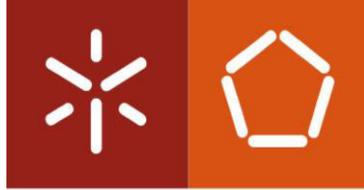




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Miguel Ramos da Costa Amorim

**Desenvolvimento de uma ferramenta de
apoio à decisão multicritério**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Miguel Ramos da Costa Amorim

**Desenvolvimento de uma ferramenta de
apoio à decisão multicritério**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação de
Anabela Tereso

Dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Deixo o meu agradecimento a todas pessoas que tornaram este projeto possível, em especial:

À minha família para que a minha vida seja melhor.

A todos os meus amigos que estiveram comigo durante este longo trajeto.

À professora Anabela Tereso pela oportunidade e por toda a paciência e dedicação.

Às pessoas que mais contribuíram para mais de 1900 horas de dedicação: Gaben, IceFrog, Erik Johnson.

RESUMO

Hoje em dia a grande concorrência que existe entre empresas e a facilidade de escrutínio pelo público em geral tornam a tomada de decisão uma área crítica quer para empresas como para entidades públicas. A escolha entre várias alternativas possíveis é um problema que surge diariamente nos vários sectores de atividade, e torna-se necessária a criação de ferramentas que auxiliem esta tomada de decisão.

Esta tese de mestrado tem como objetivo fazer uma atualização do estado da arte no que diz respeito a técnicas de decisão multicritério, bem como a ferramentas informáticas que implementem essas técnicas. Com base nesta revisão, foi possível melhorar uma ferramenta de apoio à decisão, o BeSmart, um software de utilização intuitiva que permite auxiliar o processo de decisão em problemas multicritério.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de Decisão Multicritério, Sistema de Suporte à Decisão, AHP, SMART, Funções de Valor

ABSTRACT

In today's world, due to the big competition between companies and the ease of access to information by the public, decision making is a critical area for both firms and public entities. Choosing between various possible alternatives is a problem that comes up daily in a lot of activity sectors, and it becomes necessary the development of tool to aid decision making.

The objective of this master's thesis is to make an updated revision of the state of the art in multicriteria decision techniques and in informatics tools that implement these techniques. Based on this study, it was possible to improve a decision support tool, BeSmart, a software of intuitive utilization that aids the decision making process in multicriteria problems.

KEYWORDS

Multicriteria Decision Analysis, Decision Support System, AHP, SMART, Value Functions

ÍNDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introdução | 1 |
| 1.1 | Contextualização e Enquadramento | 1 |
| 1.2 | Motivações e Objetivos | 2 |
| 1.3 | Metodologia Utilizada | 2 |
| 1.4 | Organização do Relatório | 3 |
| 2. | Teoria de decisão..... | 5 |
| 2.1 | Introdução à teoria de decisão..... | 5 |
| 2.2 | O que esperar da ajuda à decisão? | 9 |
| 2.3 | Paradigma de análise de decisão..... | 10 |
| 2.4 | Problemas de decisão | 12 |
| 2.5 | Conceitos da teoria de decisão | 12 |
| 3. | Decisão multicritério | 16 |
| 3.1 | Introdução à decisão multicritério | 16 |
| 3.2 | Modelação de preferências..... | 18 |
| 3.3 | Métodos de ADM..... | 18 |
| 3.3.1 | Escola Americana ou MAUT | 19 |
| 3.3.2 | Escola Francesa | 20 |
| 3.4 | Ferramentas de Software de ADM | 21 |
| 3.4.1 | Estruturação qualitativa de problemas..... | 21 |
| 3.4.2 | Decisões com múltiplos atributos..... | 22 |
| 3.4.3 | Decisão com múltiplos objetivos | 23 |
| 3.4.4 | Problemas de ordenação | 24 |
| 3.4.5 | Decisão em grupo | 25 |
| 3.4.6 | Aplicações específicas | 26 |
| 4. | Desenvolvimento do software BeSmart 2..... | 27 |
| 4.1 | Software BeSmart | 27 |
| 4.2 | Especificação do software desenvolvido | 28 |
| 4.3 | Linguagem de programação e ferramentas utilizadas..... | 30 |
| 4.4 | Elementos principais do software..... | 31 |

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 4.4.1 | Categorias | 31 |
| 4.4.2 | Cr terios | 32 |
| 4.4.3 | Alternativas..... | 34 |
| 4.5 | M todos e c culos utilizados | 34 |
| 4.5.1 | Pesos diretos..... | 35 |
| 4.5.2 | Fun es de valor | 35 |
| 4.5.3 | SMART | 38 |
| 4.5.4 | AHP | 39 |
| 4.5.5 | C culos globais..... | 42 |
| 4.5.6 | An lise de sensibilidade..... | 44 |
| 5. | Utiliza o do software | 47 |
| 5.1 | Instala o | 47 |
| 5.2 | Novo modelo..... | 48 |
| 5.2.1 | Categorias | 49 |
| 5.2.2 | Cr terios | 50 |
| 5.2.3 | Alternativas..... | 53 |
| 5.3 | Grava o e leitura do modelo | 55 |
| 5.4 | Nova compara o | 55 |
| 5.4.1 | Escolha das alternativas | 55 |
| 5.4.2 | Menu compara o..... | 56 |
| 5.5 | M todos..... | 57 |
| 5.5.1 | Pesos diretos..... | 58 |
| 5.5.2 | Fun es de valor | 58 |
| 5.5.3 | AHP | 59 |
| 5.5.4 | SMART | 60 |
| 5.6 | Resultados | 61 |
| 5.6.1 | Vista geral | 61 |
| 5.6.2 | Vista detalhada | 63 |
| 5.6.3 | An lise de sensibilidade..... | 64 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 6. Conclusões e trabalho futuro..... | 65 |
| 6.1 Conclusões | 65 |
| 6.2 Trabalho Futuro | 66 |
| Referências Bibliográficas | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 - Problema de decisão simples de levar o guarda-chuva..... | 6 |
| Figura 2.2 - Exemplo de problema de decisão complexo (Havlicek et al., 2007) | 7 |
| Figura 2.3 - Resumo do processo de decisão | 8 |
| Figura 2.4 - Parte de árvore de decisão..... | 10 |
| Figura 2.5 - Exemplo de hierarquia de objetivos | 15 |
| Figura 3.1 - Exemplo de problema de decisão simples | 16 |
| Figura 4.1 - Software BeSmart | 27 |
| Figura 4.2 - Diagrama de classes UML do software BeSmart2 | 29 |
| Figura 4.3 - Diagrama de casos de uso | 30 |
| Figura 4.4 - Janela do Visual Studio 2013 com parte do código | 31 |
| Figura 4.5 - Hierarquia do modelo-exemplo 1 | 32 |
| Figura 4.6 - Exemplo de critério com escala numérica | 33 |
| Figura 4.7 - Exemplo de critério com escala discreta | 33 |
| Figura 4.8 - Exemplo de critério com escala binária..... | 33 |
| Figura 4.9 - Hierarquia do modelo-exemplo 2..... | 34 |
| Figura 4.10 - Exemplo de gráfico de função de valor com $\alpha = 1$ | 38 |
| Figura 5.1 - Menu de instalação da ferramenta BeSmart2 | 47 |
| Figura 5.2 - Ícone do BeSmart2 | 48 |
| Figura 5.3 - Menu inicial do software antes da criação do modelo..... | 48 |
| Figura 5.4 - Janela para inserir o objetivo principal | 49 |
| Figura 5.5 - Menu de adicionar nova categoria | 49 |
| Figura 5.6 - Menu de modificar e remover critérios e categorias | 50 |
| Figura 5.7 - Criação de um novo critério com escala numérica | 50 |
| Figura 5.8 - Criação dum novo critério com escala discreta | 51 |
| Figura 5.9 - Criação de um novo critério com escala binária | 52 |
| Figura 5.10 - Menu que permite a inserção de valores para novos critérios..... | 52 |
| Figura 5.11 - Menu de edição das alternativas | 53 |
| Figura 5.12 - Menu principal após criação do modelo..... | 54 |
| Figura 5.13 - Tabela de alternativas no menu principal com vista de valores..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.14 - Janela de escolha de alternativas para comparação..... | 56 |
| Figura 5.15 - Menu comparação | 57 |
| Figura 5.16 - Inserção de pontuações diretas para um critério..... | 58 |
| Figura 5.17 - Definição de parâmetros de uma função de valores | 59 |
| Figura 5.18 - Inserção de pesos AHP para uma categoria..... | 60 |
| Figura 5.19 - Inserção de pesos SMART para um critério..... | 60 |
| Figura 5.20 - Janela com os valores das alternativas | 61 |
| Figura 5.21 - Vista geral dos resultados..... | 62 |
| Figura 5.22 - Vista geral dos resultados dividida por critérios | 62 |
| Figura 5.23 - Vista detalhada de resultados de um critério..... | 63 |
| Figura 5.24 - Vista detalhada de resultados de uma categoria | 63 |
| Figura 5.25 - Vista de análise de sensibilidade | 64 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Exemplos de critérios no problema de decisão de escolha do melhor carro | 17 |
| Tabela 3.2 - Métodos da Escola Americana | 19 |
| Tabela 3.3 - Métodos da Escola Francesa | 20 |
| Tabela 3.4 - Software de estruturação qualitativa de problemas..... | 21 |
| Tabela 3.5 - Software de decisão com múltiplos critérios..... | 22 |
| Tabela 3.6 - Software de decisão com múltiplos objetivos..... | 24 |
| Tabela 3.7 - Software de problemas de ordenação | 24 |
| Tabela 3.8 - Software para decisão em grupo..... | 25 |
| Tabela 3.9 - Software para uso em aplicações específicas | 26 |
| Tabela 4.1 - Valores do modelo-exemplo 2 | 34 |
| Tabela 4.2 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Disponibilidade | 35 |
| Tabela 4.3 - Exemplo de cálculo de valor linear para uma escala discreta | 36 |
| Tabela 4.4 - Exemplo de cálculo de valor linear para uma escala numérica | 37 |
| Tabela 4.5 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Média | 38 |
| Tabela 4.6 - Exemplo de atribuição de pontos SMART | 39 |
| Tabela 4.7 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Área de Estudo | 39 |
| Tabela 4.8 - Valores de preferências em matrizes AHP ((Tereso, 2009) , adaptado de Saaty (1980)). | 40 |
| Tabela 4.9 - Matriz de preferências AHP da categoria Melhor Candidato | 40 |
| Tabela 4.10 - Matriz de preferências AHP com colunas normalizadas..... | 40 |
| Tabela 4.11 - Pesos atribuídos à categoria Melhor Candidato | 41 |
| Tabela 4.12 - Tabela de índices aleatórios ((Tereso, 2009), adaptado de Saaty (1980)) | 42 |
| Tabela 4.13 - Conversão de pesos para percentagem do ideal..... | 43 |
| Tabela 4.14 - Normalização de pesos | 43 |
| Tabela 4.15 - Valores pré-cálculo na categoria Melhor Candidato..... | 43 |
| Tabela 4.16 - Pontuações finais de cada alternativa na categoria Melhor Candidato..... | 44 |
| Tabela 4.17 - Pesos na categoria Melhor Candidato | 45 |
| Tabela 4.18 - Pontuações globais de cada alternativa após alteração do peso de um dos critérios | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AD – Ajuda à Decisão

ADM – Análise de Decisão Multicritério

AHP – Analytic Hierarchy Process

IA – Índice Aleatório

IC – Índice de Consistência

MAUT – Multi-Attribute Utility Theory (Teoria da Utilidade Multiatributo)

TC – Taxa de Consistência

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Enquadramento

A decisão tem inspirado reflexão por parte de muitos filósofos e intelectuais desde a antiguidade. É muitas vezes sugerido que a capacidade humana para a decisão é aquilo que nos distingue dos restantes animais. Com a evolução dos tempos, evoluiu também a necessidade de tomar uma maior quantidade de decisões de cada vez. Tendo em conta a concorrência que existe entre as empresas, cada decisão, por mais simples que pareça, pode resultar numa vantagem, que pode fazer a diferença em relação aos outros concorrentes.

