida através de duas ações de referência (ver ponto 4.5.1 do capítulo anterior), é necessário definir estes perfis de referência. Para cada um dos critérios é ainda necessário definir os limiares de indiferença q e de preferência p . Na aplicação do modelo, fixaram-se estes limiares, respetivamente, em 1% e 10% das gamas de variação dos desempenhos para cada categoria a que dizem respeito. São consideradas quatro categorias, sendo C^1 a pior e C^4 a melhor categoria.

Nas tabelas 5.10 a 5.15 são apresentados os desempenhos das ações em cada um dos doze critérios considerados, os perfis e os limiares usados na avaliação das ações dos grupos: tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios. Neste estudo de caso não são considerados limiares de veto.

Na tabela referente aos desempenhos das ações deste último grupo (Tabela 5.13), para a identificação das várias ações consideradas, foi usada a seguinte designação: letra 1, letra 2, ano, número. A letra 1 refere-se ao tipo de ação: C – isolamento térmico da cobertura; F – isolamento térmico da fachada opaca; V – substituição de vidro simples por vidro duplo em janelas; J – substituição de caixilharia e vidro simples por vidro duplo em janelas. A letra 2 indica o setor considerado: R – residencial; SP – setor de serviços-público/municipal; S – setor de serviços-privado. O ano indica a data de construção do edifício: 1946 significa que o edifício foi construído antes de 1946; 1990 indica que o edifício foi construído entre 1946 e 1990. Finalmente, o número dá a indicação do número de fachadas dos edifícios residenciais.

Para além da avaliação das ações por grupo, o modelo será também usado para a avaliação das ações por setor: residencial, serviços-privado e municipal. Para isso, serão selecionadas as ações de entre os grupos: tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios, aplicáveis a cada um dos setores considerados. Os desempenhos dessas ações são considerados independentes do setor a que respeitam. No entanto, para a aplicação do modelo por setor torna-se necessário definir os novos limiares e perfis. Estes são apresentados nas tabelas 5.16 a 5.18.

Tabela 5.10 – Desempenhos – Ações tecnologias eficientes.

Ações	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
LED 80 W	3.61	0.22	8.15	50.35	9.05	457.70	168.89	3	3	1	3	3
LED 110 W	3.19	0.20	7.17	81.71	14.69	742.78	274.09	3	3	1	3	3
Regulador	1.83	0.13	6.92	1590.32	286.01	14457.45	5334.80	3	3	1	2	3
Semáforos	4.74	0.33	2.46	182.12	32.75	1655.64	610.93	3	3	1	3	3
Bal EI 18 W	1.27	0.04	5.15	1.69	0.33	16.63	6.14	3	3	1	4	2
Bal EI 36 W	0.78	0.02	3.21	2.75	0.54	27.09	10.00	3	3	1	4	2
Bal EI 58 W	0.50	0.01	2.08	4.27	0.83	42.06	15.52	3	3	1	4	2
ECO 51 W	0.61	0.01	3.23	1.69	0.33	16.63	6.14	2	3	1	3	2
T5 (18 W)	1.06	0.02	6.59	2.56	0.50	25.20	9.30	2	3	1	3	2
T5 (36 W)	0.81	0.02	5.04	3.36	0.65	33.08	12.21	2	3	1	3	2
T5 (58 W)	0.47	0.01	2.95	5.76	1.12	56.70	20.92	2	3	1	3	2
LED 9 W-E	1.93	0.06	11.82	2.72	0.53	26.78	9.88	3	3	1	2	2
LED 18 W (Escolas)	2.75	0.08	16.82	3.82	0.74	37.64	13.89	3	3	1	2	2
LED 9 W-H	1.93	0.32	3.78	8.37	1.63	82.34	30.38	3	3	1	3	2
LED 18 W-	2.75	0.25	5.26	12.24	2.38	120.45	44.45	3	3	1	3	2
CFL 8 W-R	0.20	0.02	1.62	4.00	0.46	23.36	8.62	4	3	1	4	2
CFL 11 W-R	0.15	0.03	0.61	12.25	1.42	71.54	26.40	4	3	1	4	2
CFL 8 W-H	0.20	0.06	0.45	14.24	2.77	140.16	51.72	4	3	1	4	2
CFL 11 W-H	0.15	0.04	0.34	21.81	4.25	214.62	79.19	4	3	1	4	2
Sensores CFL 18 W	22.55	0.00	50.67	1.60	0.31	15.77	5.82	3	3	1	2	2
Sensores LED 18 W	19.73	0.00	53.81	2.38	0.46	23.38	8.63	3	3	1	2	2
Bomba Cal	0.89	0.00	5.91	6515.31	5834.18	52506.59	9050.07	2	2	2	3	2
Elevador	2.59	0.26	2.72	276.23	138.61	1612.57	596.65	3	3	1	3	1

Tabela 5.11 – Perfis e limiares – Ações tecnologias eficientes.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	20.00	0.2500	20.00	10.0	10.0	20.0	10.0	2.200	2.200	1.800	2.200	1.200
q1	0.10	0.0005	0.12	9.9	0.9	49.8	9.9	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
p1	1.00	0.0050	1.20	99.0	9.0	498.0	99.0	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
b2	10.00	0.2000	8.00	1000.0	100.0	5000.0	1000.0	2.500	2.500	1.500	2.500	1.500
q2	0.05	0.0010	0.07	40.0	9.0	150.0	40.0	0.005	0.003	0.003	0.005	0.005
p2	0.50	0.0100	0.70	400.0	90.0	1500.0	400.0	0.050	0.030	0.030	0.050	0.050
b3	5.00	0.1000	1.00	5000.0	1000.0	20000.0	5000.0	3.000	2.800	1.200	3.000	2.000
q3	0.05	0.0010	0.01	50.0	10.0	200.0	50.0	0.030	0.028	0.012	0.030	0.020
p3	0.50	0.0100	0.10	500.0	100.0	2000.0	500.0	0.300	0.280	0.120	0.300	0.200

Tabela 5.12 – Perfis e limiares – Ações renovação de edifícios.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	5.00	0.0500	20.0	200	100	2000	2000	3.200	3.200	1.800	2.200	1.200
q1	0.02	0.0002	0.12	8	14	80	80	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
p1	0.20	0.0020	1.20	80	140	800	800	0.020	0.030	0.030	0.030	0.030
b2	3.00	0.0300	8.00	1000	1500	10000	10000	3.400	3.500	1.500	2.500	1.500
q2	0.02	0.0002	0.05	70	5	900	900	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
p2	0.20	0.0020	0.50	700	50	9000	9000	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030
b3	1.00	0.0100	3.00	8000	2000	100000	100000	3.800	3.800	1.200	2.800	1.800
q3	0.01	0.0001	0.03	80	20	1000	1000	0.038	0.038	0.012	0.028	0.018
p3	0.10	0.0010	0.30	800	200	10000	10000	0.380	0.380	0.120	0.280	0.180

Tabela 5.13 – Desempenhos – Ações renovação de edifícios.

Ações	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
C, R, 1946, 4	4.28	0.042	7.08	255.246	192.59	2950.35	605.648	3	3	1	2	2
F, R, 1946, 4	5.12	0.051	8.57	613.769	463.10	7094.45	1456.35	3	3	1	2	2
V, R, 1946, 4	3.44	0.034	5.61	119.769	90.37	1384.395	284.188	4	3	2	2	1
J, R, 1946, 4	5.01	0.050	8.38	170.033	128.29	1965.387	403.454	3	3	2	2	2
C, R, 1946, 2	4.2	0.042	7.08	255.246	192.59	2950.35	605.647	3	3	1	2	2
F, R, 1946, 2	2.85	0.051	4.60	613.769	463.10	7094.457	1456.350	3	3	1	2	2
V, R, 1946, 2	3.44	0.034	5.61	119.769	90.37	1384.395	284.188	4	3	2	2	1
J, R, 1946, 2	5.01	0.050	8.38	170.033	128.29	1965.387	403.454	3	3	2	2	2
C, R, 1990, 4	1.23	0.012	1.95	255.246	192.59	2950.35	605.647	3	3	1	3	3
F, R, 1990, 4	2.77	0.027	4.47	613.769	463.10	7094.457	1456.350	3	3	1	3	3
V, R, 1990, 4	4.30	0.043	7.11	119.769	90.37	1384.395	284.188	4	3	2	3	2
J, R, 1990, 4	6.26	0.062	10.7	170.033	128.29	1965.387	403.454	3	3	2	3	3
C, R, 1990, 2	1.23	0.012	1.95	255.246	192.59	2950.35	605.647	3	3	1	3	3
F, R, 1990, 2	1.45	0.027	2.29	613.769	463.10	7094.457	1456.350	3	3	1	3	3
V, R, 1990, 2	4.31	0.043	7.11	119.769	90.37	1384.395	284.188	4	3	2	3	2
J, R, 1990, 2	6.26	0.062	10.7	170.033	128.29	1965.387	403.454	3	3	2	3	3
C, SP, 1946	0.76	0.007	3.69	6579.389	4964.28	76050.0	15611.544	3	3	1	2	3
F, SP, 1946	0.36	0.003	1.71	15820.901	11937.18	182871.0	37539.758	3	3	1	2	3
V, SP, 1946	2.79	0.027	14.81	3087.252	2329.39	35685.0	7325.416	4	3	2	2	2
J, SP, 1946	4.06	0.041	23.12	4382.885	3306.97	50661.0	10399.690	3	3	2	2	3
C, SP, 1990	0.33	0.003	1.57	6579.389	4964.28	76050.0	15611.544	3	3	1	3	3
F, SP, 1990	1.58	0.016	7.89	2905.053	2191.92	33579.0	6893.097	3	3	1	3	3
V, SP, 1990	2.79	0.028	14.81	3087.252	2329.39	35685.0	7325.416	4	3	2	3	2
J, SP, 1990	3.48	0.035	19.19	5111.679	3856.86	59085.0	12128.968	3	3	2	3	3
C, S, 1946	0.86	0.009	4.17	281.170	212.15	3250.0	667.16	3	3	1	2	3
F, S, 1946	1.03	0.010	5.01	676.106	510.13	7815.0	1604.263	3	3	1	2	3
V, S, 1946	7.93	0.079	57.89	131.933	99.55	1525.0	313.052	4	3	2	2	2
C, S, 1990	0.28	0.003	1.32	281.170	212.15	3250.0	667.16	3	3	1	3	3
F, S, 1990	1.25	0.013	6.16	124.147	93.67	1435.0	294.576	3	3	1	3	3
V, S, 1990	3.13	0.031	16.93	186.437	140.67	2155.0	442.378	4	3	2	3	2
J, S, 1990	5.52	0.055	34.31	218.447	164.82	2525.0	518.332	3	3	2	3	3

Tabela 5.14 – Desempenhos – Ações energias renováveis.

Ações	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
AQS	1.26	0.017	8.0	2020.49	1664	17418	3949.89	3	3	2	3	2
AQP	1.39	0.017	9.0	15534.84	12790	133921	30369.38	3	3	2	3	2
Micro PV fixo	3.96	0.005	10.2	1117.08	91	4624	2173.34	3	2	2	3	1
Micro PV 1 eixo	4.74	0.025	10.16	1396.35	114	5780	2716.66	2	2	2	2	1
Micro PV 2 eixos	4.94	0.037	9.28	1477.99	123	6242	2934.0	2	2	2	2	1
BIPV opaco	6.04	0.011	25.0	3474.0	350	17691	8314.0	1	3	1	1	2
BIPV transpar	7.33	0.013	26.0	2407.0	243	12261	5762.0	1	3	1	1	2
BIPV amorfos	6.67	0.021	30.0	987.0	100	5030	2364.0	1	3	1	1	2
Eólica horiz	4.13	0.034	11.3	998.0	104	5263	2473.0	2	2	3	2	1
Eólica vertical	4.38	0.040	27.0	427.65	45	2255	1060.0	1	2	3	2	1
Miniprodução	3.39	0.005	8.5	4542.0	579	29261	13752.0	2	2	2	3	2

Tabela 5.15 – Perfis e limiares – Ações energias renováveis.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	6.00	0.0300	15.00	500.0	500	10000	2000	1.200	2.200	1.800	0.500	1.200
q1	0.02	0.0001	0.03	5.0	45	400	80	0.003	0.003	0.003	0.005	0.003
p1	0.20	0.0010	0.30	50.0	450	4000	800	0.030	0.030	0.030	0.050	0.030
b2	4.00	0.0200	12.00	1000.0	5000	50000	10000	1.500	2.500	1.500	1.000	1.500
q2	0.02	0.0001	0.02	10.0	50	500	100	0.005	0.003	0.005	0.010	0.003
p2	0.20	0.0010	0.20	100.0	500	5000	1000	0.050	0.030	0.050	0.100	0.030
b3	2.00	0.0100	10.00	2000.0	10000	100000	20000	2.000	2.800	1.000	2.000	1.800
q3	0.02	0.0001	0.10	20.0	100	1000	200	0.020	0.028	0.010	0.020	0.018
p3	0.20	0.0010	1.00	200.0	1000	10000	2000	0.200	0.280	0.100	0.200	0.180

Tabela 5.16 – Perfis e limiares – Ações setor residencial.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	5.00	0.2000	12.00	50.0	10.0	100	50.0	1.200	2.200	1.800	2.200	1.200
q1	0.02	0.0010	0.02	4.5	4.9	9	4.5	0.012	0.003	0.003	0.003	0.003
p1	0.20	0.0100	0.20	45.0	49.0	90	45.0	0.120	0.030	0.030	0.030	0.030
b2	3.00	0.1000	10.00	500.0	500.0	1000	500.0	2.400	2.500	1.500	2.500	1.500
q2	0.01	0.0009	0.05	5.0	5.0	90	15.0	0.006	0.003	0.003	0.005	0.003
p2	0.10	0.0090	0.50	50.0	50.0	900	150.0	0.060	0.030	0.030	0.050	0.030
b3	2.00	0.0100	5.00	1000.0	1000.0	10000	2000.0	3.000	2.800	1.200	3.000	1.800
q3	0.02	0.0001	0.05	10.0	10.0	100	20.0	0.030	0.028	0.012	0.030	0.018
p3	0.20	0.0010	0.50	100.0	100.0	1000	200.0	0.300	0.280	0.120	0.300	0.180

Tabela 5.17 – Perfis e limiares – Ações setor serviços-privado.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	6.00	0.300	12.00	20.0	80.0	100	100	1.200	2.200	1.800	1.800	2.200
q1	0.02	0.001	0.04	9.8	9.2	49	19	0.008	0.003	0.006	0.007	0.003
p1	0.20	0.010	0.40	98.0	92.0	490	190	0.080	0.030	0.060	0.070	0.030
b2	4.00	0.200	8.00	1000.0	1000.0	5000	2000	2.000	2.500	1.200	2.500	2.500
q2	0.03	0.001	0.05	20.0	10.0	50	80	0.010	0.003	0.002	0.005	0.003
p2	0.30	0.010	0.50	200.0	100.0	500	800	0.100	0.030	0.020	0.050	0.030
b3	1.00	0.100	3.00	3000.0	2000.0	10000	10000	3.000	2.800	1.000	3.000	2.800
q3	0.01	0.001	0.03	30.0	20.0	100	100	0.030	0.028	0.010	0.030	0.028
p3	0.10	0.010	0.30	300.0	200.0	1000	1000	0.300	0.280	0.100	0.300	0.280

Tabela 5.18 – Perfis e limiares – Ações setor municipal.

Perfis e limiares	Custos de investimento	Custos de manutenção	Retorno do investimento	Redução da fatura	Energia primária	Produção /redução	Emissões CO ₂	Maturidade tecnológica	Desempenho do sistema	Impactos ambientais	Aceitação social	Desenvolvimento local
	€/W	€/W/ano	anos	€/ano	€/ano	kWh/ano	kg/ano	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]	[1:4]
b1	6.00	0.2000	12.00	100	80.0	100	100	2.200	2.200	1.800	1.800	2.200
q1	0.03	0.0010	0.04	9	9.2	79	19	0.003	0.003	0.006	0.007	0.003
p1	0.30	0.0100	0.40	90	92.0	790	190	0.030	0.030	0.060	0.070	0.030
b2	3.00	0.1000	8.00	1000	1000.0	8000	2000	2.500	2.500	1.200	2.500	2.500
q2	0.02	0.0005	0.05	70	10.0	420	180	0.005	0.003	0.002	0.003	0.003
p2	0.20	0.0050	0.50	700	100.0	4200	1800	0.050	0.030	0.020	0.030	0.030
b3	1.00	0.0500	3.00	8000	2000.0	100000	20000	3.000	2.800	1.000	2.800	2.800
q3	0.01	0.0005	0.03	80	20.0	1000	200	0.030	0.028	0.010	0.028	0.028
p3	0.10	0.0050	0.30	800	200.0	10000	2000	0.300	0.280	0.100	0.280	0.280

5.6 – Análise de alguns resultados obtidos

As ações consideradas neste estudo de caso serão classificadas nas quatro categorias previamente definidas, de acordo com o seu potencial de implementação: muito baixo (C^1), baixo (C^2), médio (C^3) e elevado (C^4). A avaliação será feita por grupo de ações (tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios) e por setor de aplicação dessas ações (residencial, serviços-privado e municipal).

O processo de aplicação do modelo, quer por grupo de ações quer por setor, iniciou-se com um volume reduzido de informação (como sugerido por Dias et al., 2002), i. e., utilizaram-se intervalos amplos para todos os parâmetros e não foi considerada nenhuma restrição adicional nem nenhum exemplo de classificação. Assim, considerou-se: para cada peso k_j ($j=1,\dots,12$) dos critérios, $k_j \in [0.01;0.49]$, garantindo que todos os critérios são considerados e que o peso máximo de cada critério será sempre inferior à soma dos pesos dos restantes critérios; para o limiar de corte $\lambda \in [0.51;0.67]$, correspondendo a uma variação de maioria simples a maioria qualificada de 2/3.

A gama de categorias em que cada ação pode ser classificada, de acordo com as múltiplas combinações possíveis de valores para λ , k_j ($j=1,\dots,12$) que satisfazem as restrições introduzidas, sem violar essas restrições, é apresentada no lado esquerdo das figuras 5.1 e 5.3 a 5.7, para os três grupos de ações e para os três setores considerados. A gama de categorias é apresentada pela ordenação original, podendo, no entanto, optar-se pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria. Para cada gama de categorias, a classificação proposta pelo IRIS, com base nos valores inferidos para os parâmetros, é identificada através da cor verde mais escura (ver 4.5.2).

Numa segunda iteração, fizeram-se refletir as preferências do decisor (recorda-se que se considerou neste estudo de caso um único decisor – autoridade municipal, ver 3.4.3). Para tal, incluíram-se restrições adicionais impondo que a soma dos pesos dos critérios “Aceitação social”, “Redução da fatura energética” e “Contribuição para o desenvolvimento local” seja no mínimo igual à soma dos pesos dos restantes critérios. Os resultados obtidos nesta segunda iteração são apresentados no lado direito das

figuras 5.1 e 5.3 a 5.7, para uma mais fácil comparação com os resultados obtidos na iteração anterior.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
LED 80 w					LED 80 w				
LED 110 w					LED 110 w				
Reg VSAP					Reg VSAP				
Semáforos					Semáforos				
Bal Ele 18 W					Bal Ele 18 W				
Bal Ele 36 W					Bal Ele 36 W				
Bal Ele 58 W					Bal Ele 58 W				
ECD 51 w					ECD 51 w				
T5 (18 w)					T5 (18 w)				
T5 (36 w)					T5 (36 w)				
T5 (58 w)					T5 (58 w)				
LED 9 w - Escolas					LED 9 w - Escolas				
LED 18 w - Escolas					LED 18 w - Escolas				
LED 9 w - Hosp					LED 9 w - Hosp				
LED 18 w - Hosp					LED 18 w - Hosp				
CFL 8 w - Res					CFL 8 w - Res				
CFL 11 w - Res					CFL 11 w - Res				
CFL 8 w - Hosp					CFL 8 w - Hosp				
CFL 11 w - Hosp					CFL 11 w - Hosp				
Sensores CFL 18 W					Sensores CFL 18 W				
Sensores LED 18					Sensores LED 18				
Bomba calor					Bomba calor				
Elev Resid					Elev Resid				
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 1 – Resultados obtidos para o grupo de ações tecnologias eficientes.

Se nos resultados da primeira iteração (lado esquerdo da Figura 5.1), de acordo com a classificação proposta pelo IRIS, apenas 8 das 23 ações em avaliação são classificadas na melhor categoria, o mesmo não acontece quando se incluem as preferências do decisor (lado direito da Figura 5.1). Nesta segunda iteração, excetuando a última ação, o IRIS propõe a classificação de todas as ações na categoria C^4 . Uma pior classificação da ação designada por “Elevador residencial” (passando de uma classificação na categoria C^3 para a categoria C^1) pode prender-se com o fraco desempenho desta ação num dos critérios incluídos nas preferências do decisor – “Contribuição para o desenvolvimento local” (ver Tabela 5.10).

Em qualquer das duas iterações há duas ações, designadas por “Regulador VSAP” e “Bomba de calor”, cuja classificação na categoria C^2 não é possível (células assinaladas com a cor negra), apesar de essas ações poderem ser classificadas nas categorias C^1 e C^3 . Para estas duas ações, quaisquer que sejam os valores de λ , k_j ($j=1, \dots, 12$), não existe nenhuma combinação desses valores que permita a classificação destas ações na categoria C^2 . Estas situações ocorrem quando a comparação de uma ação com dois perfis de referência consecutivos é equivalente e a discordância não intervém. De acordo com as definições e notação usadas no ponto 4.5.1, se $c_j(a_i, b_{l-1}) = c_j(a_i, b_l), \forall j \in \{1, \dots, n\}$, então a ação a_i não pode ser afetada à categoria $C^l \forall \lambda, k_j$.

É possível obter as combinações de valores para λ , k_j ($j=1, \dots, 12$) correspondentes à gama de categorias em que cada ação pode ser classificada. Na Figura 5.2 apresenta-se essa variação para a ação “LED 80 W”, de acordo com os resultados obtidos na primeira iteração (lado esquerdo da Figura 5.1). A classificação proposta pelo IRIS corresponde à categoria C^3 , onde o peso é igual para todos os critérios (0.08333). No entanto, esta ação pode ainda ser classificada numa categoria inferior (C^2 – a pior categoria para esta ação) e numa categoria superior (C^4 – a melhor categoria predefinida). A classificação em C^2 verificar-se-á se o peso do critério “Redução de emissões de CO_2 ” for igual a 0.1651, maior que o peso de qualquer dos outros onze critérios, que é igual a 0.0759. Para a ação ser classificada na melhor categoria, o maior peso - 0,29795 - terá de ser atribuído ao critério “Maturidade tecnológica”, enquanto que o peso dos restantes critérios será igual a 0.0638.