A capacidade de tomar estas decisões é uma qualidade fundamental, mas os problemas de decisão são cada vez mais complexos e em grande volume. Como todos já pudemos constatar em certas ocasiões, tomar a melhor decisão pode ser uma tarefa bastante difícil, seja devido à incerteza, ao longo do período de tempo sobre o qual terá efeito, às decisões tomadas pelos vários concorrentes ou simplesmente à sua grande complexidade.

“A tomada de decisão é um esforço para tentar resolver problemas com objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz à procura do melhor compromisso” (Zeleny & Cochrane, 1982). Tomar uma decisão irá resultar em investimentos de tempo e dinheiro, que por vezes não serão recuperáveis. Um dos maiores erros cometidos pelos decisores é a tendência a “fazer escolhas de modo a justificar decisões anteriores, ainda que estas já não pareçam mais válidas” (Hammond et al., 1999). É importante lembrar que as influências das decisões irão recair sobre o futuro, e não sobre o passado.

Torna-se então importante garantir que as decisões tomadas são racionais e não são resultados de preconceitos naturais da mente, tal como a sua tendência a dar mais relevância à primeira informação que se recebe (Hammond et al., 1999). A teoria da decisão surgiu então como o estudo do processo de tomada de decisão, e deu origem a vários métodos de apoio à decisão, nomeadamente os métodos de Análise de Decisão Multicritério (ADM).

Devido ao volume cada vez maior de informação envolvida no processo de tomada de decisão, propõe-se a realização de um projeto de investigação relacionado com a ADM, que resulte na obtenção de uma ferramenta informática que implemente uma variedade de métodos e que permita o seu acesso ao utilizador comum.

1.2 Motivações e Objetivos

A tomada de decisão é um processo que por vezes se torna complexo sem a ajuda de ferramentas informáticas. Nesse sentido, este trabalho têm como objetivo a melhoria de um software que permite a resolução de problemas de decisão por indivíduos e empresas. O tema de investigação desta tese de mestrado foi sugerido pela professora Anabela Tereso, docente do Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho.

O projeto iniciou com uma pesquisa bibliográfica, em que se realizou um levantamento das principais técnicas e ferramentas para a análise de decisão multicritério. O objetivo desta fase foi perceber a teoria da decisão e comparar as principais técnicas e métodos, bem como perceber o que está implementado nas ferramentas atuais de decisão multicritério.

Depois de feito este levantamento, procedeu-se à implementação de melhorias num software de análise de decisão genérico, que permite a aplicação dos métodos e técnicas estudadas anteriormente na resolução de problemas de decisão. Por fim, foi feito um teste desta ferramenta e uma discussão dos resultados obtidos.

Tendo isto em conta, os objetivos do projeto foram:

- Atualização do estado da arte relativamente aos métodos e ferramentas de apoio à decisão multicritério.
- Criação de uma ferramenta informática com base em ferramentas criadas anteriormente e que permita a aplicação de métodos de decisão multicritério em problemas genéricos.
- Teste do software criado e discussão dos resultados obtidos.

1.3 Metodologia Utilizada

Neste projeto utilizou-se a metodologia de investigação documental e experimentação (Saunders et al., 2011). A investigação será desenvolvida numa abordagem dedutiva, ou seja, a ferramenta a ser construída será relacionada com a literatura revista: o software a desenvolver irá aplicar os métodos analisados no levantamento efetuado na área da decisão multicritério.

A pesquisa bibliográfica iniciou-se com a leitura da sebenta de Técnicas de Decisão Multicritério da Doutora Anabela Tereso (Tereso, 2009), para obter uma primeira abordagem ao tema da teoria da decisão e à decisão multicritério, e da dissertação de Mestrado da Mestre Cristina Seixedo (Seixedo, 2009), para ter um ponto de partida para uma atualização do estado da arte das ferramentas de software de decisão multicritério.

Seguidamente, recorreu-se a várias fontes diferentes para obter mais literatura relacionada com o tema:

- Fontes terciárias através da pesquisa na internet, nomeadamente nos seguintes motores de busca:
 - Google Académico (<http://scholar.google.com>).
 - Repositório da UM (<http://repositorium.sdum.uminho.pt>).
 - Driver (<http://www.driver-community.eu>).
 - Elsevier (<http://www.elsevier.com>).
 - Wiley InterScience (<http://www.interscience.wiley.com>).
 - ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com>).
- Fontes secundárias da biblioteca da Universidade do Minho.
- Obtenção de literatura importante referenciada em livros e artigos de revistas científicas entretanto lidos.

No desenvolvimento da ferramenta de software, foi tomado como base a ferramenta BeSmart (Tereso et al., 2011) e foram melhoradas as suas características, tendo em conta as técnicas e ferramentas de software mais atuais, descobertos durante a pesquisa bibliográfica.

1.4 Organização do Relatório

Este relatório está dividido em seis capítulos, que serão descritos em seguida.

No primeiro capítulo é feita uma introdução, contextualização e enquadramento do tema da dissertação, são apresentados os objetivos de investigação, a metodologia e a estrutura do relatório.

No segundo capítulo é feita uma introdução à teoria de decisão, explicando qual é o seu papel. É também feita uma análise do paradigma de decisão e são apresentados os vários problemas e conceitos base relacionados.

No terceiro capítulo é apresentada uma revisão sobre a teoria da decisão multicritério, explicando como é feita a modelação das preferências, são apresentados vários métodos de análise de decisão multicritério bem como alguns pacotes de software criados com base nesses métodos.

No quarto capítulo é apresentado o processo de desenvolvimento da ferramenta informática, desde a linguagem de programação utilizada até aos elementos principais e cálculos efetuados pela ferramenta.

No quinto capítulo mostra-se um exemplo prático de utilização da ferramenta, incluindo a sua instalação, criação de um novo modelo e realização de cálculos e comparações.

No último capítulo são retiradas conclusões do trabalho realizado e apresentam-se propostas para trabalho futuro.

2. TEORIA DE DECISÃO

Neste capítulo será feita uma introdução à teoria de decisão que servirá como base para o capítulo seguinte sobre Análise de Decisão Multicritério.

2.1 Introdução à teoria de decisão

Quando estamos perante um problema que possui mais do que uma alternativa de solução estamos perante um problema de decisão. Para ilustrar alguns aspetos importantes da decisão, podemos recorrer a duas passagens de intelectuais da antiguidade. Esta primeira passagem faz parte de “Exercícios Espirituais” de S. Inácio de Loyola (Loyola, 1964, p. 90).

“Para considerar quantas vantagens e utilidades trará para mim a ocupação do cargo ou benefício (...) e, considerar da mesma forma, pelo contrário, as desvantagens e perigos que surgem no mesmo. Fazer o mesmo na segunda parte, isto é, olhar para as vantagens e utilidades de não ocupar o cargo, e pelo contrário, as desvantagens e perigos de não o ter.[...] Após discussão e ponderação de ambos os lados da proposta, devo olhar para onde a razão se inclina: e então, de acordo com a maior inclinação da razão, [...] deve ser feita uma deliberação.”

A segunda passagem surge numa carta escrita por Benjamin Franklin (MacCrimmon, 1973, p. 18).

“Neste assunto de muita importância para si em que pede o meu conselho, eu não posso, por falta de premissas suficientes, aconselhar qual a sua decisão, mas posso dizer como a tomar. [...], o meu método é dividir meia folha de papel com uma linha em duas colunas; escrevendo no topo de uma Prós, e na outra Contras. [...] Quando estiverem todas preenchidas, eu tento estimar os respetivos pesos; onde eu encontro duas, uma em cada lado, que pareçam iguais, eu risco as duas. Se encontrar uma razão pró igual a duas razões contra, eu corto as três. Se julgar duas razões contra iguais a três razões pro, eu corto as cinco; e assim procedendo até descobrir onde pesa mais a balança; e se, após um ou dois dias de consideração, nada de novo de importância surja em nenhum dos lados, eu tomo a decisão de acordo.”

Em ambas as passagens podemos ver que a decisão está fortemente relacionada com a comparação de diferentes pontos de vistas, alguns a favor e outros contra uma certa decisão. No nosso dia-a-dia podemos encontrar vários exemplos de problemas de decisão: “Qual o casaco a vestir?”, “Ir ao cinema ou ao futebol?” e de seguida, se a decisão for ir ao cinema, “Qual o filme a ver?”. Estes problemas são considerados problemas de decisão simples, como o exemplo da Figura 2.1. Neste exemplo, temos apenas uma decisão a tomar, “Levar guarda-chuva?”, e dois acontecimentos possíveis, “Chove” ou “Não chove”, o que resulta em quatro resultados diferentes.

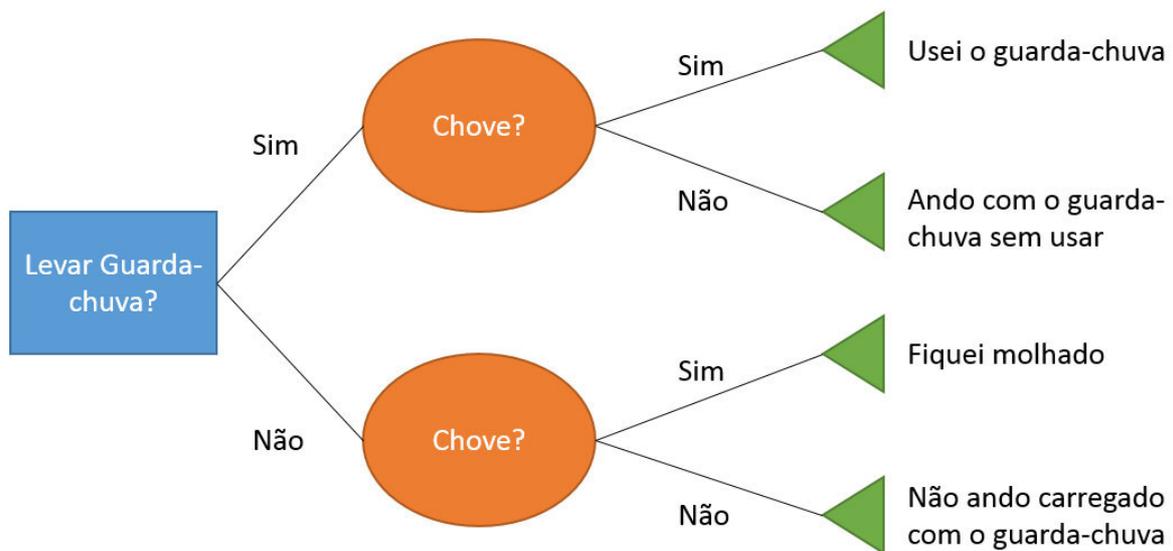


Figura 2.1 - Problema de decisão simples de levar o guarda-chuva

Os problemas de decisão complexos são aqueles em que existem vários objetivos que entram em conflito com os restantes, e como tal não é fácil e é por vezes impossível encontrar uma decisão ótima: torna-se necessário encontrar a melhor relação possível entre os objetivos. Um exemplo de problema complexo é, num contexto empresarial, decidir sobre a construção de uma nova unidade de produção, qual a quantidade a produzir, qual o pessoal a contratar para essa unidade e qual o preço de venda dos produtos, com o objetivo de maximizar o lucro, e simultaneamente minimizar stocks e o impacto ambiental da nova unidade.