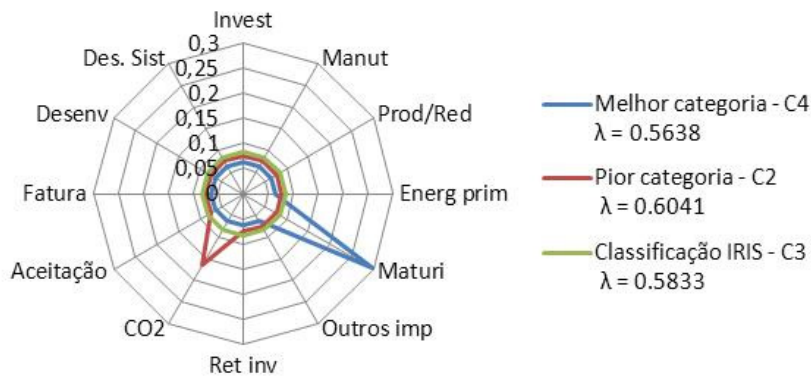


Figura 5. 2 – Variação dos parâmetros λ , k_j ($j=1, \dots, 12$) para a ação “LED 80 W”.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
AQS	Green	Black	Green	Green	AQS	Green	Black	Green	Green
AQP	Green	Black	Green	Green	AQP	Green	Black	Green	Green
PV fixo	Green	Green	Green	Green	PV fixo	Green	Green	Green	Green
PV 1 eixo	Green	Green	Green	Green	PV 1 eixo	Green	Green	Green	Green
PV 2 eixos	Green	Green	Green	Green	PV 2 eixos	Green	Green	Green	Green
BIPV-opaco	Green	Green	Green	Green	BIPV-opaco	Green	Green	Green	Green
BIPV_transp	Green	Green	Green	Green	BIPV_transp	Green	Green	Green	Green
BIPV_amorf	Green	Green	Green	Green	BIPV_amorf	Green	Green	Green	Green
Eólica horiz	Green	Green	Green	Green	Eólica horiz	Green	Green	Green	Green
Eólica vert	Green	Green	Green	Green	Eólica vert	Green	Green	Green	Green
Minigeração	Green	Green	Green	Green	Minigeração	Green	Green	Green	Green
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 3 – Resultados obtidos para o grupo de ações energias renováveis.

No grupo de ações “Energias renováveis”, à exceção da ação “Eólica vertical”, todas as ações podem ser classificadas nas quatro categorias predefinidas, quer na iteração inicial quer incluindo as preferências do decisor. A inclusão das preferências do decisor, no que se refere, nomeadamente, ao maior peso do critério “Desenvolvimento local” conduz à melhoria, em pelo menos uma categoria do *cluster* das ações “BIPV” e penaliza as ações do *cluster* PV, o que está de acordo com o desempenho destas ações naquele critério (ver Tabela 5.14). Refira-se ainda a manutenção da classificação na melhor categoria das ações “Solares térmicas”, designadas por AQS e AQP, indicando o bom desempenho destas ações nos vários critérios, incluindo aqueles que são considerados relevantes para o decisor.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
CR 1946 4					CR 1946 4				
FR 1946 4					FR 1946 4				
VR 1946 4					VR 1946 4				
JR 1946 4					JR 1946 4				
CR 1946 2					CR 1946 2				
FR 1946 2					FR 1946 2				
VR 1946 2					VR 1946 2				
JR 1946 2					JR 1946 2				
CR 1990 4					CR 1990 4				
FR 1990 4					FR 1990 4				
VR 1990 4					VR 1990 4				
JR 1990 4					JR 1990 4				
CR 1990 2					CR 1990 2				
FR 1990 2					FR 1990 2				
VR 1990 2					VR 1990 2				
JR 1990 2					JR 1990 2				
CSP 1946					CSP 1946				
FSP 1946					FSP 1946				
VSP 1946					VSP 1946				
JSP 1946					JSP 1946				
CSP 1990					CSP 1990				
FSP 1990					FSP 1990				
VSP 1990					VSP 1990				
JSP 1990					JSP 1990				
CS 1946					CS 1946				
FS 1946					FS 1946				
VS 1946					VS 1946				
CS 1990					CS 1990				
FS 1990					FS 1990				
VS 1990					VS 1990				
JS 1990					JS 1990				
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 4 – Resultados obtidos para o grupo de ações renovação de edifícios.

Relativamente ao grupo de ações “Renovação de edifícios”, a inclusão das preferências do decisor traduz-se na classificação na melhor categoria de quase metade das ações. No entanto, as ações designadas por “V, R, 1946, 4” e “V, R, 1946, 2” são penalizadas, ficando apenas com a possibilidade de serem classificadas na pior categoria

C¹. Esta situação decorre do fraco desempenho destas ações face ao critério “Desenvolvimento local” (ver Tabela 5.13).

Recorda-se que para a avaliação das ações por setor de aplicação (residencial, serviços – privado, serviços – público/municipal) foram selecionadas as ações de entre os grupos: tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios, aplicáveis a cada um dos setores considerados.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
CR 1946 4					CR 1946 4				
FR 1946 4					FR 1946 4				
VR 1946 4					VR 1946 4				
JR 1946 4					JR 1946 4				
CR 1946 2					CR 1946 2				
FR 1946 2					FR 1946 2				
VR 1946 2					VR 1946 2				
JR 1946 2					JR 1946 2				
CR 1990 4					CR 1990 4				
FR 1990 4					FR 1990 4				
VR 1990 4					VR 1990 4				
JR 1990 4					JR 1990 4				
CR 1990 2					CR 1990 2				
FR 1990 2					FR 1990 2				
VR 1990 2					VR 1990 2				
JR 1990 2					JR 1990 2				
Bal Ele 18 W					Bal Ele 18 W				
T5 (18 W)					T5 (18 W)				
CFL 8 W - 2 ho					CFL 8 W - 2 ho				
CFL 11 W - 4 hc					CFL 11 W - 4 hc				
Elevador					Elevador				
AQS					AQS				
Micro Pv fixo					Micro Pv fixo				
Micro Pv 1 eixo					Micro Pv 1 eixo				
Micro Pv 2 eixos					Micro Pv 2 eixos				
Édica horiz					Édica horiz				
Édica vert					Édica vert				
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 5 – Resultados obtidos para o setor residencial.

Na avaliação das ações no setor residencial, a inclusão das preferências do decisor restringe a classificação de 5 ações em apenas duas categorias. Analogamente ao que havia sido verificado anteriormente, as ações designadas por “V, R, 1946, 4” e “V, R, 1946, 2” são penalizadas, ficando apenas com a possibilidade de serem classificadas na pior categoria C¹. Não obstante, a ação “Micro PV Fixo” passa para a melhor categoria, enquanto as restantes ações deste *cluster* passam a ser classificadas na pior categoria. Este facto ocorre devido ao desempenho destas ações face ao critério “Aceitação Social” (ver Tabela 5.14).

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
C S 1946					C S 1946				
F S 1946					F S 1946				
V S 1946					V S 1946				
C S 1990					C S 1990				
F S 1990					F S 1990				
V S 1990					V S 1990				
J S 1990					J S 1990				
Bal Ele 18 w					Bal Ele 18 w				
Bal Ele 36 w					Bal Ele 36 w				
Bal Ele 58 w					Bal Ele 58 w				
ECD 51 w					ECD 51 w				
T5 (18 w)					T5 (18 w)				
T5 (36 w)					T5 (36 w)				
T5 (58 w)					T5 (58 w)				
LED 9 w - 8 horas					LED 9 w - 8 horas				
LED 18 w - 8 hora					LED 18 w - 8 hora				
LED 9 w - 12 horas					LED 9 w - 12 horas				
LED 18 w - 12 hora					LED 18 w - 12 hora				
CFL 8 w - 12 horas					CFL 8 w - 12 horas				
CFL 11 w - 12 hora					CFL 11 w - 12 hora				
Bomba calor					Bomba calor				
AQS					AQS				
BIPV-opaco					BIPV-opaco				
BIPV-transp					BIPV-transp				
BIPV-amorf					BIPV-amorf				
Minigeração					Minigeração				
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 6 – Resultados obtidos para o setor serviços-privado.

Nos serviços – privado, os resultados da iteração que contempla as preferências do decisor penaliza as ações “Tecnologias eficientes” e “Energias renováveis”, privilegiando, em termos de classificação, as ações “Renovações de edifícios”, à exceção das ações designadas por “V, S, 1990” e “V, S, 1946”, pelos motivos anteriormente mencionados (ver Tabela 5.13). Contrariamente ao que se verificou na avaliação por grupo, em que a inclusão das preferências do decisor classificava na melhor categoria a maioria das ações “Tecnologias eficientes” (ver lado direito da Figura 5.1), este *cluster* é fortemente penalizado quando a avaliação é efetuada por setor. Esta situação deve-se uma vez mais aos desempenhos das ações do setor residencial face ao critério “Desenvolvimento local” (ver tabelas 5.10, 5.13 e 5.14).

Resultados similares são obtidos para o setor serviços-público/municipal, como se pode observar na Figura 5.7.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
C SP 1946					C SP 1946				
F SP 1946					F SP 1946				
V SP 1946					V SP 1946				
J SP 1946					J SP 1946				
C SP 1990					C SP 1990				
F SP 1990					F SP 1990				
V SP 1990					V SP 1990				
J SP 1990					J SP 1990				
LED 80 W					LED 80 W				
LED 110 W					LED 110 W				
Reg VSAP					Reg VSAP				
Semaforos					Semaforos				
Bal Ele 18 W					Bal Ele 18 W				
Bal Ele 36 W					Bal Ele 36 W				
Bal Ele 58 W					Bal Ele 58 W				
ECO 51 W					ECO 51 W				
T5 (18 W)					T5 (18 W)				
T5 (36 W)					T5 (36 W)				
T5 (58 W)					T5 (58 W)				
LED 9 W (Escolas)					LED 9 W (Escolas)				
LED 18 W (Escolas)					LED 18 W (Escolas)				
Bomba Calor					Bomba Calor				
AQS					AQS				
AQP					AQP				
BIPV_opacos					BIPV_opacos				
BIPV_transp					BIPV_transp				
BIPV_amorfos					BIPV_amorfos				
Minigeração					Minigeração				
$k_j \in [0.01; 0.49]$ e $\lambda \in [0.51; 0.67]$					Incluindo as preferências do decisor				

Figura 5. 7 – Resultados obtidos para o setor serviços-público/municipal.

Para analisar a sensibilidade do modelo face aos valores dos perfis que definem cada categoria, foram progressivamente alterados alguns dos valores destes perfis (e respetivos limiares) na aplicação do modelo ao setor serviços-público/municipal. Os novos parâmetros usados nesta iteração são os constantes na Tabela 5.19. A gama de categorias em que cada ação pode ser classificada, na iteração inicial e de acordo as alterações introduzidas nos novos parâmetros é apresentada na Figura 5.8.

Tabela 5. 19 – Novos perfis e limiares – Ações setor serviços-público/municipal.