A Figura 2.2 mostra um exemplo de um problema complexo. A primeira decisão a tomar é introduzir ou não o produto no mercado. Caso se escolha introduzir, existem dois acontecimentos possíveis, a introdução ou não de um produto concorrente. Tendo essa informação, é necessário decidir se o preço será alto, médio ou baixo. Por fim, caso tenha sido introduzido um produto concorrente, existem três

acontecimentos possíveis respeitantes ao preço desse produto. No total existem então 13 possíveis resultados distintos.

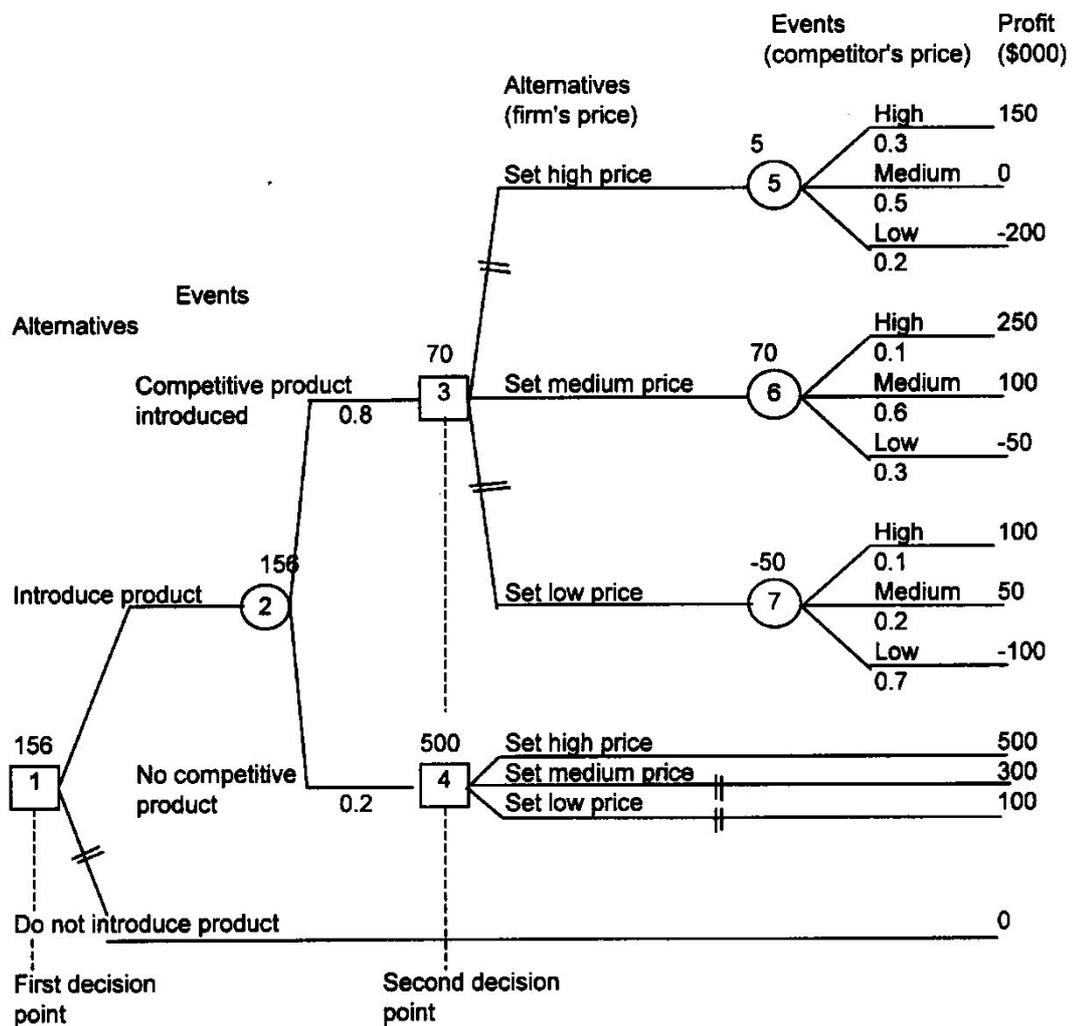


Figura 2.2 - Exemplo de problema de decisão complexo (Havlicek et al., 2007)

Para resolver um problema de decisão é normalmente seguido um conjunto sistemático de procedimentos.

Em primeiro lugar é necessário identificar as várias alternativas de decisão. No problema do guarda-chuva, as alternativas são apenas duas: levar ou não levar o guarda-chuva. No problema da escolha do filme a ver, as alternativas serão o conjunto de filmes em exibição no cinema.

Em segundo lugar é necessário verificar se todas as alternativas respeitam as restrições impostas, e eliminar as que não as cumprem. Estas restrições podem ser de várias naturezas: no caso da escolha

do filme poderá haver a restrição de ser um filme “M-12”, devido à idade de uma das pessoas; na escolha de um automóvel para comprar, pode haver a restrição de um preço máximo que se tem disponibilidade para pagar.

Por final, são definidos os critérios de avaliação, ou seja, os aspetos relevantes a ter em conta quando se vai tomar uma decisão. Por exemplo, na escolha do filme, alguns critérios poderão ser o género, a duração, a possibilidade de ver em 3D, etc. Na escolha de um automóvel podemos ter o consumo de combustível, a potência do motor, o número de lugares, a quantidade de extras, etc. A Figura 2.3 faz um resumo deste processo.

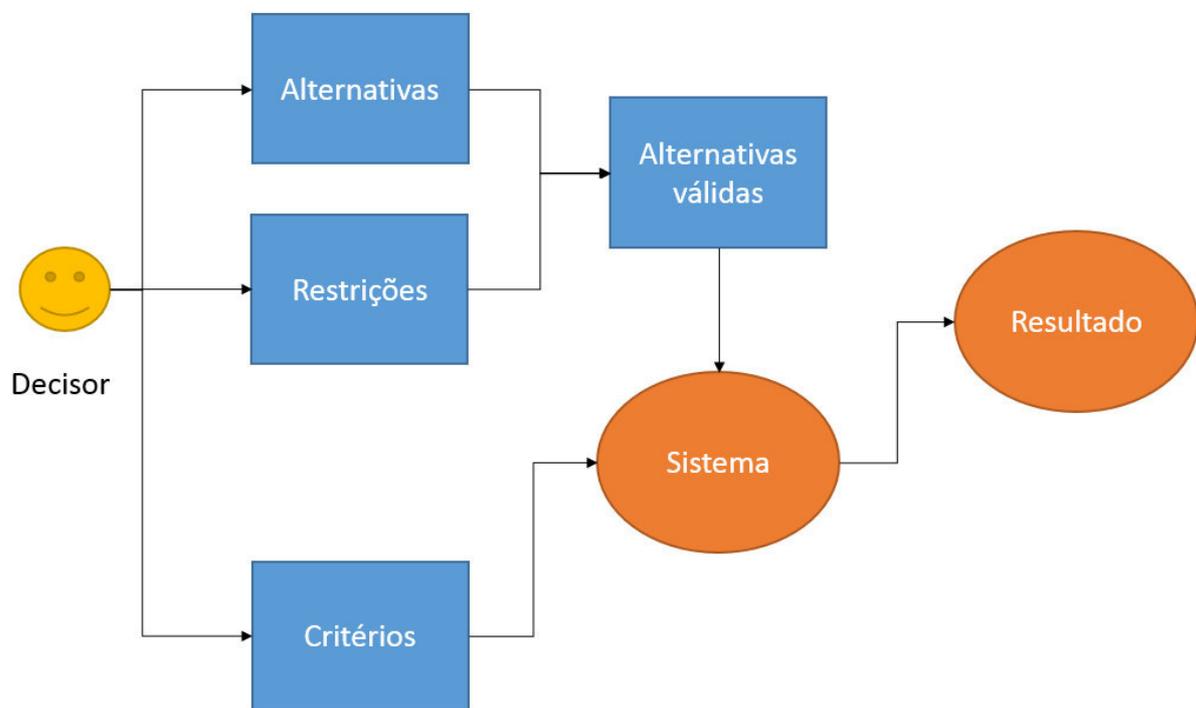


Figura 2.3 - Resumo do processo de decisão

Nas situações do dia-a-dia, as decisões são tomadas de forma informal, seguindo de forma geral os passos descritos. No entanto, em situações mais complexas ou em decisões tomadas em ambiente empresarial, é necessário seguir um procedimento formal que garanta a consistência do processo e justifique as opções tomadas. Na secção 2.3 será definido formalmente o paradigma de análise de decisão.

2.2 O que esperar da ajuda à decisão?

Pode-se definir a ajuda à decisão (AD) como a atividade da pessoa que, através do uso de métodos explícitos mas não necessariamente completamente formalizados, ajuda a obter elementos de resposta para as questões de um participante num processo de decisão (Bernard Roy, 1996). Estes elementos visam clarificar a decisão e recomendar um comportamento que aumente a consistência entre a evolução do processo, os objetivos do participante e o sistema de valores. É importante reforçar o termo “recomendar”, pois é necessário ter em conta que o decisor é livre de tomar qualquer comportamento após esta recomendação ser feita.

Assim definida, a AD visa, com base em princípios reconhecidos, a apresentação de soluções satisfatórias, elementos de resposta ou compromissos possíveis, que depois serão submetidos ao julgamento do decisor e/ou aos vários atores envolvidos no processo de tomada de decisão. Neste caso, a AD pode contribuir para:

- Analisar o contexto de tomada de decisão ao identificar os atores, as várias possibilidades de ação, as suas consequências, etc.
- Organizar e estruturar como o processo de tomada de decisão se vai desenrolar de forma a aumentar a coerência entre os valores associados aos objetivos e à decisão final.
- Levar à cooperação entre atores através de termos para melhor compreensão mútua e um quadro mais favorável ao debate.
- Elaborar recomendações utilizando resultados obtidos através de modelos e procedimentos computacionais concebidos dentro dum quadro de uma hipótese funcional.
- Participar na legitimação da decisão final.

Em alguns casos, aqueles que tentam objetivamente clarificar uma decisão, estão de facto a defender, consciente ou inconscientemente, uma posição definida anteriormente ou uma hipótese que tentam justificar (Armstrong, 1979). Mesmo só considerando as situações em que a AD é motivada por um desejo de objetividade, é importante ter em conta que existem algumas limitações fundamentais a esta objetividade, originadas nos seguintes factos:

- A divisória entre o que é ou não exequível nem sempre é bem definida em contextos de decisão reais, e é frequentemente alterada com base no que é descoberto através do próprio estudo.
- Mesmo nos casos em que existe um decisor claramente identificado, nem sempre as suas preferências estão bem formadas. Entre as zonas de convicções firmes, existem zonas de

incerteza e crenças pouco convictas, que podem levar a efeitos imprevisíveis e indetetáveis aquando da interação com o analista.