Perfis e limiares	Custos de investimento €/W	Retorno do investimento anos	Produção /redução kWh/ano
b1	6.000	10.00	100
q1	0.040	0.04	79
p1	0.400	0.40	790
b2	2.000	6.00	8000
q2	0.015	0.04	420
p2	0.150	0.40	4200
b3	0.500	2.00	50000
q3	0.005	0.02	500
p3	0.050	0.20	5000

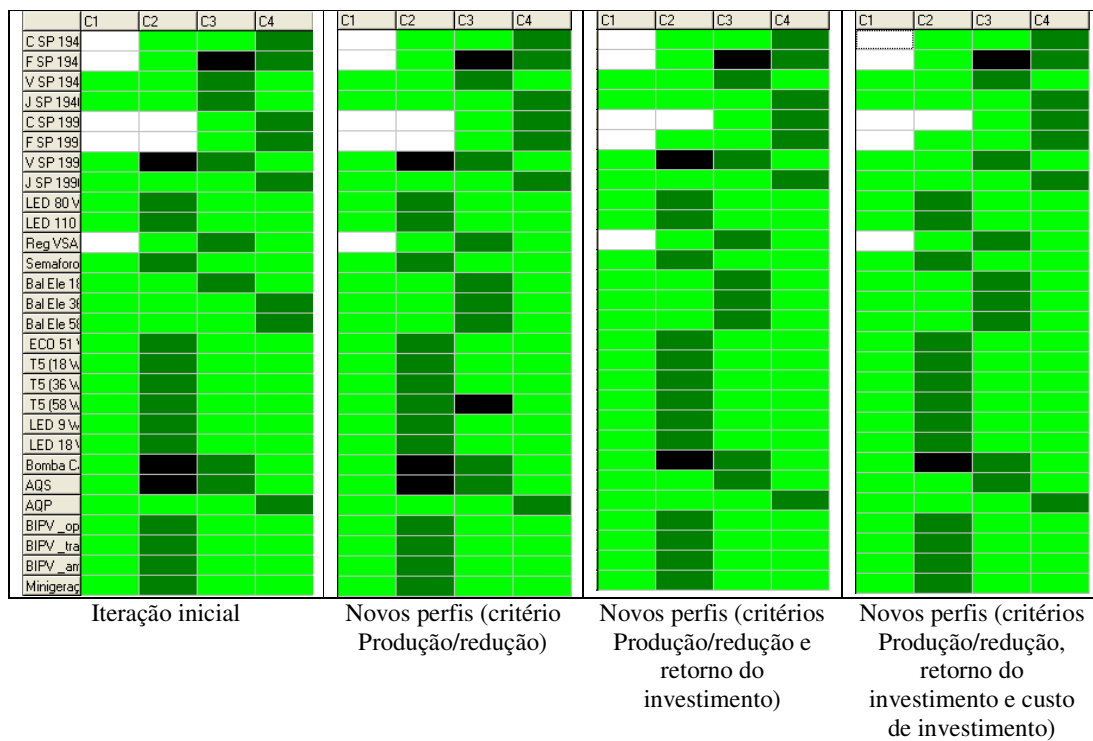


Figura 5. 8 – Resultados obtidos com a alteração dos parâmetros no setor serviços-público/municipal.

Como se pode observar a partir da Figura 5.8, verificou-se pequena sensibilidade face aos valores dos perfis. A alteração mais significativa diz respeito ao número de ações que não podem ser classificadas em determinadas categorias, que atinge o menor valor quando se considera, em simultâneo, a alteração dos perfis que definem cada categoria face aos três critérios considerados.

De modo a ilustrar as potencialidades da aplicação desta metodologia na análise de diferentes opções de política na área de planeamento energético, considerou-se a hipótese do lançamento de um concurso, por parte da autoridade municipal, para substituição das tecnologias existentes na iluminação pública por tecnologia LED. Supõe-se, nesta situação, que o decisor pretenderá impor que as ações referentes a esta substituição, designadas por “LED 80 W” e “LED 110 W” não sejam pior classificadas que a categoria C³ (quando avaliadas no setor municipal, estas duas ações ficam classificadas, de acordo com a proposta de classificação do IRIS e sem considerar as preferências do decisor, na categoria C² – ver lado esquerdo da Tabela 5.7 e Tabela 5.8). Este exemplo de classificação pode facilmente ser introduzido e recalculados os resultados, como ilustrado no lado direito da Figura 5.9.

A introdução deste exemplo de classificação, “arrasta” um conjunto de ações para uma categoria superior e impõe que um outro grupo fique classificado na pior categoria, o que não se verificava na iteração inicial, onde nenhuma ação ficou classificada em C¹. A classificação proposta pelo IRIS é obtida com a atribuição do maior peso ao critério “Retorno de investimento”, beneficiando as ações que têm um bom desempenho face a este critério, penalizando o *cluster* “BIPV” (ver tabelas 5.10 e 5.14). Nos resultados desta iteração é visível a redução da variação na classificação para algumas ações. Cinco ações estão classificadas em apenas duas categorias.

Action	E _{Low}	E _{High}	€/W	€/W-ano		C1	C2	C3	C4
C SP 1946	1	4	0.76	0.007					
F SP 1946	1	4	0.36	0.003					
V SP 1946	1	4	2.79	0.027					
J SP 1946	1	4	4.06	0.041					
C SP 1990	1	4	0.33	0.003					
F SP 1990	1	4	1.58	0.016					
V SP 1990	1	4	2.79	0.028					
J SP 1990	1	4	3.48	0.035					
LED 80 W	3	4	3.61	0.22					
LED 110 W	3	4	3.19	0.20					
Reg VSAP	1	4	1.83	0.13					
Semáforos	1	4	4.74	0.33					
Bal Ele 18 W	1	4	1.27	0.04					
Bal Ele 36 W	1	4	0.78	0.02					
Bal Ele 58 W	1	4	0.50	0.01					
ECO 51 W	1	4	0.61	0.01					
T5 (18 W)	1	4	1.06	0.02					
T5 (36 W)	1	4	0.81	0.02					
T5 (58 W)	1	4	0.47	0.01					
LED 9 W (Es)	1	4	1.93	0.06					
LED 18 W (E)	1	4	2.75	0.08					
Bomba Calor	1	4	0.89	0.00					
AQS	1	4	1.26	0.017					
AQP	1	4	1.39	0.017					
BIPV_opaco	1	4	6.04	0.011					
BIPV_transp	1	4	7.33	0.013					
BIPV_amorfo	1	4	6.67	0.021					
Minigeração	1	4	3.39	0.005					

Figura 5. 9 – Resultados obtidos com a consideração de exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.

Adicionalmente, considerou-se a possibilidade de o decisor assumir idêntica preferência relativamente aos semáforos, por se tratar de uma medida com grande visibilidade para a população. A introdução do novo exemplo de classificação, impondo a classificação mínima em C³ para a ação relativa aos semáforos, não provocou qualquer alteração na gama de categorias obtida.

A hipotética possibilidade de vir a existir um programa de promoção da minigeração em edifícios municipais, conduziu a uma nova iteração, admitindo que o decisor pretende impor que esta ação não seja pior classificada que a categoria C³. Simultaneamente admitiu-se a pretensão do decisor em considerar uma boa classificação para a ação “Semáforos”. Foram introduzidos estes dois novos exemplos de classificação e os resultados recalculados e mostrados no lado direito da Figura 5.10. A gama de categorias é agora apresentada pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria, para evidenciar a redução na variação da classificação das ações. De facto, das 28 ações em avaliação, apenas 10 podem ser classificadas nas quatro categorias, 9 estão classificadas em duas categorias e 3 delas estão classificadas em apenas uma categoria.

Actions					Results				
Fixed Par.	Bounds	Constraints			Inferred constraints	Infer. Prog.	Indices		
Action	ELow	EHigh	€/W	€/W-ano	C1	C2	C3	C4	
C SP 1946	1	4	0.76	0.007					
F SP 1946	1	4	0.36	0.003					
V SP 1946	1	4	2.79	0.027					
J SP 1946	1	4	4.06	0.041					
C SP 1990	1	4	0.33	0.003					
F SP 1990	1	4	1.58	0.016					
V SP 1990	1	4	2.79	0.028					
J SP 1990	1	4	3.48	0.035					
LED 80 w	3	4	3.61	0.22					
LED 110 w	3	4	3.19	0.20					
Reg VSAP	1	4	1.83	0.13					
Semaforos	4	4	4.74	0.33					
Bal Ele 18 W	1	4	1.27	0.04					
Bal Ele 36 W	1	4	0.78	0.02					
Bal Ele 58 W	1	4	0.50	0.01					
ECD 51 W	1	4	0.61	0.01					
T5 (18 W)	1	4	1.06	0.02					
T5 (36 W)	1	4	0.81	0.02					
T5 (58 W)	1	4	0.47	0.01					
LED 9 W (Es)	1	4	1.93	0.06					
LED 18 W (E)	1	4	2.75	0.08					
Bomba Calor	1	4	0.89	0.00					
AQS	1	4	1.26	0.017					
AQP	1	4	1.39	0.017					
BIPV_opaco	1	4	6.04	0.011					
BIPV_transp	1	4	7.33	0.013					
BIPV_amorfo	1	4	6.67	0.021					
Minigeração	3	4	3.39	0.005					
Bal Ele 18 W									
Bal Ele 36 W									
Bal Ele 58 W									
ECD 51 W									
T5 (18 W)									
T5 (36 W)									
T5 (58 W)									
BIPV_opaco									
BIPV_transp									
BIPV_amorfo									
C SP 1946									
F SP 1946									
V SP 1946									
J SP 1946									
LED 9 W (Es)									
LED 18 W (E)									
F SP 1990									
V SP 1990									
J SP 1990									
LED 80 w									
LED 110 w									
Reg VSAP									
Bomba Calor									
AQS									
Minigeração									
C SP 1990									
Semaforos									
AQP									

Figura 5. 10 – Resultados obtidos com a consideração de novos exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.

Face aos resultados obtidos, o decisor pode optar por acrescentar novos exemplos de classificação. Contrariamente aos exemplos anteriores, o decisor pretende agora impor uma classificação máxima para um *cluster* de ações. A escolha recaiu sobre as ações referentes à substituição de balastos existentes por balastos eletrónicos. Esta

escolha pode dever-se ao facto de o decisor estar certo de que este tipo de ações já foi largamente implementado nos edifícios municipais, ou por estar previsto um qualquer programa de apoio a estas ações, mas não na altura desta avaliação. Assim, o decisor considera que aquele *cluster* de ações é um bom exemplo da categoria C¹, chegando-se aos resultados apresentados no lado direito da Figura 5.11.

Optou-se novamente por apresentar a gama de categorias pela ordenação decrescente da diferença entre a melhor e a pior categoria, em vez da apresentação pela ordenação original. Como pode observar-se, grande parte das ações está classificada em apenas uma categoria e a variação das outras está francamente reduzida, não havendo nenhuma ação que possa ser classificada nas quatro categorias consideradas.

Nesta última iteração a proposta de classificação do IRIS é obtida considerando que o maior peso é atribuído aos critérios “Aceitação social”, “Redução da fatura energética” e “Contribuição para o desenvolvimento local”, que coincide com as preferências do decisor, incluídas na segunda iteração (ver lado direito da Figura 5.7).

Actions					Results				
Fixed Par.	Bounds	Constraints	€ /W	€ /W-ano	Inferred constraints	Infer. Prog.	Indices		
Action	E Low	E High			C1	C2	C3	C4	
C SP 1946	1	4	0.76	0.007					
F SP 1946	1	4	0.36	0.003					
V SP 1946	1	4	2.79	0.027					
J SP 1946	1	4	4.06	0.041					
C SP 1990	1	4	0.33	0.003					
F SP 1990	1	4	1.58	0.016					
V SP 1990	1	4	2.79	0.028					
J SP 1990	1	4	3.48	0.035					
LED 80 W	3	4	3.61	0.22					
LED 110 W	3	4	3.19	0.20					
Reg VSAP	1	4	1.83	0.13					
Semaforos	4	4	4.74	0.33					
Bal Ele 18 W	1	1	1.27	0.04					
Bal Ele 36 W	1	1	0.78	0.02					
Bal Ele 58 W	1	1	0.50	0.01					
ECD 51 w	1	4	0.61	0.01					
T5 (18 W)	1	4	1.06	0.02					
T5 (36 W)	1	4	0.81	0.02					
T5 (58 W)	1	4	0.47	0.01					
LED 9 W (Es)	1	4	1.93	0.06					
LED 18 W (E)	1	4	2.75	0.08					
Bomba Calor	1	4	0.89	0.00					
AQS	1	4	1.26	0.017					
AQP	1	4	1.39	0.017					
BIPV_opaco	1	4	6.04	0.011					
BIPV_transp	1	4	7.33	0.013					
BIPV_amorfo	1	4	6.67	0.021					
Minigeração	3	4	3.39	0.005					
C SP 1946									
F SP 1946									
J SP 1946									
BIPV_opaco									
BIPV_transp									
BIPV_amorfo									
V SP 1946									
F SP 1990									
V SP 1990									
J SP 1990									
LED 80 W									
LED 110 W									
Reg VSAP									
T5 (58 W)									
Bomba Calor									
C SP 1990									
Semaforos									
Bal Ele 18 W									
Bal Ele 36 W									
Bal Ele 58 W									
ECD 51 w									
T5 (18 W)									
T5 (36 W)									
LED 9 W (Es)									
LED 18 W (E)									
AQS									
AQP									
Minigeração									

Figura 5. 11 – Resultados obtidos com a consideração de mais exemplos de classificação para o setor serviços-público/municipal.

Nesta fase, o decisor pode aceitar como finais os resultados obtidos, ou prosseguir acrescentando nova informação ou revendo/alterando a informação já incluída. Como anteriormente referido, o decisor pode ainda, em qualquer fase do processo, introduzir novas ações para avaliação.

Finaliza-se a aplicação do modelo com a análise de três cenários adicionais, designados por cenário económico, cenário ambientalista e cenário político. Os resultados obtidos para estes três cenários são apresentados na Figura 5.12.

	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4
C SP 194					C SP 194					C SP 194				
F SP 194					F SP 194					F SP 194				
V SP 194					V SP 194					V SP 194				
J SP 194					J SP 194					J SP 194				
C SP 199					C SP 199					C SP 199				
F SP 199					F SP 199					F SP 199				
V SP 199					V SP 199					V SP 199				
J SP 199					J SP 199					J SP 199				
LED 80 W					LED 80 W					LED 80 W				
LED 110					LED 110					LED 110				
Reg VSA					Reg VSA					Reg VSA				
Semaforo					Semaforo					Semaforo				
Bal Ele 18					Bal Ele 18					Bal Ele 18				
Bal Ele 36					Bal Ele 36					Bal Ele 36				
Bal Ele 58					Bal Ele 58					Bal Ele 58				
ECO 51 W					ECO 51 W					ECO 51 W				
T5 (18 W)					T5 (18 W)					T5 (18 W)				
T5 (36 W)					T5 (36 W)					T5 (36 W)				
T5 (58 W)					T5 (58 W)					T5 (58 W)				
LED 9 W					LED 9 W					LED 9 W				
LED 18 W					LED 18 W					LED 18 W				
Bomba C					Bomba C					Bomba C				
AQS					AQS					AQS				
AQP					AQP					AQP				
BIPV_op					BIPV_op					BIPV_op				
BIPV_tra					BIPV_tra					BIPV_tra				
BIPV_an					BIPV_an					BIPV_an				
Minigeraç					Minigeraç					Minigeraç				
	Cenário económico					Cenário ambientalista					Cenário político			

Figura 5. 12 – Resultados obtidos para os 3 cenários considerados para o setor serviços-público/municipal.

Estes cenários foram definidos através da introdução de restrições nos pesos dos critérios, impondo que a soma dos pesos de alguns critérios específicos seja no mínimo igual à soma dos pesos dos restantes critérios. Assim, para o cenário económico, os critérios específicos seleccionados foram os critérios económicos avaliados em unidade monetária: custos de investimento, custos de manutenção, poupança de energia primária e redução da fatura energética. Para o cenário ambientalista, o maior peso foi atribuído aos dois critérios ambientais: redução de emissões de CO₂ e outros impactos ambientais,

e para o cenário político, são três os critérios específicos selecionados: um critério económico - poupança de energia primária; um critério tecnológico - produção anual de energia/redução anual de energia; um critério ambiental - redução de emissões de CO₂.

Da análise dos resultados obtidos nos cenários ambiental e político (centro e lado direito da Figura 5.12, respetivamente), verifica-se que a classificação proposta pelo IRIS é a mesma para os dois cenários. No que respeita à gama de categorias em que cada ação pode ser classificada, no cenário político, a maioria das ações não será classificada na melhor categoria. Ainda respeitante àqueles dois cenários, verifica-se uma melhor classificação do *cluster* energias renováveis, face à iteração inicial (lado esquerdo da Figura 5.7), beneficiando da atribuição, nos dois cenários, de um maior peso ao critério “redução de emissões de CO₂”, face ao qual as ações deste *cluster* apresentam um bom desempenho.

Refere-se, como curiosidade, a existência de “solidariedade”, em termos de classificação, entre ações pertencentes ao mesmo grupo, embora menos evidente nos resultados obtidos para o cenário económico (lado esquerdo da Figura 5.12). Apenas neste cenário há ações classificadas na pior categoria (algumas ações do grupo tecnologias eficientes). Em contrapartida é neste cenário que, de acordo com a proposta de classificação do IRIS, há mais ações classificadas na melhor categoria (ações do grupo renovação de edifícios). Esta classificação poderá ser justificada pelo desempenho destas ações face aos critérios económicos considerados com um peso superior (ver tabelas 5.10 e 5.13).

5.7 – Nota conclusivas

Neste capítulo desenvolve-se a aplicação do modelo de decisão multicritério apresentado no capítulo anterior, incluindo-se uma análise de alguns dos resultados obtidos com o programa IRIS. Este programa é destinado ao apoio à decisão em problemas de classificação, que permite a classificação de ações descritas pelo seu desempenho em múltiplos critérios, segundo um conjunto ordenado de categorias definido antecipadamente.

As ações consideradas para avaliação foram categorizadas em três grupos: tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios. A seleção das ações foi determinada pela existência de dados reais para a determinação dos desempenhos dessas ações nos critérios considerados.

Na condução da aplicação do modelo considerou-se a existência de um decisor real – a autoridade municipal – que expressa as suas preferências face à informação que lhe é apresentada. A avaliação das diferentes ações foi inicialmente feita por grupo e posteriormente foi feita por setor de aplicação das ações consideradas: setor residencial, setor de serviços-privado e setor de serviços-público/municipal. Atendendo à natureza do decisor, optou-se pela exploração da aplicação do modelo neste último setor.

O processo de aplicação do modelo iniciou-se com um volume reduzido de informação, utilizando-se intervalos amplos para todos os parâmetros e sem a consideração de qualquer restrição adicional ou exemplo de classificação. As múltiplas combinações possíveis de valores para os pesos dos critérios e para o limiar de corte conduzem a uma vasta gama de categorias em que cada ação pode ser classificada.

Tirando partido da aceitação de informação imprecisa pelo IRIS (restrições sobre alguns parâmetros, em vez de valores precisos), foram incluídas as preferências do decisor quer através de restrições aos pesos dos critérios quer através de exemplos de classificação, o que permitiu uma progressiva delimitação da variação das categorias para as ações consideradas.

Não sendo alguns dos parâmetros considerados variáveis pelo IRIS (caso dos perfis das categorias e dos limiares de indiferença e de preferência, que terão de ser fixados pelo decisor), foi ainda analisada a sensibilidade do modelo face à variação destes parâmetros em relação a alguns dos critérios considerados.

Capítulo 6 – Conclusões e propostas para futuro trabalho

As políticas energéticas, tendo em mente a sustentabilidade económica e ambiental, têm evoluído no sentido de uma atuação simultânea sobre a oferta e sobre a procura de energia, procurando alcançar vários objetivos, nomeadamente: a minimização da dependência externa de energia; o aumento da segurança do abastecimento através da diversificação das fontes energéticas e das origens do abastecimento de energia; a redução da intensidade energética da economia; a limitação dos efeitos ambientais negativos da utilização de energia, com especial destaque para a minimização das emissões de gases com efeito de estufa.

Do lado da oferta, os objetivos da política energética apelam, em primeiro lugar, à exploração tão extensiva quanto possível dos recursos endógenos, aumentando a capacidade de produção local de energia de base renovável. Do lado da procura, torna-se necessário estimular o aumento global da eficiência energética através do recurso a equipamentos de uso final de energia mais eficientes, da sensibilização de todos os consumidores para uma utilização mais racional dos recursos energéticos e da gestão coordenada destes recursos.

No caso particular das cidades, a autoridade local, na sua qualidade de fornecedora direta e indireta de serviços, que regulamenta, e, como tal, parceira e mobilizadora dos recursos da comunidade, tem um potencial de intervenção muito importante no desenvolvimento sustentável das cidades, incluindo no que diz respeito à energia. A dimensão energética deve ser incluída nas políticas regionais e locais de ordenamento, dinamizando a racionalização e a gestão do consumo da energia, permitindo às

autoridades locais não só melhorar a qualidade de vida nas suas cidades mas também reduzir custos.

Existem presentemente inúmeros modelos de planeamento aplicáveis aos sistemas de energia que têm sido desenvolvidos e implementados nas últimas décadas e de que se deu conta na análise de revisão da literatura científica apresentada no segundo capítulo. Os modelos existentes centram-se predominantemente nas dimensões económica e ambiental, raramente contemplando os aspetos sociais e a sua aplicação aos sistemas energéticos urbanos é feita setorialmente e não de modo integrado.

Neste contexto, surgiu a motivação para o desenvolvimento de uma metodologia integrada capaz de auxiliar os decisores na avaliação das várias ações que podem ser consideradas no planeamento e gestão dos sistemas energéticos urbanos; metodologia essa guiada para a sustentabilidade económica, ambiental e social, que permita o envolvimento de todos aqueles que influenciam e são influenciados pelas decisões no setor energético e contemple múltiplos aspetos de avaliação, geralmente conflituosos – de natureza económica, ambiental, tecnológica e social.

Esta motivação foi reforçada pelos conhecimentos adquiridos e pelos resultados obtidos nos vários projetos desenvolvidos, participados e orientados, nomeadamente auditorias energéticas em edifícios, substituição de tecnologias de uso final de energia e projeto e dimensionamento de sistemas de energias renováveis em ambiente urbano. Estas atividades permitiram, também, a recolha de informação que possibilitou a utilização de dados reais na fase de aplicação do modelo. Por outro lado, o número crescente de autarquias que, enquanto signatárias do Pacto de Autarcas, têm vindo a desenvolver os seus Planos de Ação para a Energia Sustentável, criou a expectativa de que a metodologia possa vir a ter aplicação efetiva.

Dada a complexidade dos sistemas energéticos em geral e dos sistemas energéticos urbanos em particular, uma metodologia com base em análise multicritério (MCDA) afigurou-se particularmente adequada para auxiliar na tomada de decisão em problemas de planeamento energético num contexto urbano. Os modelos MCDA possibilitam captar a diversidade de aspetos de avaliação, geralmente conflituosos e não comensuráveis, onde o decisor se depara com a necessidade de procurar compromissos

entre critérios. Além disso, permitem a utilização de diferentes escalas (quantitativas e qualitativas) para os diferentes critérios e proporcionam um ambiente de tomada de decisão participativo, permitindo a intervenção dos vários especialistas e das partes interessadas.

O desenvolvimento da metodologia iniciou-se com a fase de estruturação da situação problemática relatada no terceiro capítulo. Esta fase, de extrema importância na construção de um modelo multiobjectivo, foi levada a cabo com a aplicação de uma metodologia de estruturação de situações problemáticas e mal definidas – a *Soft Systems Methodology*. Na fase de estruturação foi possível contar com o envolvimento de várias partes interessadas, embora com um grau de envolvimento diferente. No caso de alguns consumidores e comercializadores, a sua participação, embora valiosa, limitou-se a resposta a inquéritos. A partir do diálogo e interação com alguns técnicos e especialistas conseguiram-se opiniões e sugestões que permitiram chegar aos resultados finais obtidos nesta fase. Deve-se realçar que a participação e a colaboração destes técnicos e especialistas se prolongaram ao longo de todo o processo, incluindo na especificação das preferências do decisor, de acordo com os requisitos do método utilizado e na análise dos resultados preliminares.