- Muitos dados são imprecisos, incertos ou mal definidos, e existe a possibilidade de lhes dar um significado mais importante do que o real.
- Em geral, é impossível dizer se uma decisão é boa ou má com base apenas num modelo matemático. Aspetos organizacionais, pedagógicos e culturais, que levam à decisão, também contribuem para a sua qualidade e sucesso.

2.3 Paradigma de análise de decisão

Formalmente, o paradigma de análise de decisão pode ser definido em cinco etapas (Keeney & Raiffa, 1993):

Pré-análise

A análise de decisão ocorre quando existe um agente de decisão que está indeciso quanto à decisão a tomar, face a um determinado problema. Nesta etapa identifica-se o problema bem como as diferentes alternativas possíveis de ação a tomar.

Análise estrutural

Nesta fase é feita uma estruturação do problema pelo agente de decisão. São definidas quais as decisões que pode tomar já, quais as decisões que pode deixar para o futuro, que informação obtém no momento, qual informação irá ter no futuro, etc.

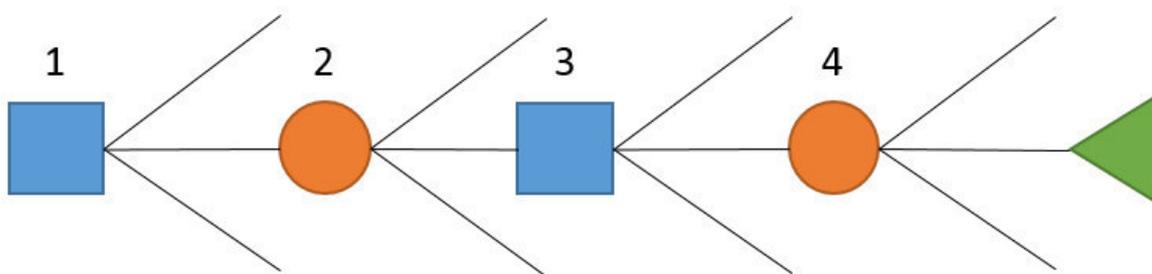


Figura 2.4 - Parte de árvore de decisão

O esquema da Figura 2.4 é uma árvore de decisão, que representa visualmente este tipo de estrutura. Os nós de decisão são aqueles que estão sob o controlo do agente de decisão e são representados por quadrados (1 e 3); os nós de acaso são aqueles fora do seu controlo, e são representados por círculos (2 e 4). O triângulo no final representa uma consequência.

Análise de incerteza

O agente de decisão atribui probabilidades a cada acontecimento possível associado aos nós de acaso. Cada um destes nós representa cada um dos possíveis acasos ou resultados que resultam desse acontecimento fora do controlo do agente de decisão. A atribuição destas probabilidades deve ser feita de acordo com o problema em questão, utilizando técnicas adequadas, dados passados, modelos de simulação, e opiniões de peritos ou do próprio agente de decisão. Por exemplo, no caso do problema do guarda-chuva da figura 2.1, a probabilidade de chover ou não poderia ser atribuída com base no boletim meteorológico.

Utilidade ou análise de valor

O agente de decisão atribui valores de utilidade a cada consequência associada a um caminho na árvore de decisão. A cada caminho na árvore estão associados, num problema real, vários custos e benefícios socioeconómicos que afetam o agente de decisão ou outros indivíduos envolvidos no problema. No caso do guarda-chuva, o primeiro caminho tem o custo de levar o guarda-chuva e o benefício de não se molhar. O agente de decisão deve codificar as preferências em termos de um valor de utilidade, de forma a permitir a utilização do critério de máxima utilidade esperada para a resolução do problema.

Análise de otimização

Depois da estruturação do problema e da atribuição de probabilidades e utilidades, o agente de decisão irá determinar a estratégia ótima, que será aquela que maximiza a utilidade esperada. Esta estratégia indica quais as ações a seleccionar em cada nó de decisão. O critério da máxima utilidade esperada consiste em calcular, para cada nó de decisão, qual o valor esperado de cada decisão tendo em conta a utilidade das consequências possíveis e a probabilidade associada a cada uma, e escolher o nó de decisão com maior valor esperado.

2.4 Problemas de decisão

Os problemas de decisão podem ser formulados de várias formas, ou segundo uma definição mais formal, podem estar enquadrados em várias problemáticas. É importante referir que a análise de decisão pode ser utilizada para outros fins que não apenas na perspectiva de resolução de um problema. Em alguns casos, o objetivo é apenas elaborar um conjunto de ações, criar um conjunto adequado de critérios e determinar, para algumas ou todas as alternativas, a sua performance. Este tipo de problemática é chamado de problemática de descrição ou cognição ($P.\delta$).

Para além desta problemática, os problemas de análise de decisão podem ainda ser categorizados em três outras problemáticas distintas (Roy, 1996):

- Problemática de escolha ($P.\alpha$): neste tipo de problemas o objetivo será a seleção de um conjunto pequeno de boas alternativas, de forma a se poder escolher uma única alternativa a recomendar.
- Problemática de classificação ($P.\beta$): neste caso o objetivo é atribuir cada alternativa a uma das categorias pré-estabelecidas, que poderão estar ordenadas ou não.
- Problemática de ordenação ($P.\gamma$): em casos de ordenação, o objetivo do problema é clarificar a decisão através de uma ordenação completa ou parcial das alternativas, que permite a sua comparação.

2.5 Conceitos da teoria de decisão

Depois da apresentação formal da teoria de decisão e dos vários problemas associados, será agora feita uma apresentação dos conceitos base que serão utilizados no próximo capítulo.

Decisores

O(s) decisor(es) ou agente(s) de decisão é(são) a(s) pessoa(s) ou grupo de pessoas que realiza(m) escolhas e que assume(m) preferências como um todo. O processo de decisão depende dos decisores, que apresentam valores diferentes, influenciados por cultura, religião, formação ou até a própria cultura organizacional onde estão inseridos.

Analista

O analista é a entidade que tem o papel de selecionar o modelo a ser utilizado, obter informações necessárias para o modelo, interpretar os resultados e explicar aos decisores o mecanismo do modelo escolhido (Rogers et al., 2000).

Modelo

O modelo é uma representação de um problema real, que utiliza um conjunto de operações matemáticas para transformar os gostos e as opiniões dos decisores de forma a obter um resultado. Os modelos podem ser descritivos – representam o que os decisores fazem; ou normativos – representam o que os decisores devem fazer.

Ator

O ator é uma pessoa ou um grupo de pessoas que num processo de decisão influenciam direta ou indiretamente a decisão (Bana e Costa, 1995).

Alternativa

Uma alternativa ou ação potencial é aquilo que constitui o objeto de decisão ou aquilo ao qual o processo de decisão é dirigido. O processo de definição das alternativas é por vezes dos passos mais difíceis num processo de tomada de decisão. O conceito de alternativa corresponde ao caso particular em que a modelação implica que duas ações potenciais não podem ser executadas simultaneamente, o que é assumido implicitamente pela maioria dos autores, mas não é obrigatório (Figueira et al., 2005).

Sendo assim, o conjunto de alternativas, representado por A , é o conjunto das decisões que serão avaliadas num determinado momento do processo de decisão. O conjunto pode ser definido através de enumeração, quando é um conjunto finito, ou por caracterização as suas propriedades quando é um conjunto infinito ou de grande dimensão. Pode ainda ser um conjunto estável quando é definido a priori e não sofre alterações, ou evolutivo quando se altera durante o processo.

Formalmente, uma alternativa deve ser caracterizada, para além da sua designação, pelos seus atributos, que a irão definir completamente no ponto de vista da decisão. É assumido que o conjunto das alternativas é apenas composto por aquelas que respeitam as restrições definidas para o problema.

Critérios

Os critérios são ferramentas que permitem comparar as várias ações e alternativas em relação aos pontos de vista do agente de decisão. É importante que os critérios sejam independentes uns dos outros e devem ser também apropriados para o problema em particular. Ao selecionar um conjunto de critérios devemos ter em conta que este deve ser:

- Completo: deve cobrir todos os aspetos importantes do problema e todos os pontos de vista.
- Operacional: deve poder ser utilizado na análise.
- Decomponível: deve permitir a divisão do problema em partes, de forma a simplificar o processo de avaliação.
- Não redundante: deve evitar que uma característica seja contada mais que uma vez.
- Mínimo: deve manter o problema o mais pequeno possível.

Voltando à definição de critério, a avaliação das alternativas deve ter em conta todos os efeitos permanentes ou atributos ligados ao ponto de vista considerado: chamamos a esta avaliação a performance em relação ao critério. Esta é medida normalmente em números reais, mas pode ser necessário definir explicitamente o conjunto de todas as possíveis avaliações. Por exemplo, tanto podemos medir um custo em euros, como podemos definir um critério como o conforto dentro de categorias: “Excelente”, “Bom”, “Razoável”, “Fracó”, “Mau”. Podemos distinguir vários tipos de escalas:

- Escalas qualitativas ou puramente ordinais: escalas onde a diferença entre dois níveis diferentes não tem um significado claro em termos de diferentes preferências. Tanto podem ser escalas verbais ou escalas numéricas em que a mesma diferença entre valores não representa uma diferença invariante nas preferências.
- Escalas quantitativas: escalas numéricas onde os níveis estão definidos através duma quantidade definida de forma clara e concreta, cujo significado é facilmente extraído.
- Outros tipos de escalas intermédias, entre os dois tipos apresentados, também podem ser utilizados (Roy & Martel, 2006).

É sempre importante ter em conta qual o tipo de escala com que se está a trabalhar de forma a poder utilizar os seus níveis de forma significativa. É importante também lembrar que para algumas escalas, existem certos tipos de lógicas e operações aritméticas que têm importância em termos de preferências.

Objetivos

Definidos os critérios, é necessário definir quais se devem maximizar ou minimizar e a que níveis. Os objetivos tomam então em consideração as necessidades ou desejos do agente de decisão, e representam as suas orientações de preferência para os critérios. Por exemplo, “preço” e “potência” são critérios, e “minimizar o custo” e “maximizar a potência” são objetivos. Como podemos ver por este exemplo, os objetivos podem ser conflituosos: carros com maior potência são também por norma mais caros. Existem casos em que se pode melhor simultaneamente dois objetivos, mas existem situações em que só podemos melhorar um objetivo à custa de outro.