Da fase de estruturação, para além de um conhecimento mais aprofundado da situação, foi possível obter uma lista de valores das partes interessadas que foram estruturados numa árvore de objetivos, seguindo as linhas orientadoras da estratégia “Pensamento Centrado em Valores”, (*Value Focused Thinking*) proposta por Keeney. Alguns dos objetivos fundamentais foram convertidos em critérios de avaliação do modelo multicritério. Assim, foram considerados 12 critérios de avaliação, agrupados em critérios económicos, tecnológicos, ambientais e sociais. Destes, 7 critérios são avaliados numa escala quantitativa e os restantes 5 são avaliados numa escala qualitativa, sendo a sua descrição pormenorizada apresentada no quarto capítulo.

Para o processo de avaliação, selecionou-se o método ELECTRE TRI. A escolha deste método deveu-se às características do problema considerado. Pretendia-se um modelo que permitisse uma classificação das várias ações, que podem ser implementadas num sistema energético urbano, em classes (categorias) de mérito ordenadas e definidas antecipadamente pelo decisor. Pretendia-se, ainda, que cada ação

fosse avaliada pelo seu mérito absoluto e não em comparação com as restantes ações consideradas, o que se traduz na possibilidade de, em qualquer fase do processo de decisão, serem incluídas novas ações a avaliar, não sendo necessário ter o conjunto de ações definido e estanque no início do processo.

Para a aplicação do modelo foi selecionado um conjunto de ações reunidas em três grupos designados por tecnologias eficientes, energias renováveis e renovação de edifícios. A escolha das ações foi sobretudo determinada pela existência de dados reais que pudessem ser utilizados. Estes dados foram obtidos a partir de vários projetos desenvolvidos na zona geográfica da cidade que serviu de contexto de decisão e na própria cidade. Nas situações em que os dados reais disponíveis não eram suficientes, recorreu-se aos dados obtidos em referências bibliográficas, tendo o cuidado de os discutir com os especialistas, de modo a poder adaptá-los ao estudo de caso.

A aplicação do modelo foi feita com recurso ao programa IRIS, que implementa uma metodologia baseada no ELECTRE TRI. O modelo foi aplicado por grupos de ações considerados e por setor de aplicação dessas ações: residencial, serviços – privado e serviços-público/municipal. Uma análise dos principais resultados é apresentada no quinto capítulo. Uma vez que neste estudo se considerou um único decisor – a autoridade municipal –, a exploração da utilização do modelo foi feita com a aplicação ao setor municipal. No entanto, o decisor poderá ser uma outra entidade, dependendo do utilizador do modelo – operadoras, agências de energia, por exemplo –, nada impedindo que exista mais do que um decisor.

O alargamento do conjunto de utilizadores deste modelo leva a admitir a possibilidade da sua aplicação a setores não considerados neste estudo. Como referido no quinto capítulo, dada a sua especificidade, a avaliação de ações no setor dos transportes exigirá um modelo próprio ou, pelo menos, uma adaptação do modelo desenvolvido. Os transportes e a gestão da mobilidade urbana são das tarefas mais difíceis que os municípios têm enfrentado, uma vez que envolvem alterações de hábitos enraizados e qualquer decisão nesta área levanta normalmente objeções. Os principais objetivos neste setor serão a redução da circulação automóvel em meio urbano e a redução dos impactos ambientais deste setor. De entre as ações a considerar constarão, seguramente, a melhoria das infraestruturas e o funcionamento dos transportes públicos

urbanos; a substituição de combustíveis nas frotas municipais; e a implementação de estratégias de estacionamento automóvel para promoção dos transportes públicos no centro das cidades; a implementação de modos suaves de transporte e de sistemas de *carsharing*, assim como o estímulo à prática de *carpooling* para as viagens pendulares mais significativas no concelho.

O modelo proposto poderá facilmente ser adaptado para ser aplicado no setor industrial. A maior dificuldade residirá, eventualmente, na obtenção de dados reais necessários para a avaliação de ações específicas. Na indústria a replicação de ações é mais difícil porque há muitas especificidades. Esta dificuldade poderá ser ultrapassada com uma maior sensibilização dos responsáveis deste setor para a problemática energética.

Considera-se ainda a possibilidade de vir a incluir no modelo novos critérios de avaliação: um novo critério ambiental que permita a avaliação dos impactos a nível nacional das emissões de CO₂, tendo em consideração a análise do ciclo de vida das tecnologias usadas, nomeadamente nos sistemas de energias renováveis; um novo critério social que permita avaliar não só os empregos gerados a nível local, mas também os empregos não locais indiretos e induzidos.

Seguindo as sugestões dos especialistas na área do comportamento térmico dos edifícios, deve ponderar-se a possibilidade de uniformizar as escalas de avaliação usadas nos critérios, numa unidade/m², para as ações referentes à renovação de edifícios e alargar a avaliação a ações a implementar em edifícios construídos entre 1991 e 2006, data de entrada em vigor do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios.

Finalmente, como uma possibilidade de desenvolvimento futuro, pretende-se testar a metodologia desenvolvida noutra cidade com dimensões e características geográficas diferentes daquela que serviu de contexto de decisão neste trabalho – uma região insular, por exemplo.

Apêndice A

Lista de Acrónimos

A lista de acrónimos que se a presenta não é uma lista exaustiva. Optou-se por incluir, além dos acrónimos de uso mais frequente, os dos métodos MCDA e algumas designações usadas na definição das ações a incluir nos planos.

AFT	“Alternative Focused Thinking”
AHP	“Analytic Hierarchy Process”
AQP	“Água Quente Piscinas“
AQS	“Água Quente Sanitária“
BIPV	“Building Integrated Photovoltaic”
CE	“Comissão Europeia”
CFL	“Compact Fluorescent Lamp”
ELECTRE	“ELimination Et Choix Traduisant la REalité”
ER	“Energias renováveis”
ESE	“Empresas de Serviços Energéticos”
GPL	“Gás de Petróleo Liquefeito”
IRIS	“Interactive Robustness analysis and parameters' Inference for multicriteria Sorting problems”
LED	“Light Emitting Diode”
MACBETH	“Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique“
MADM	“Multiple Attribute Decision Making”
MAUT	“Multiple Attribute Utility Theory”
MAVT	“Multiple Attribute Value Theory”

MCDA	“Multicriteria Decision Analysis”.
MODM	“Multiple Objective Decision Making”
NAIADE	“Novel Approach for Imprecise Assessment and Decision Evaluations“
PAES	“Planos de Ação para a Energia Sustentável”
PROMETHEE	“Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations”
PSM	“Problem Structuring Methods”
PV	“Photovoltaic”
RCCTE	“Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios”
RE	“Renovação de Edifícios”
RSECE	“Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios”
SSM	“Soft Systems Methodology”
T5/T8	“Lâmpadas Fluorescentes Tubulares”
TE	“Tecnologias Eficientes”
TOPSIS	“The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions“
UE	“União Europeia”
VFT	“Value Focused Thinking”
VSAP	“Vapor de Sódio de Alta Pressão“
WSM	“Weighted Sum Model”

Referências

Akash, B., R. Mamlook, M. Mohsen (1999). Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process. *Electric Power Systems Research*, 52 (1), 29–35.

Al-Shemmeri, T., B. Al-Kloub, A. Pearman (1997). Model choice in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 97 (3), 550–560.

Ardente, F., M. Beccali, M. Cellura, M. Mistretta (2011). Energy and environmental benefits in public buildings as a result of retrofit actions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 460–470.

Asadi, E., M. Silva, C. Antunes, L. Dias (2012). Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. *Energy and Buildings*, 44, 81–87.

Bana e Costa, C., L. Ensslin, E. Corrêa, J. Vansnick (1999). Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113 (2), 315–335.

Bana e Costa, C., J. Vansnick (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, 187 (3), 1422–1428.

Bana e Costa, C., E. Beinat (2010). *Estruturação de Modelos de Análise Multicritério de Problemas de Decisão Pública*. Artigo de Investigação, 3/2010. Centro de Estudos de Gestão, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Bana e Costa, C., J. Corte, J. Vansnick (2012). MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11 (2), 359–387.

Baños, R., F. Manzano-Agugliaro, F. Montoya, C. Gil, A. Alcayde, J. Gomez (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (4), 1753–1766.

Bazmi, A., G. Zahedi (2011). Sustainable energy systems: Role of optimization modeling techniques in power generation and supply - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (8), 3480–3500.

- Beccali, M., M. Cellura, D. Ardente (1998). Decision making in energy planning: The ELECTRE multicriteria decision analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology. *Energy Conversion Management*, 39 (16–18), 1869–1881.
- Beccali, M., M. Cellura, M. Mistretta (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28 (13), 2063–2087.
- Belton, V., F. Ackerman, I. Shepherd (1997). Integrated support from problem structuring through to Alternative Evaluation using COPE and V.I.S.A.. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6 (3), 115–130.
- Bennett, P., J. Bryant, N. Howard (2001). Drama theory and confrontation analysis. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 225–248.
- Bhattacharyya, S. (1996). Applied general equilibrium models for energy studies: a survey. *Energy Economics*, 18 (3), 145–164.
- Bose, R., G. Anandalingam (1996). Sustainable Urban Energy-Environment Management with Multiple Objectives. *Energy*, 21 (4), 305–318.
- Boyle, G., H. Titheridge (1994). Modelling and Evaluating Sustainable Energy Strategies for Cities. Obtido em janeiro de 2008 de <http://www.epsrc.ac.uk/documents/programmes/evaluation/engineering/enginfb/boyle.htm>.
- Brans, J., B. Mareschal (2005). PROMETHEE Methods. In: J. Figueira, S. Greco, M. Ehrogott (Eds.). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, 163–195.
- Browne D., B. O'Regan, R. Moles (2010). Use of multi-criteria decision analysis to explore alternative domestic energy and electricity policy scenarios in an Irish city-region. *Energy*, 35 (2), 518–528.
- Bruckner, T., H. Groscurth, R. Kümmel (1997). Competition and Synergy between Energy Technologies in Municipal Energy Systems. *Energy*, 22 (10), 1005–1014.
- Buchholz T, E. Rametsteiner, T. Volk, V. Luzadis (2009). Multi criteria analysis for bioenergy systems assessments. *Energy Policy*, 37 (2), 484–495.
- Burton, J., K. Hubacek (2007). Is small beautiful? A multicriteria assessment of small-scale energy technology applications in local governments. *Energy Policy*, 35 (12), 6402–6412.

C40Cities (2012). Cities Climate Leadership Group. Obtido em fevereiro de 2012 de <http://www.c40cities.org/>.

Cai, Y., G. Huang, Z. Yang, Q. Lin, B. Bass, Q. Tan (2008). Development of an optimization model for energy systems planning in the Region of Waterloo. *International Journal of Energy Research*, 32 (11), 988–1005.

Cavallaro F, L. Ciraolo (2005). A multi-criteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy*, 33 (2), 235–244.

Cavallaro, F. (2005). *An Integrated Multi-Criteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the Promethee Method*. Working paper 22.205, Section of Commodity Science, University of Molise, Campobasso.

CEC (2005). California Energy Commission. *Sustainable Urban Energy Planning. A Roadmap for Research and Funding*. Disponível em <http://www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-102/CEC-500-2005-102.PDF>.

CESD (1997). Center of Excellence for Sustainable Development. THE ENERGY YARDSTICK: *Using PLACE3S to Create More Sustainable Communities*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy. Disponível em <http://www.smartcommunities.ncat.org/pdf/places.pdf>.