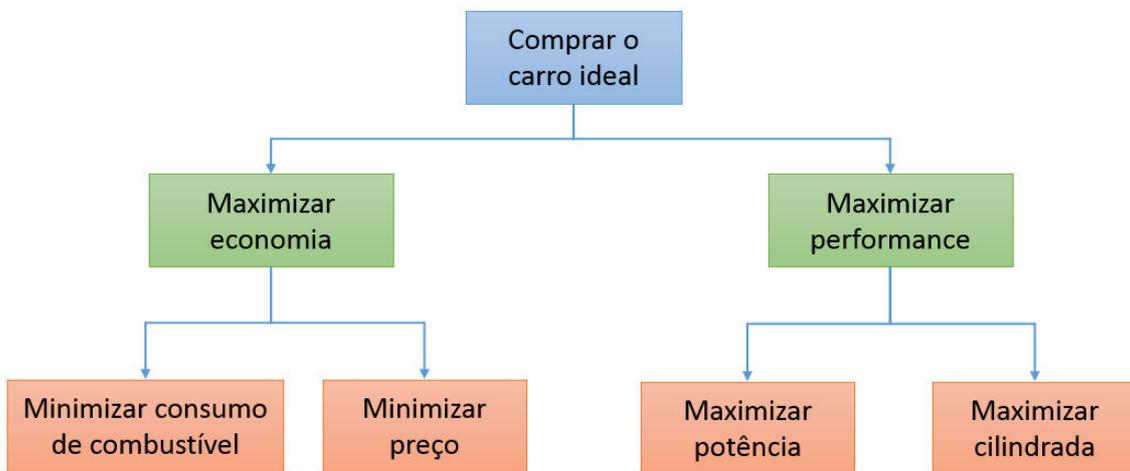


Figura 2.5 - Exemplo de hierarquia de objetivos

No dia-a-dia, ao pensar nos objetivos de um problema, é comum criar uma hierarquia de objetivos, permitindo a sua estruturação (Figura 2.5). Começando por um objetivo genérico ou fundamental, faz-se a divisão ou especificação do mesmo em objetivos de mais baixo nível, até estarmos perante objetivos diretamente relacionados com critérios. É necessário ter o cuidado de não aumentar a hierarquia para dimensões demasiado grandes, evitando introduzir objetivos pouco relevantes para o problema.

3. DECISÃO MULTICRITÉRIO

Neste capítulo será feita uma revisão bibliográfica da análise de decisão multicritério (ADM). Será feita uma introdução, seguida de uma apresentação dos vários métodos e das várias ferramentas de software existentes.

3.1 Introdução à decisão multicritério

Antes de começarmos o estudo de decisão multicritério, é preciso fazer a distinção entre problemas simples e problemas multicritério. Os problemas simples são aqueles em que é possível atribuir objetivamente um único número a cada consequência possível. Vamos ilustrar este tipo de problemas com o exemplo da Figura 3.1.

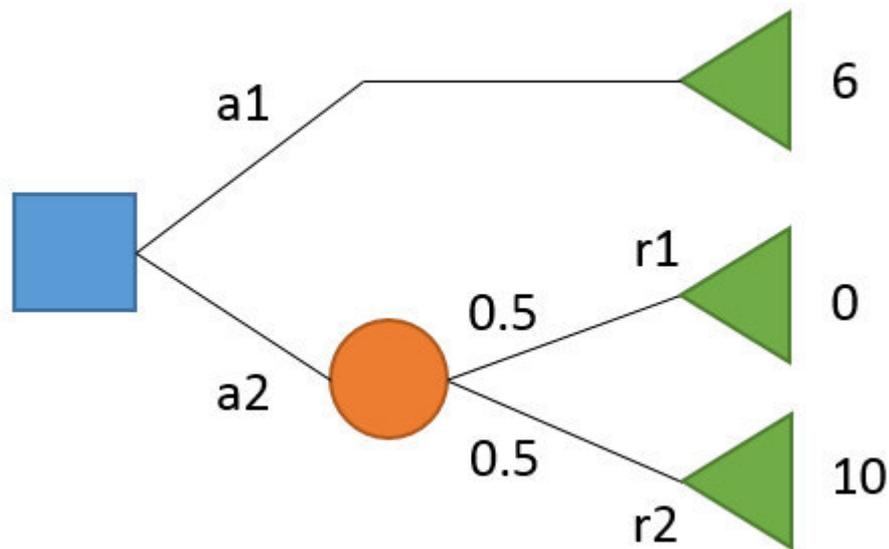


Figura 3.1 - Exemplo de problema de decisão simples

Neste exemplo temos duas possíveis escolhas a1 e a2, e com base nas probabilidades e na utilidade de cada consequência, podemos calcular os valores esperados de cada uma delas:

$$e(a1) = 6$$

$$e(a2) = 0 \times 0.5 + 10 \times 0.5 = 5$$

A decisão a tomar neste caso seria a1, pois tem um valor esperado de utilidade superior.

As dificuldades surgem quando a decisão se baseia em vários critérios, normalmente conflituosos. Nestes casos normalmente não é possível encontrar uma alternativa que seja melhor que as outras em todos os critérios simultaneamente. Torna-se necessária a intervenção do agente de decisão para chegar a uma conclusão, através duma conjugação das suas preferências com os atributos considerados para as várias alternativas. Pode-se dizer então que nos problemas multicritério não existe objetivamente uma solução ótima: existe apenas uma solução preferida, que pode variar entre agentes de decisão, dependendo da importância que dão a cada critério.

Tabela 3.1 - Exemplos de critérios no problema de decisão de escolha do melhor carro

| Critério | Objetivo | Escala |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Preço | Minimizar | € |
| Consumo | Minimizar | l/100km |
| Conforto | Maximizar | (Excelente, Bom, Médio, Fraco, Mau) |
| Segurança | Maximizar | Estrelas (1-5) |
| Cilindrada | Maximizar | Cm ³ |
| Potência | Maximizar | Cavalos |
| Velocidade Máxima | Maximizar | Km/h |

Facilmente se compreende que pode não existir um critério único bem definido a priori, quer exista um único ou principalmente quando existem muitos agentes de decisão. É necessário ter em consideração os vários pontos de vista associados ao problema, como por exemplo, finanças, recursos humanos, aspetos ambientais, etc. Considerando cada ponto de vista separadamente, é geralmente possível obter uma expressão de preferências claras e concisas, permitindo associar um critério a cada ponto de vista pertinente.

Poder-se-ia optar por uma abordagem monocritério, através da criação de uma única escala com uma unidade de medida comum para todos os critérios, que teria de ser introduzida a priori. No entanto, esta abordagem poderia levar a:

- Negligenciar erradamente alguns aspetos da realidade.
- Facilitar a criação de equivalências cuja natureza fictícia permanece invisível.

- Tender a apresentar características de um sistema de valores em particular como objetivo.

Por outro lado, uma abordagem multicritério contribui para evitar estes perigos através de:

- Delimitação do vasto espectro de pontos de vista que irão estruturar o processo de decisão relacionando com os atores envolvidos.
- Construção de um conjunto de critérios que preserve, para cada um deles e sem conversão fictícia, o significado original concreto das avaliações correspondentes.
- Facilita o debate sobre o papel que cada critério poderá vir a ter durante o processo de decisão.

3.2 Modelação de preferências

Uma das fases mais importantes na análise de decisão multicritério é a fase da agregação de preferências, que consiste na construção de um sistema de preferências usando procedimentos de agregação multicritério.

É importante estabelecer as relações de preferência, fazer a sua explicitação clara e a sua interpretação. Estas podem ser divididas em quatro situações binárias (Roy, 1996):

- Indiferença ($a \ I \ b$): há razões que justificam a indiferença na escolha entre as duas alternativas.
- Preferência estrita ($a \ P \ b$): existem fatores que provam o favorecimento da alternativa a em relação à alternativa b .
- Preferência fraca ($a \ Q \ b$): existe dúvida entre ($a \ I \ b$) e ($a \ P \ b$).
- Incomparabilidade ($a \ J \ b$): não existem razões que justifiquem nenhuma das situações anteriores.

3.3 Métodos de ADM

Depois de feita a introdução à ADM vamos então apresentar alguns dos métodos multicritério existentes. A maioria dos autores divide estes métodos em três famílias de abordagens (Vincke, 1992):

- Escola Americana ou Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT).
- Escola Francesa/Europeia ou Métodos de Subordinação e Síntese.
- Métodos Interativos ou de Programação Matemática Multiobjectivo.

Nesta secção será feita uma breve apresentação dos principais métodos das Escolas Americana e Francesa. Na secção 4.5 serão apresentados os cálculos associados a alguns dos métodos apresentados.

3.3.1 Escola Americana ou MAUT

A Escola Americana, baseada na teoria da utilidade, foi a linha de pensamento pioneira na decisão multicritério. Os métodos desta escola caracterizam-se por auxiliar o decisor a construir uma função utilidade representativa das suas preferências. A tabela 3.1 lista os principais métodos desta escola.

Tabela 3.2 - Métodos da Escola Americana

| Método | Descrição |
|------------------------------|--|
| AHP | O Analytic Hierarchic Process é um método baseado em comparações entre alternativas e na medição de preferências com base no uso de escalas. Decompõe o problema em níveis hierárquicos, facilitando a sua compreensão e avaliação (Saaty, 1980). |
| MACBETH | Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique. É um método de comparação que utiliza escalas ordinais por intervalo. As licitações de preferências são realizadas usando seis referências semânticas introduzidas numa matriz que garante a consistência das mesmas (Bana e Costa & Vansnick, 1997). |
| Ponto Médio | Método para construção de funções utilidade (Chankong & Hamies, 1983). |
| Programação por Metas | Exige que o decisor declare a sua preferência indicando a meta que deseja alcançar. Permite ordenar todas as alternativas a partir da distância de cada uma delas em relação a essa meta (Lee, 1972). |
| Smarts | Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings. Auxilia a construção de funções de utilidade aproximando-as por funções lineares (Edwards & Barron, 1994). |
| Smarts Intervalar | Auxilia a construção de funções de utilidade introduzindo nelas a imprecisão dos julgamentos do decisor (Mustajoki et al., 2005). |
| Smarter | Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks. Método similar ao Smarts que aproxima as funções de utilidade por funções lineares e estima o peso de cada critério por uma técnica chamada Rank Order Centroid (Edwards & Barron, 1994). |
| TODIM | Tomada de Decisão Interativa Multicritério. Método multicritério baseado na Teoria dos Prospetos (Gomes et al., 2004). |
| UTA | Os métodos UTA (Utilités Additives) procuram inferir uma ou mais funções de valor aditivas através de uma dada ordenação num conjunto de referência, utilizando técnicas especiais de programação linear (Jacquet-Lagrange & Siskos, 1982). Existem muitas variantes deste método, que foram comparadas em (Beuthe & Scannella, 2001). |
| UTADIS | Utilités Additives Discriminantes. Classifica alternativas em categorias predefinidas pela simples comparação entre o valor da função utilidade |

global para cada alternativa e constantes usadas para delimitar cada classe (Zopounidis & Doumpos, 1999).

3.3.2 Escola Francesa

Nos métodos de decisão da Escola Francesa encontramos duas fases distintas. Numa primeira fase é feita uma comparação entre todas as alternativas, de forma a estabelecer relações de sobreclassificação. Na segunda fase essas relações são utilizadas de forma a obter uma ordenação das alternativas, uma classificação em categorias ou obter a melhor alternativa. Na tabela seguinte listam-se os principais métodos desta escola.

Tabela 3.3 - Métodos da Escola Francesa

| Método | Descrição |
|---------------------|--|
| Argus | Utiliza valores qualitativos para representar a intensidade de preferência numa escala ordinal (De Keyser & Peeters, 1994). |
| Electre I | Elimination and Choice Translating Reality. Baseia-se no conceito de concordância e discordância para construir as relações de sobreclassificação entre as alternativas. Essas relações definem um grafo a partir do qual é possível definir o menor conjunto de alternativas consideradas satisfatórias (Roy, 1968). |
| Electre II | Método usado para ordenar as alternativas da melhor até à pior, tendo como dados de entrada os resultados obtidos pelo método Electre I (Roy & Bertier, 1973). |
| Electre III | Utiliza os conceitos de relação de sobreclassificação e índice de credibilidade para ordenar as alternativas da melhor à pior (Roy, 1978). |
| Electre IV | Método usado para ordenar as alternativas, mas que oferece a vantagem de não exigir a especificação do peso de cada critério (Roy, 1991). |
| Electre Tri | Método baseado em relações de sobreclassificação usado para classificar as alternativas em categorias predefinidas, a partir da comparação entre cada alternativa e os perfis que definem os limites das categorias (Yu, 1992). |
| Evamix | O método Evamix é uma generalização da análise de concordância no caso de informação mista na avaliação de alternativas, e permite obter uma ordenação das mesmas (Voogd, 1982). |
| Oreste | Método baseado no conceito de sobreclassificação, usado para ordenar as alternativas da melhor até à pior (Roubens, 1982). |
| Promethee I | Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations. Usa o conceito de fluxo de rede da teoria de grafos para construir as relações de sobreclassificação e ordenar as alternativas da melhor até à pior. Admite situações em que a preferência do decisor é indefinida e as alternativas são consideradas incomparáveis (Brans & Vincke, 1985). |
| Promethee II | Método similar ao Promethee I que não admite julgamentos em que as alternativas são incomparáveis (Brans & Vincke, 1985). |

| | |
|--------------------|---|
| Promethee V | Método que começa por executar o Promethee II, seguido de um método de busca até se encontrar a alternativa que respeita uma série de restrições sobre o valor do fluxo de rede e que está melhor colocada na ordenação (Gomes et al., 2004). |
| Qualiflex | É um procedimento métrico baseado na avaliação de todas as possíveis permutações das alternativas consideradas (Paelinck, 1976). |
| Regime | É um método que pode ser visto como uma generalização ordinal de métodos de comparação a pares, tal como a análise de concordância (Hinloopen et al., 1983). |
| Topsis | Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. Estabelece relações de sobreclassificação entre alternativas com base nas distâncias entre cada alternativa e as soluções ideais positiva e negativa (Yoon & Hwang, 1995). |

3.4 Ferramentas de Software de ADM

Nesta secção será feita uma apresentação das várias ferramentas de software de ADM existentes. Este levantamento foi realizado com base no trabalho de Tereso e Seixedo (2010) e de Figueira et al. (2005), atualizando-o com outras ferramentas mais modernas que foram sendo desenvolvidas. As ferramentas serão divididas em seis grupos distintos: estruturação qualitativa de problemas, decisões com múltiplos atributos, decisões com múltiplos objetivos, ordenação de problemas, decisões em grupo e aplicações específicas.

3.4.1 Estruturação qualitativa de problemas

As ferramentas de software desta categoria focam-se nas fases iniciais do processo de tomada de decisão: exploração e formulação do problema.

Tabela 3.4 - Software de estruturação qualitativa de problemas

| Software | Descrição |
|--------------------------|---|
| Decision Explorer | Software orientado à organização e mapeamento de informação qualitativa para problemas complexos e mal estruturados (White & Palocsay, 1999). |

3.4.2 Decisões com múltiplos atributos

Neste tipo de software, o decisor deve escolher entre um número finito de alternativas caracterizadas por um conjunto de atributos. Estes pacotes de software estão desenhados para lidar com qualquer tipo de problema de decisão que respeite esse formato.

Tabela 3.5 - Software de decisão com múltiplos critérios

| Software | Descrição |
|---------------------------------------|--|
| BeSmart | Software académico que utiliza os métodos SMART, AHP e Funções de Valor para resolver problemas multicritério genéricos (Tereso et al., 2011). |
| Criterium Decision Plus | Software com análise gráfica de sensibilidade com base nos métodos AHP e pesos simples. Revisto em (Haerer, 2000). |
| DAM – Decision Analysis Module | Originalmente desenhado como um módulo de um software complexo, utiliza informação imprecisa sobre trade-offs na forma de intervalos (Podinovski, 1999). |
| Decision Lab | Previamente conhecido como PROMCALC, implementa o método Promethee e o método visual GAIA (Geldermann & Zhang, 2002). |
| ElecCalc | Software com interface gráfica intuitiva que permite ao utilizador exprimir preferências globais que serão utilizadas para o método Electre II. |
| Electre IS | Software que utiliza uma generalização do método Electre I que permite pseudo-critérios (http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?rubrique65). |
| Electre III-IV | Implementa os métodos Electre III e Electre IV (http://www.lamsade.dauphine.fr/spip.php?rubrique66). |
| Equity | Software com um método dividido em várias fases que permite obter o melhor valor pelo dinheiro na alocação de recursos escassos (http://www.catalyze.co.uk/index.php/software/equity3/). |
| Expert Choice | Software baseado na metodologia AHP que dá ênfase à interface fácil de utilizar e suporte à decisão em grupo. Revisto em Fernandez (1996) e em Zapatero et al. (1997). |
| Hiview | Ferramenta que dá apoio à decisão entre opções mutualmente exclusivas (http://www.catalyze.co.uk/index.php/software/hiview3). |
| Logical Decisions | Software que permite estruturação e análise de problemas de decisão com múltiplos atributos, que se foca numa interface muito apelativa. Revisto em Zapatero et al. (1997). |
| MACBETH | Software que implementa o método MACBETH (Bana e Costa & Chagas, 2004). |
| MacModel | Ferramenta baseada em árvores de decisão para problemas multicritério (http://www.civil.ist.utl.pt/~lavt/software.html). |
| M&P (MAPPACC and PRAGMA) | Implementa os métodos de sobreclassificação MAPPACC (Matarazzo, 1986) e PRAGMA (Matarazzo, 1988). |
| MIIDAS | Software baseado no método UTA II (Siskos et al., 1999). |
| MINORA | Sistema de suporte à decisão interativo baseado no método UTA (Siskos et al., 1993). |

| | |
|------------------------|--|
| Mustard | Software que implementa variantes dos métodos UTA e Quasi-UTA (Beuthe & Scannella, 1999). |
| NAIADE | Software que implementa o método NAIADÉ ("NAIADE Manual and Tutorial," 1996). |
| OnBalance | Software com uma abordagem similar ao AHP, baseada numa atribuição simples de pesos e comparações (http://www.quartzstar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=3). |
| Prefcalc | Implementação mais antiga do método UTA (Jacquet-Lagrèze, 1990). |
| PRIAM | Software que utiliza uma abordagem interativa não estruturada para encontrar a alternativa mais desejável (Levine & Pomerol, 1986). |
| PRIME Decisions | Software baseado no método PRIME que sublinha a sua capacidade de utilizar informação incompleta sobre preferências (Gustafsson et al., 2001). |
| REMBRANDT | Implementa o método REMBRANDT que requer comparações entre os vários critérios e entre as várias alternativas (Lootsma, 1992). |
| RGDB | Ferramenta que permite a seleção de itens preferidos em listas de grande tamanho, utilizando uma interface gráfica simples (http://www.ccas.ru/mmes/mmeda/rgdb/index.htm). |
| Sanna | É um add-on do Microsoft Excel que permite resolução de problemas multicritério utilizando vários métodos (WSA, Topsis, Electre I, Promethee II e MAPPACC) (Jablonský, 2001). |
| TOPSIS | Software que implementa o método TOPSIS (Yoon & Hwang, 1995). |
| UTA Plus | Implementação mais recente em ambiente Windows do método UTA. |
| VIMDA | Sistema visual de suporte à decisão multicritério (Korhonen, 1988). Revisto em Zapatero et al. (1997). |
| VIP Analysis | Software baseado em funções de valor aditivas básicas, que permite ao decisor introduzir informação imprecisa nos parâmetros de importância dos critérios (Dias & Climaco, 2000). |
| VISA | Ferramenta com uma interface gráfica intuitiva baseada em funções de valor lineares multicritério. Revisto em Zapatero et al. (1997). |
| Web-HIPRE | Software baseado no browser de internet que utiliza os métodos AHP, Funções de valor e SMART (Mustajoki & Hamalainen, 2000). |
| WINPRE | Software baseado na metodologia PAIRS que permite ao decisor estabelecer um intervalo de números para indicar preferências entre alternativas (Salo & Hämäläinen, 1995). |

3.4.3 Decisão com múltiplos objetivos

Em modelos com múltiplos objetivos, os critérios são expressos na forma de funções objetivo matemáticas que serão otimizadas. Estes modelos podem envolver funções objetivo lineares ou não lineares, e podem ter variáveis de decisão inteiras ou contínuas.

Tabela 3.6 - Software de decisão com múltiplos objetivos

| Software | Descrição |
|---|--|
| ADBASE | Software que implementa métodos de programação multiobjectivo linear para enumerar pontos extremos e arestas eficientes ilimitadas (Steuer, 1992). |
| FGM (Feasible Goals Method) | Software que permite a exploração gráfica de resultados de todas as decisões possíveis (Lotov et al., 2001). |
| FSCS (Feasible Set in Criterion Space) | Software que permite a visualização do conjunto possível de resultados no espaço de critérios para problemas não lineares (Lotov et al., 2001). |
| MultiGen | Ferramenta que incorpora um sistema de otimização e um solucionador de algoritmos heurísticos genéticos (Mirrazavi et al., 2003). |
| Multistat Optimizer | Ferramenta baseada num método de visualização para modelos por projeção (Papadrakis et al., 2003). |
| SOLVEX | Pacote de aplicações para resolução de problemas de otimização não linear sem restrições, problemas de otimização global multivariável e problemas multicritério não lineares (http://www.ccas.ru/pma/product.htm). |
| Trimap | Abordagem interativa que explora o conjunto Pareto-ótimo para modelos de programação linear com três critérios (Climaco & Henggeler Antunes, 1989). |
| Tommix | Pacote interativo e flexível que incorpora vários métodos (STEM, Zionts-Wallenius, intervalos de pesos de critérios, corrida de Pareto, Trimap) (Antunes et al., 1992). |
| VIG | Sistema de suporte à decisão visual, dinâmico e interativo, que suporta matrizes de restrições de programação linear até 96 colunas e 100 linhas (http://www.numplan.fi/vig/vigeng.htm). |
| WWW-Nimbus | Software desenhado para resolver problemas de otimização com um ou vários objetivos que possam ou não ser diferenciáveis, sujeitos a restrições lineares e não lineares com limites nas variáveis (Miettinen & Mäkelä, 2000). |

3.4.4 Problemas de ordenação

Os pacotes de software deste tipo visam classificar as alternativas em grupos ou classes predefinidas.

Tabela 3.7 - Software de problemas de ordenação

| Software | Descrição |
|--------------------|--|
| Electre Tri | Software que implementa o método Electre Tri (Yu, 1992). |
| IRIS | Sistema de suporte à decisão para classificar as alternativas em categorias ordenadas predefinidas, com base nas suas avaliações em múltiplos critérios (Dias et al., 2002). |

| | |
|----------------|---|
| Prefdis | Software baseado numa abordagem de desagregação de preferências, com várias técnicas de ordenação disponíveis (Zopounidis & Doumpos, 2000). |
| TOMASO | Ferramenta em Visual Basic para ordenação na presença de pontos de vista qualitativos interativos (Roubens, 2002). |

3.4.5 Decisão em grupo

Os programas nesta categoria lidam com a situação específica da existência de múltiplos decisores.