Checkland, P. (1981). *Systems Thinking Systems Practice*. Wiley, Chichester.

Checkland, P. (2001). Soft systems methodology. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 61–89.

Checkland, P., J. Poulter (2006). *Learning for Action. A short Definitive Account of Soft Systems Methodology and its use for practitioners, Teachers and Students*, Wiley, Chichester.

Checkland, P., J. Scholes (1990). *Soft Systems Methodology in Action*. Wiley, Chichester.

Checkland, P., C. Tsouvalis (1997). Reflecting on SSM: the link between root definitions and conceptual models. *Systems Research and Behavioral Science*, 14 (3), 153–168.

Chinese, D., G. Nardin, O. Saro (2011). Multi-criteria analysis for the selection of space heating systems in an industrial building. *Energy*, 36 (1), 556–565.

Chingcuanco, F., E. Miller (2011). A microsimulation model of urban energy use: Modelling residential space heating demand in ILUTE. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36 (2), 186–194.

Climaco J. (1997), *Multicriteria analysis*. Springer-Verlag, New York.

Clímaco, J., C. Antunes, M. Alves (2003). *Programação linear multiobjectivo: do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objectivo*, Coimbra, Imprensa da Universidade.

Coelho, D., C. Antunes, A. Martins (2008). Using SSM for Structuring Decision Support in Urban Energy Planning. Proceedings of IFIP TC8/WG8.3 Working Conference - International Conference on Collaborative Decision Making (CDM'08), Julho, Toulouse, França.

Coelho, D., C. Antunes, A. Martins (2009). Using SSM for structuring an MCDA model for sustainable urban energy planning. In: M. Grasserbauer, L. Sakalauskas, E. K. Zavadskas (Eds.). *Proceedings of the EURO Mini-Conference – 5th Int. Vilnius Conf. Knowledge-Based Technologies and OR Methodologies for Strategic Decisions of Sustainable Development (KORS-D-2009)*, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika, 102–107.

Coelho, D., C. Antunes, A. Martins (2010). Using SSM for structuring decision support in urban energy planning, *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (4), 641–653.

Coelho, D., C. Antunes, A. Martins (2012). A multi-criteria decision model for sorting actions in urban energy planning (submetido).

Comodi, G., L. Cioccolanti, M. Gargiulo (2012). Municipal scale scenario: Analysis of an Italian seaside town with MarkAL-TIMES. *Energy Policy*, 41, 303–315.

Connolly, D., H. Lund, B. Mathiesen, M. Leahy (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*, 87 (4), 1059–1082.

Cooperman, A., J. Dieckman, J. Brodrick (2011). Home Envelope Retrofits. *ASHRAE Journal*, June, 82–85.

Cormio, C., M. Dicorato, A. Minoia, M. Trovato (2003). A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7 (2), 99–130.

Costa, D., L. Pedro, D. Coelho (2012). Efficient space heating in a Portuguese Public Building. Replacement of a Liquefied Petroleum Gas Boiler by Heat Pump. Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12), Santiago de Compostela, Espanha.

Costa, L. (2009). *Auditoria Energética num Edifício Municipal. Estudo de Caso - Auditoria Energética na Casa Municipal da Cultura de Coimbra*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.

Daellenbach, H., (1997). Multiple criteria decision-making within Checkland's Soft Systems Methodology. In: J. Clímaco (Eds.), *Multicriteria Analysis*. Proceedings of the XI International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Springer, Berlin, 51–60.

Dementjeva, N. (2009). *Energy Planning Models Analysis and Their Adaptability for Estonian Energy Sector*. Doctoral Thesis, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia.

DGEG (2010a). Direção Geral de Energia e Geologia. Disponibilidade de Energia Elétrica para Consumo. Obtido em dezembro de 2011 de www.dgeg.pt.

DGEG (2010b). Direção Geral de Energia e Geologia. Balanço Energético 2010. Obtido em dezembro de 2011 de www.dgeg.pt.

DGEG (2011). Direção Geral de Energia e Geologia. Petróleo, gás natural e carvão. Estatísticas rápidas. Obtido em dezembro de 2011 de www.dgeg.pt.

DGEG (2012). Direção Geral de Energia e Geologia. Estatísticas e Preços – Energia Elétrica. Obtido em julho de 2011 de www.dgeg.pt.

Diakaki, C. E. Grigoroudis, K. D. Kolokotsa (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 40 (9), 1747–1754.

Diakoulaki, D., C. Antunes, A. Martins (2005). MCDA and Energy Planning. In: J. Figueira, S. Greco, M. Ehrogott (Eds.). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, 859–890.

Diakoulaki D, F. Karangelis (2007). Multi-criteria decision analysis and cost benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (4), 716–727.

Dias, L. (2000). *A Informação Imprecisa e os Modelos Multicritério de Apoio à Decisão: identificação e uso de conclusões robustas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra.

Dias, L., V. Mousseau, J. Figueira, J. Clímaco (2002). An Aggregation/Disaggregation Approach to Obtain Robust Conclusions with ELECTRE TRI, *European Journal of Operational Research*, 138 (2), 332–348.

Dias, L., V. Mousseau (2003). IRIS –Interactive Robustness analysis and parameters’Inference for multicriteria Sorting problems (Version 2.0). *Research Report 1/2003*, INESC Coimbra.

Duarte, A., D. Coelho, N. Tomás (2010). Photovoltaic Integration in Buildings. A Case Study in Portugal. *Advances in Energy Planning, Environmental Education and Renewable Energy Sources*, Tunisia, 119–123.

Eden, C., F. Ackermann (2001). SODA – the principles. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 21–41.

Espie, P., G. Ault, G. Burt, J. McDonald (2003). Multiple criteria decision making techniques applied to electricity distribution system planning. *IEE Proceedings-Generation Transmission Distribution*, 150 (5), 527–535.

European Commission (2010a). *Rehabilitation of the existing housing stock in the European Union and other European Countries*. 18th Informal Housing Ministers Meeting, Toledo, June, 21st.

European Commission (2010b). *How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Commission (2012). *Covenant of Mayors*. Obtido em fevereiro de 2012 de <http://www.eumayors.eu/>.

Feng, Y., L. Zhang (2012). Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 632–644.

Fial, A. (2011). *Metodologia para Análise Energética de Edifícios de Serviços*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.

Fielden, D., J. Jackes (1998). Systemic approach to energy rationalisation in island communities. *International Journal of Energy Research*, 22 (2), 107–129.

Figueira, J., V. Mousseau, B. Roy (2005). ELECTRE Methods. In: J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Eds.). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, 133–153.

Fleiter, T., E. Worrell, W. Eichhammer (2011). Barriers to energy efficiency in industrial bottom-up energy demand models—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (6), 3099–3111.

Franco, A., G. Montibeller (2009). *Problem Structuring for Multi-Criteria Decision Analysis Interventions*. The London School of Economics and Political Science, Working Paper OR 09 – 115, ISSN 2041-4668.

Friend, J. (2001). The strategic choice approach. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 115–149.

Georgiou, I. (2008). Making decisions in the absence of clear facts. *European Journal of Operational Research*, 185 (1), 299–321.

Georgopoulou, E., D. Lalas, L. Papagiannakis (1997). A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: the case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, 103 (1), 38–54.

Georgopoulou, E., Y. Sarafidis, D. Diakoulaki (1998). Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation. *European Journal of Operational Research*, 109 (2), 483–500.

Georgopoulou, E., Y. Sarafidis, S. Mirasgedis, S. Zaimi, D. Lalas (2003). A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector. *European Journal of Operational Research*, 146 (1), 199–215.

Ghafghazi, S., T. Sowlati, S. Sokhansanj, S. Melin (2010). A multicriteria approach to evaluate district heating system options. *Applied Energy*, 87 (4), 1134–1140.

Gomes, J. (2010). *Auditoria Energética num Edifício Escolar - Auditoria Energética na Escola Tecnológica Artística e Profissional de Pombal*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.

Gordo, E. (2010). *Manutenção e Gestão de Instalações*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.

Greening, L., S. Bernow (2004). Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making. *Energy Policy*, 32 (6), 721–735.

- Haluza, M., J. Machacek (2011). Multi-Criteria Analysis (MCDA) for Evaluation of Intelligent Electrical Installation. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 1 (4), 94–99.
- Hamm, A. (2007). *Methodology and Modelling Approach for Strategic Sustainability Analysis of Complex Energy-Environment Systems*. Doctoral Thesis, University of Canterbury.
- Haralambopoulos, D., H. Polatidis (2003). Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable Energy*, 28 (6), 961–973.
- Haurant, P., P. Oberti, M. Muselli (2011). Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. *Energy Policy*, 39 (2), 676–688.
- Henao, F., J. Cherni, P. Jaramillo, I. Dyrer (2012). A multicriteria approach to sustainable energy supply for the rural poor. *European Journal of Operational Research*, 218 (3), 801–809.
- Hiremath, R., S. Shikha, N. Ravindranath (2007). Decentralized energy planning; modeling and application—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (5), 729–752.
- Hobbs, B. (1995). Optimisation methods for electric utility resource planning. *European Journal of Operational Research*, 83 (1), 1–20.
- Hobbs, B., G. Horn (1997). Building public confidence in energy planning: A multimethod MCDM approach to demand-side planning at BC gas. *Energy Policy*, 25 (3), 357–375.
- Hobbs B., P. Meier (2000). *Energy decisions and the environment: a guide to the use of multicriteria methods*. Norwell. Kluwer.
- IAEA (2009). *Tools and Methodologies for Energy System Planning and Nuclear Energy System Assessments*. IAEA, Austria. Disponível em <http://www.iaea.org/INPRO/publications/INPROPESS-brochure.pdf>.
- ICLEI (2009). Local Governments for Sustainability, UNEP, and UN-Habitat. *Sustainable Urban Energy Planning. A handbook for cities and towns in developing countries*. Disponível em <http://www.uncsd2012.org/content/documents/Sustainable%20Urban%20Energy%20Planning.pdf>.
- IEA (2008). *World Energy Outlook 2008*. OECD/IEA. ISBN: 978-92-64-04560-6.

IEA (2011). *Interactions of Policies for Renewable Energy and Climate*. OECD/IEA Publications, 2011, Paris.

INE (2011a). Censos 2011. Resultados Provisórios. ISSN 2182-4215. Ed. Instituto Nacional de Estatística.

INE (2011b). *Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010*. ISSN 2182-0139. Ed. Instituto Nacional de Estatística e Direção-Geral de Energia e Geologia.

IEA (2000). *A Guidebook for Advanced Local Energy Planning*. Ed. R. Jank, Bietigheim-Bissingen, Germany.

Jardim, F (2009). *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção, Universidade do Minho.

Jebaraj, S., S. Iniyar (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (4), 281–311.

Jones, P., J. Williams, S. Lannon (2000). Planning for a Sustainable City: An Energy and Environmental Prediction Model. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43 (6), 855–872.

Kablan, M. (2004). Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy*, 32 (10), 1151–1158.

Kagiannas, A., T. Didis, T. Dimitris, J. Psarras (2003). Strategic appraisal of energy models for Mozambique. *International Journal of Energy Research*, 27 (2), 173–186.

Kaya, T., C. Kahraman (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: the case of Istanbul. *Energy*, 35 (6), 2517–27.

Kaya, T., C. Kahraman (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 38 (6), 6577–6585.

Keeney, R. (1992). *Value-Focused Thinking*, Harvard.

Keeney, R., H. Raiffa (1976). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-off*. Wiley.

Keeney, R., R. Gregory (2005). Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives. *Operations Research*, 53 (1), 1–11.