Tabela 3.8 - Software para decisão em grupo

| Software | Descrição |
|--------------------|--|
| AGAP | Sistema de suporte à decisão distribuído, que permite a múltiplos decisores cooperarem na avaliação e seleção de projetos de investimento. Permite utilização síncrona ou assíncrona (Costa et al., 2003). |
| Argos | Ferramenta que facilita a pequenos grupos a ordenação de projetos ou candidatos, utilizando métodos de ordenação (Colson, 2000). |
| GMCR | Sistema de suporte à decisão que permite modelar decisões estratégicas, prever soluções de compromisso e assistir no estudo de viabilidade política, económica, ambiental e social de vários cenários alternativos (Hipel et al., 1997). |
| Joint Gains | Software de suporte à negociação baseado no método de direções melhoradas (Ehtamo et al., 1999). |
| Mediator | Sistema de suporte à negociação baseado no desenho de sistemas evolucionários e com uma implementação centrada na base de dados (Jarke et al., 1987). |
| SCDAS | Ferramenta desenhada para suportar grupos que têm um objetivo comum e necessitam de trabalhar em conjunto para selecionar a melhor alternativa (Lewandowski, 1989). |
| WINGDSS | Sistema de suporte à decisão em grupo para problemas com múltiplos atributos (Csáki et al., 1995). |

3.4.6 Aplicações específicas

Estas ferramentas foram desenvolvidas com vista a aplicações muito específicas.

Tabela 3.9 - Software para uso em aplicações específicas

| Software | Aplicação |
|-----------------------------------|---|
| ACADEA | Avaliação de performance de docentes universitários (Agrell & Steuer, 2000). |
| Agent Allocator | Alocação de tarefas (Matsatsinis & Delias, 2003). |
| Auto Man | Investimentos em sistemas de manufatura automatizados (Weber & Lippiatt, 1989). |
| Bank Advisor | Análise financeira (Mareschal & Brans, 1991). |
| CASTART | Selecionar alternativas de produção de eletricidade (Gandibleux, 1999). |
| CGX | Suporte a decisões de termos de crédito em instituições não financeiras (Srinivasan & Ruparel, 1990). |
| DIDASN++ | Modelação de aplicações de engenharia (Granat, 1994). |
| Dimitra | Desenvolvimento de produtos agrícolas (Matsatsinis & Siskos, 2001). |
| ESY | Decisões durante emergências nucleares (Papamichail & French, 2000). |
| FINCLAS | Ferramentas de modelação financeira (Zopounidis & Doumpos, 1998). |
| Fineva | Avaliação de performance empresarial e viabilidade (Zopounidis et al., 1996). |
| INVEX | Seleção de projetos de investimento de capital (Vraneš et al., 1996). |
| MARKEX | Suporte a várias fases do processo de desenvolvimento de produto (Matsatsinis & Siskos, 1999). |
| Medics | Ajuda a diagnóstico médico (Bois et al., 1989). |
| Moira | Seleção de estratégias de recuperação de sistemas de água após introdução a substâncias radioativas (Insua et al., 2000). |
| SANEX | Viabilidade de adequação de sistemas sanitários (Loetscher, 2000). |
| Skills Evaluator | Avaliação das qualificações e capacidades de um indivíduo ao nível das Tecnologias de Informação (Anestis et al., 2006). |
| TELOS | Avaliação da satisfação do cliente (Grigoroudis et al., 2000). |
| Water Quality Planning DSS | Escolha de estratégias ideais de tratamento de água (Lotov et al., 1997). |

4. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE BESMART 2

Neste capítulo apresenta-se o processo de desenvolvimento do software BeSmart 2, incluindo a linguagem de programação escolhida, os elementos presentes na ferramenta e os métodos de cálculo utilizados.

4.1 Software BeSmart

A primeira versão do software BeSmart (Tereso et al., 2011) é uma ferramenta desenvolvida na linguagem C# (<http://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/hh341490.aspx>) e que implementa os métodos de decisão multicritério AHP (Saaty, 1980), SMART (Edwards & Barron, 1994) e Value Functions (Dyer & Sarin, 1979).

| ID | Name | Link | Compatible operating systems | Cost | Interaction with the user | Manuals and Tutorials | Examples through applications | On-line Help | Free version |
|----|----------------------------|---|------------------------------|------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| 1 | Decision Explorer | http://www.bentley.com/decision/ | false | 450 | good | true | true | true | true |
| 2 | Criterion Decision Plus | http://www.infoinvest.com/irood/index.asp | false | 636 | very good | true | true | true | true |
| 3 | Decision Lab | http://decisionlab.org.uk/ | false | 990 | good | true | true | true | true |
| 4 | Electre III-IV | http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221796002524 | false | 519 | acceptable | true | true | false | true |
| 5 | Electre IS | http://electre.issoftware.infores.com/ | true | 519 | good | true | true | false | false |
| 6 | Equity | http://www.catalyze.co.uk/?id=239 | true | 2143 | good | true | true | true | true |
| 7 | Expert Choice | http://www.expertchoice.com/ | false | 1955 | good | true | true | true | true |
| 8 | Hiview | http://www.catalyze.co.uk/?id=230 | true | 1100 | good | true | true | true | true |
| 9 | Logical Decisions | http://www.logicaldecisions.com/ | false | 566 | good | true | true | true | true |
| 10 | MACBETH | http://www.m-macbeth.com/en/m-home.html | true | 1750 | good | true | true | true | true |
| 11 | OnBalance | http://www.queztar.com/ | false | 640 | good | true | true | true | true |
| 12 | ProCalc | http://www.procalc.net/ | false | 0 | acceptable | false | false | false | true |
| 13 | Prime Decisions | http://www.sai.9k.fr/en/resources/decisions/tables/prime | false | 0 | good | true | true | false | true |
| 14 | SANNA | http://sanna.com.br/ | false | 0 | good | true | true | false | true |
| 15 | TOPSIS | http://www.topsis.com.br/ | false | 696 | good | true | true | true | true |
| 16 | Uta Plus | http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#uta+ | false | 519 | good | true | false | false | true |
| 17 | Vip Analysis | http://www4.fz-uc.pt/modas/english/vipa.htm | false | 0 | good | true | true | false | true |
| 18 | V.I.S.A | http://www.simu8.com/products/visa.htm | true | 350 | good | true | true | false | true |
| 19 | Winpre | http://www.sai.9k.fr/Donnees/decisions/winpre.html | false | 0 | good | true | true | false | true |
| 20 | Exgo | http://www.exgoproj.de/ | false | 2134 | very good | true | true | true | true |
| 21 | Fgm | http://www.ccas.ru/mmes/mmeda/fgm.htm | false | 0 | good | true | true | true | true |
| 22 | SolveX | http://www.ccas.ru/mmes/mmeda/product.htm | true | 0 | acceptable | true | true | false | true |
| 23 | Electre Tri | http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#TRI | false | 519 | acceptable | true | true | false | true |
| 24 | Ins | http://www4.fz-uc.pt/modas/ins.htm | false | 1000 | good | true | true | true | true |
| 25 | Automan | http://tblui.com/en/automan_software/ | false | 56 | acceptable | true | true | true | true |
| 26 | Decision Deck | http://www.decision-deck.org/ | true | 0 | good | true | false | false | true |
| 27 | Uta Visual | http://www.uta.co.uk/ | true | 0 | good | true | true | true | true |
| 28 | Moin | http://user.brown.ac.uk/~14e7230/MORA/Software.htm | false | 0 | acceptable | false | false | false | true |
| 29 | Sanes | http://www.ccas.ru/mmes/mmeda/papers/iodhoz.htm | false | 0 | very good | true | true | false | true |
| 30 | Water Quality Planning Des | http://www.ccas.ru/mmes/mmeda/papers/iodhoz.htm | false | 0 | acceptable | false | false | false | true |
| 31 | Hierarchy | http://www.queztar.com/ | false | 1969 | very bad | true | true | true | true |
| 32 | Mediator | http://www.matchware.com/en/products/mediator/ | false | 694 | good | true | true | true | true |

For new Comparison:
 1. Software is Start New Comparison (Ctrl+N)
 2. Choose between 2 up 16 software you want to be part of the decision process.
 3. Click Here.

New Software WebPage Next >

Figura 4.1 - Software BeSmart

Na versão original o software permite a comparação de até 16 alternativas, com um número ilimitado de critérios com escalas numéricas ou qualitativas. Permite ainda a gravação consistente de todos os modelos criados.

No desenvolvimento do software BeSmart 2, tomou-se como base a versão original e foram adicionadas algumas funcionalidades novas, tais como:

- Remodelação da interface gráfica para uma mais intuitiva.
- Suporte a uma hierarquia multinível de critérios.
- Análise detalhada dos resultados.
- Análise de sensibilidade dos resultados.
- Gravação de resultados e de cálculos incompletos para utilização posterior.

4.2 Especificação do software desenvolvido

Antes do desenvolvimento do software, é necessário efetuar a especificação do mesmo através de diagramas UML (http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language), nomeadamente o diagrama de classes e o diagrama de casos de uso.

O diagrama de classes (Figura 4.2) é um diagrama que descreve a estrutura do sistema, mostrando as suas classes, atributos, métodos ou operações e os relacionamentos entre os vários objetos. A ferramenta está dividida em dois grupos de classes: o grupo da camada de dados e modelo de negócio (*Business*) e o grupo de classes da interface gráfica (*Interface*).

Podemos também dividir as classes em dois grupos funcionais. No primeiro grupo temos as classes associadas com a gestão do modelo (alternativas, critérios e categorias). No lado da camada de dados, temos a classe *Manager* que contém a lista de critérios, categorias e valores das alternativas. Temos ainda a classe *Criterion* (representa um critério), *Category* (representa uma categoria), *Scale* e as suas derivadas (representam os vários tipos de escala de valores) e ainda a classe *ManagerSerializer* que efetua a gravação e leitura da classe *Manager*. Do lado da interface temos o menu principal (*Main*) e os menus associados à edição de alternativas (*AlternativeMenu*), critérios (*CriterionMenu*) e categorias (*CategoryMenu*).