- Keeney, R. (2007). Enquadramento de Decisões de Política Pública. Em Carlos H. Antunes e Luís C. Dias (Coord). *Decisão. Perspetivas interdisciplinares*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 173–210.
- Keirstead, J., C. Calderon (2012). Capturing spatial effects, technology interactions, and uncertainty in urban energy and carbon models: Retrofitting Newcastle as a case-study. *Energy Policy*, 46, 253–267.
- Keirstead, J., M. Jennings, A. Sivakumar (2012). A review of urban energy system models: approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6), 3847–3866.
- Kowalski, K., S. Stagl, R. Madlener, I. Omann (2009). Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multi-criteria analysis. *European Journal of Operational Research*, 197 (3), 1063–1074.
- Lemos, J. (2010). *Auditoria Energética num Edifício Escolar - Auditoria Energética nas instalações da Escola Profissional de Tondela*, Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.
- Lin, J., B. Cao, S. Cui, W. Wang, X. Bai (2010). Evaluating the effectiveness of urban energy conservation and GHG mitigation measures: The case of Xiamen city, China. *Energy Policy*, 38(9), 5123–5132.
- Lindenberger, D., T. Bruckner, R. Morrison, H.-M. Groscurth, R. Kümmel (2004). Modernization of local energy systems. *Energy*, 29 (2), 245–256.
- Løken, E. (2007). Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1584–1595.
- Løken, E., A. Botterud, A. Holen (2009). Use of the equivalent attribute technique in multi-criteria planning of local energy systems. *European Journal of Operational Research*, 197 (3), 1075–1083.
- Lund, H., N. Duic, G. Krajacic, M. Carvalho (2007). Two energy system analysis models: A comparison of methodologies and results, *Energy*, 32 (6), 948–954.
- Madlener, R., S. Stagl (2005). Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation. *Ecological Economics*, 53 (2), 147–167.
- Managenergy (2011). *Sharing success. Local approaches to energy efficiency and renewable energy*, 2011 edition, www.managenergy.net.

- Manfren, M., P. Caputo, G. Costa (2011). Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: Methods and models. *Applied Energy*, 88 (4), 1032–1048.
- MAOTDR (2007). Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. *Metodologias de Avaliação dos Impactos Económicos das Políticas de Ambiente e de Energia*. Ed. Departamento de Prospetiva e Planeamento e Relações Internacionais.
- Martinez, L., J. Lambert, C. Karvetski (2011). Scenario-informed multiple criteria analysis for prioritizing investments in electricity capacity expansion. *Reliability Engineering and System Safety*, 96 (8), 883–891.
- McIntyre, J., M. Pradan (2003). A Systemic Approach to Addressing the Complexity of Energy Problems. *Systemic Practice and Action Research Science*, 16 (3), 153–168.
- Mendes, G., C. Ioakimidisa, P. Ferrão (2011). On the planning and analysis of Integrated Community Energy Systems: A review and survey of available tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4836–4854.
- Messner, S., L. Schrattenholzer (2000). MESSAGE-MACRO: Linking an Energy Supply Model with a Macroeconomic Model and Solving It Interactively. *Energy*, 25 (3), 267–282.
- Mingers, J., J. Rosenhead (2001). An overview of related methods: VSM, system dynamics, and decision analysis. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 267–288.
- Mingers, J., J. Rosenhead (2004). Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152 (3), 530–554.
- Monk, A., S. Howard (1998). The Rich Picture: A tool for Reasoning About Work Context. *Interactions*, Mar–Apr, 21–30.
- Mousseau, V., L. Dias (2002), Valued outranking relations in Electre providing manageable disaggregation procedures, *Cahier du LAMSADE*, N°. 189, Université Paris-Dauphine.
- Mousseau, V., Slowinski, R., Zielniewicz, P., (2000). A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. *Computers and Operations Research*, 27 (7–8), 757–777.

Munda, G. (2006). A NAIADÉ based approach for sustainability benchmarking. *Environmental Technology and Management*, 6 (1-2), 65–78.

Nakata, T., D. Silva, M. Rodionov (2011). Application of energy system models for designing a low-carbon society. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37 (4), 462–502.

Neves, A., V. Leal (2010). Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2723–2735.

Neves, L., A. Martins, C. Antunes, L. Dias (2004). Using SSM to rethink the analysis of energy efficiency initiatives. *Journal of the Operational Research Society*, 55, 968–975.

Neves, L., A. Martins, C. Antunes, L. Dias (2008). A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency. *Energy Policy*, 36 (7), 2351–2363.

Ngai, E., K. Chester, V. Ching, L. Chan, M. Lee, Y. Choi, P. Chai (2012). Development of the conceptual model of energy and utility management in textile processing: A soft systems approach. *International Journal of Production Economics*, 135 (2), 607–617.

Nigim, K, N. Munier, J Green (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. *Renewable Energy*, 29, 1775–91.

Nilsson, J., A. Martensson (2003). Municipal energy-planning and development of local energy-systems *Applied. Energy*, 76 (1–3), 179–187.

Omam, I. (2004). *Multi-criteria Decision Aid as an Approach for Sustainable Development-Analysis and-Implementation*. Doctoral Dissertation, Graz University.

Ouyang, J., C.Wang, H. Li; K. Hokao (2011). A methodology for energy-efficient renovation of existing residential buildings in China and case study. *Energy and Buildings*, 43 (9), 2203–2210.

Pandey, R. (2002). Energy Policy modelling: Agenda for developing countries. *Energy Policy*, 30 (2), 97-106.

Papadopoulos, A., A. Karagiannidis (2008). Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega* 36 (5), 766–776.

Patlitzianas, K., K. Ntotas, H. Doukas, J. Psarras (2007). Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states. *Energy Conversion and Management*, 48 (3), 890–897.

- Phdungsilp, A. (2010). Integrated energy and carbon modeling with a decision support system: Policy scenarios for low-carbon city development in Bangkok. *Energy Policy*, 38 (9), 4808–4817.
- Pietrapertosa, F., C. Cosmi, M. Macchiato, G. Marmo, M. Salvia (2003). Comprehensive modelling for approaching the Kyoto targets on a local scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7 (3), 249–270.
- PNAER (2010). Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis. Disponível em http://ec.europa.eu/energy/renewables/transparency_platform/doc/national_renewable_energy_action_plan_portugal_en.pdf.
- Pohekar, S., M. Ramachandran (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4), 365–381.
- Polatidis, H., D. Haralambopoulos, G. Munda (2006). Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision. Analysis Technique for Renewable Energy Planning. *Energy Sources*, Part B (1), 181–193.
- Rad, F. (2011). *On Sustainability in Local Energy Planning*. Doctoral Thesis, Lund University, Sweden.
- Ramachandra, T. (2009). RIEP: Regional integrated energy plan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2), 285–317.
- Ribeiro, F., P. Ferreira, M. Araújo (2011). The inclusion of social aspects in power planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (9), 4361– 4369.
- Rodrigues, M. (2011). *Energias Renováveis em Edifícios Residenciais - Análise de diferentes sistemas de Microgeração*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra.
- Rosenhead, J. (1989). *Rational Analysis for a Problematic World*. Wiley, Chichester.
- Rosenhead, J. (1996). What's the problem. An introduction to problem structuring methods. *Interfaces*, 26 (6), 117–131.
- Rosenhead, J. (2001). Robustness analysis: Keeping your options open. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 181–207.

Rosenhead, J. (2006). Past, present and future of problem structuring methods. *Journal of the Operational Research Society*, 57 (7), 759–765.

Rosenhead, J., J. Mingers (2001). A new paradigm of analysis. In: J. Rosenhead, J. Mingers (Eds.). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, second ed., Uncertainty and Conflict Wiley, Chichester, 1–19.

Roy, B. (1985). *Méthodologie Multicritère D'Aide à la Décision*, Economica. Paris.

Roy, B., D. Bouyssou (1993). *Aide multicritère à la décision: Methodes et cas*. Economica, Paris.

Saaty, T. (1997). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15 (3), 234–281.

Schlenzig, C. (1997). Energy and environmental management at urban scale: using MESAP as matrix/observatory for the EXPO'98, Energy in Urban Spaces - The EXPO'98 Case, Lisboa, Portugal.

Schlenzig C., A. Reuter (1996). MESAP – III. An information and decision support system for energy and environmental planning. In: *Operations Research and Environmental Management*, 155–200. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Scott, J., W, Ho, P. Dey (2012). A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy*, 42 (1), 146–156.

Sola, A., C. Mota (2012). A multi-attribute decision model for portfolio selection aiming to replace technologies in industrial motor systems. *Energy Conversion and Management*, 57, 97–106.

Suganthi, L., A. Samuel (2012). Energy models for demand forecasting – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2), 1223–1240.

Sundberg, G., B. Karlsson (2000). Interaction effects in optimising a municipal energy system. *Energy*, 25 (9), 877–891.

Terrados J, G. Almonacid, P. Pérez-Higueras (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (8), 2022–2030.

Tsoukiàs, A. (2007). Da Teoria da Decisão à Metodologia de Ajuda à Decisão. Em Carlos H. Antunes e Luís C. Dias (Coord). *Decisão. Perspetivas interdisciplinares*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 95–149.

Tsoutsos, T., M. Drandaki, N. Frantzeskaki, E. Iosifidis, I. Kiosses (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37 (5), 1587–1600.

Tsuji, K., N. Chiba (1998). Multiobjective evaluation of appropriate energy systems for urban areas. *International Journal of Global Energy Issues*, 11 (1–4), 171–177.

UN (2012). Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects. Obtido em fevereiro de 2012 em <http://esa.un.org/wup2009/unup/>.

van Beeck, N. (2003). *A New Decision Support Method for Local Energy Planning in Developing Countries*. Doctoral Thesis. Tilburg.

von Winterfeldt, D., B. Fasolo (2009). Structuring decision problems: A case study and reflections for practitioners. *European Journal of Operational Research*, 199 (3), 857–866.

Voropai, N., E. Ivanova (2002). Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 24 (1), 71–78.

Vrachopoulos, M., M. Koukou, D. Stavlas, V. Stamatopoulos, A. Gonidis, E. Kravvaritis (2012). Testing reflective insulation for improvement of buildings energy efficiency. *Central European Journal of Engineering*, 2(1), 83–90.

Wang, J., Y. Jing, C. Zhang C-F, J. Zhao (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (9), 2263–2278.

Weijermars, R., P. Taylor, O. Bahn, S. Ranjan Das, Y. Wei (2012). Review of models and actors in energy mix optimization e can leader visions and decisions align with optimum model strategies for our future energy systems?. *Energy Strategy Reviews*, 1 (1), 5–18.

Wilkens, I., P. Schmuck (2012). Transdisciplinary Evaluation of Energy Scenarios for a German village using Multi Criteria Decision Analysis. *Sustainability*, 4 (4), 604–629.

World Bank (2009). Development Research Group Environment and Energy Team. *Energy Demand Models for Policy Formulation. A Comparative Study of Energy Demand Models*. Policy Research Working Paper 4866.

Wright, G., P. Goodwin (1999). Future-Focussed Thinking: Combining Scenario Planning with Decision Analysis. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8 (6), 311–321.

Yamaguchi, Y., Y. Shimoda, M. Mizuno (2007). Proposal of a modeling approach considering urban form for evaluation of city level energy management. *Energy and Buildings*, 39 (5), 580–592.

Yoon, K., C. Hwang (1995). *Multiple Attribute Decision-Making: An Introduction*. Sage Publications, London.

Yu, W. (1992). ELECTRE TRI: *Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation*. Document du LAMSADE 80, Université Paris-Dauphine.

Zhou, P, B. Ang, K. Poh (2006). Decision analysis in energy and environmental modeling: an update. *Energy*, 31(14), 2604–2622.

Zia, H., V. Devadas (2007). Energy management in Lucknow city. *Energy Policy*, 35 (10), 4847–4868.