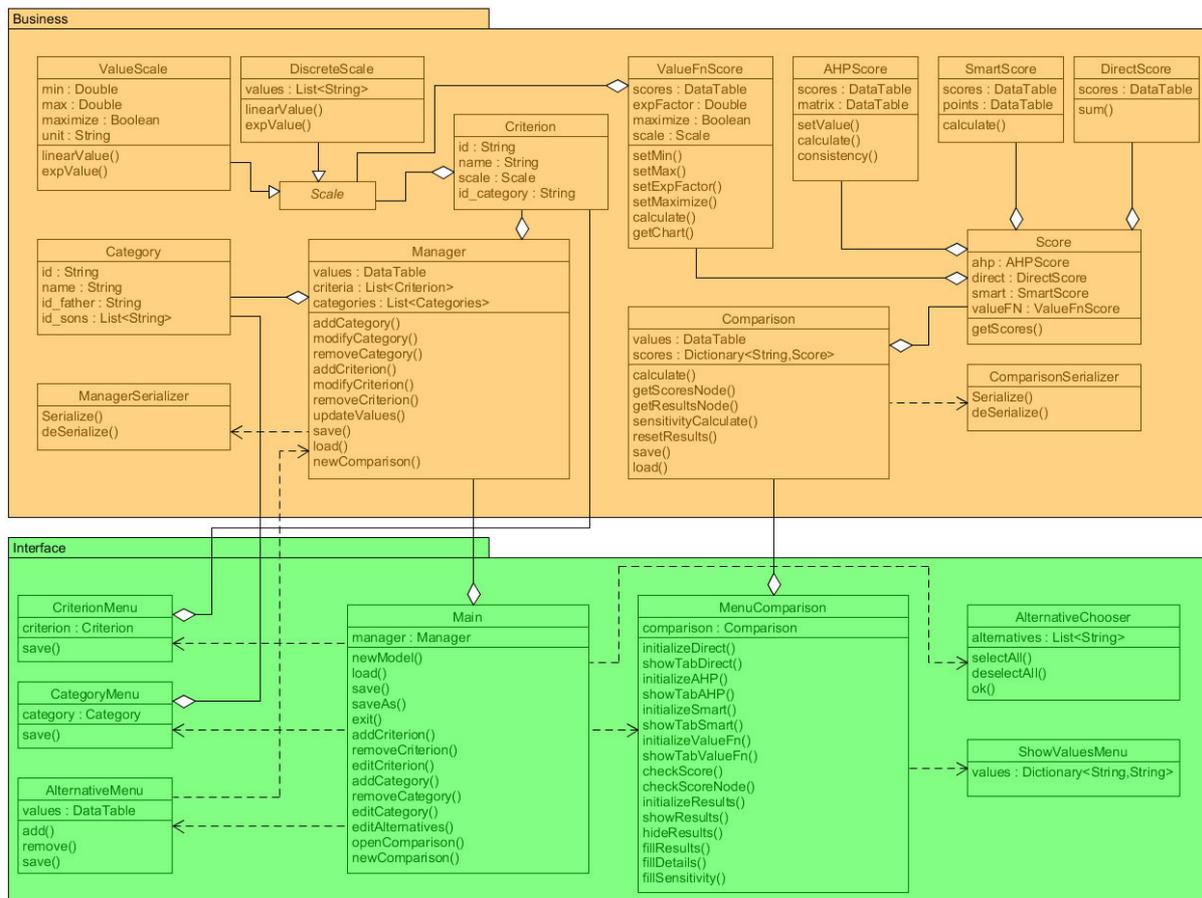


Figura 4.2 - Diagrama de classes UML do software BeSmart2

No segundo grupo encontram-se as classes associadas às comparações e resultados. Do lado da camada de dados, a classe *Comparison* contém as pontuações para todos os critérios e categorias, bem como todos os métodos de cálculo. A classe *Score* armazena as pontuações para um critério ou categoria, sendo composta por 4 classes que representam os vários métodos (*AHPScore*, *ValueFnScore*, *DirectScore*, *SmartScore*). A classe *ComparisonSerializer* efetua a gravação e leitura da classe *Comparison*. Do lado da interface, a classe *MenuComparison* é a classe principal que contém toda a interface de cálculo dos resultados. Temos ainda a classe *AlternativeChooser* que representa o menu de escolha de alternativas antes de iniciar uma comparação, e a classe *ShowValuesMenu* que mostra os valores das alternativas para um dado critério.

O diagrama de casos de uso (Figura 4.3) representa as várias formas que o utilizador interage com o sistema. Podemos dividir estas interações em três grupos distintos: persistência do modelo (Novo Modelo, Abrir Modelo e Gravar Modelo), edição do modelo (Adicionar/Editar/Remover Critério,

Adicionar/Editar/Remover Categoria, Editar Alternativas) e comparações (Nova Comparação, Abrir Comparação e Gravar Comparação). O caso de uso “Nova Comparação” inclui casos de uso mais específicos, tais como “Escolher Alternativas” e “Preencher Valores”, este último podendo tomar quatro formas distintas de acordo com o método escolhido.

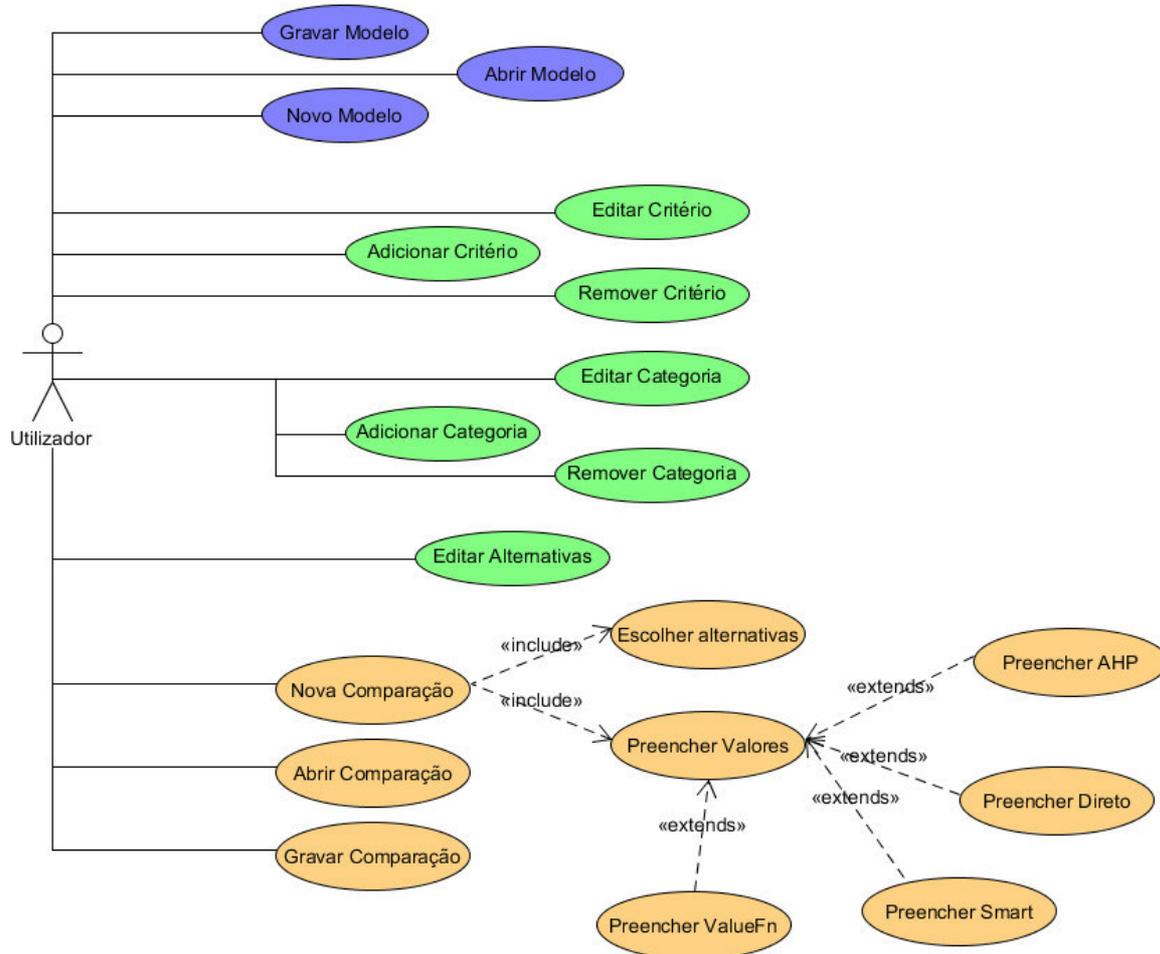


Figura 4.3 - Diagrama de casos de uso

4.3 Linguagem de programação e ferramentas utilizadas

De modo a poder utilizar parte do trabalho desenvolvido na ferramenta original, a linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento do BeSmart 2 foi a linguagem C# (<http://msdn.microsoft.com/en-us/vstudio/hh341490.aspx>). Para a interface gráfica foi utilizada a framework Windows Forms (Microsoft Windows Forms WebPage - [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd30h2yb\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd30h2yb(v=vs.110).aspx))

Todo o trabalho foi realizado na ferramenta Visual Studio 2013 (<http://www.visualstudio.com/>), com apoio da extensão Installer Projects (<http://blogs.msdn.com/b/visualstudio/archive/2014/04/17/visual-studio-installer-projects-extension.asp>) para a criação do instalador do software.

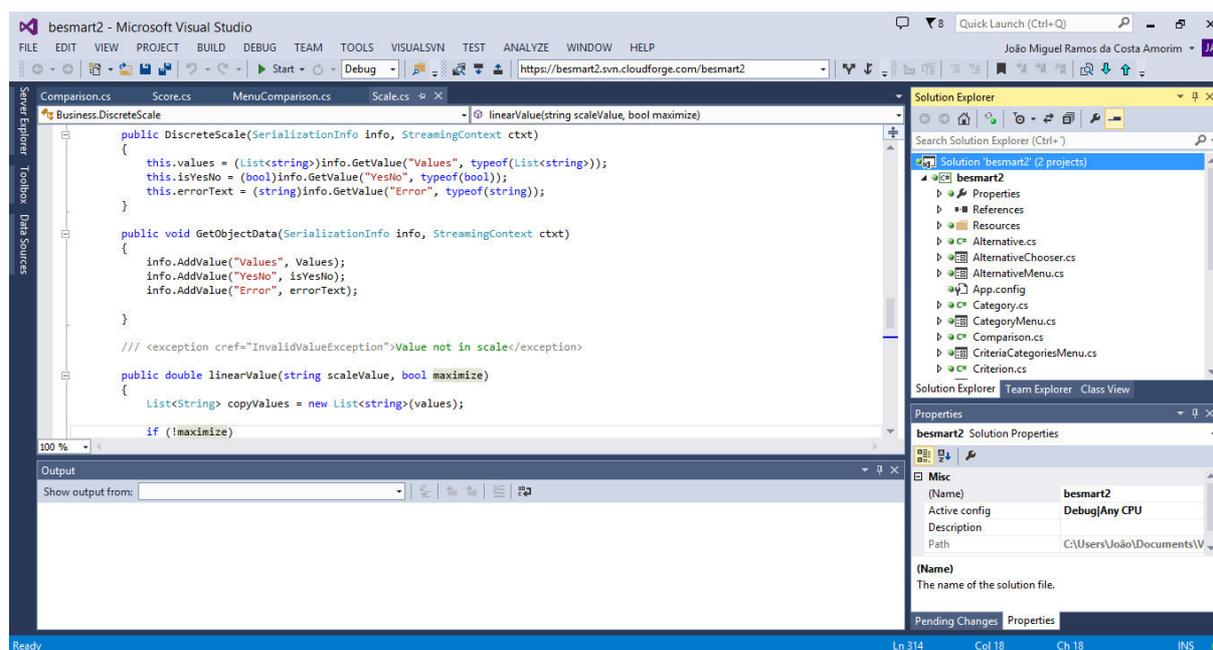


Figura 4.4 - Janela da Visual Studio 2013 com parte do código

4.4 Elementos principais do software

Os modelos criados no software são feitos em vários níveis hierárquicos, baseados no método AHP (Saaty, 1980). No topo desta hierarquia temos os objetivos fundamentais, de seguida os objetivos intermédios, depois os objetivos dos decisores, e por final os possíveis resultados ou cenários.

No software, os objetivos fundamentais e intermédios são chamados de categorias, os objetivos dos decisores são os critérios e os resultados são as alternativas. De seguida serão analisados ao pormenor estes três elementos.

4.4.1 Categorias

Uma categoria corresponde a um nível superior ou intermédio num modelo hierárquico. Cada categoria pode ter vários critérios ou subcategorias associados. Na figura seguinte encontramos um exemplo de uma hierarquia, na qual encontramos 3 categorias: “Melhor Carro”, “Performance” e “Economia”.

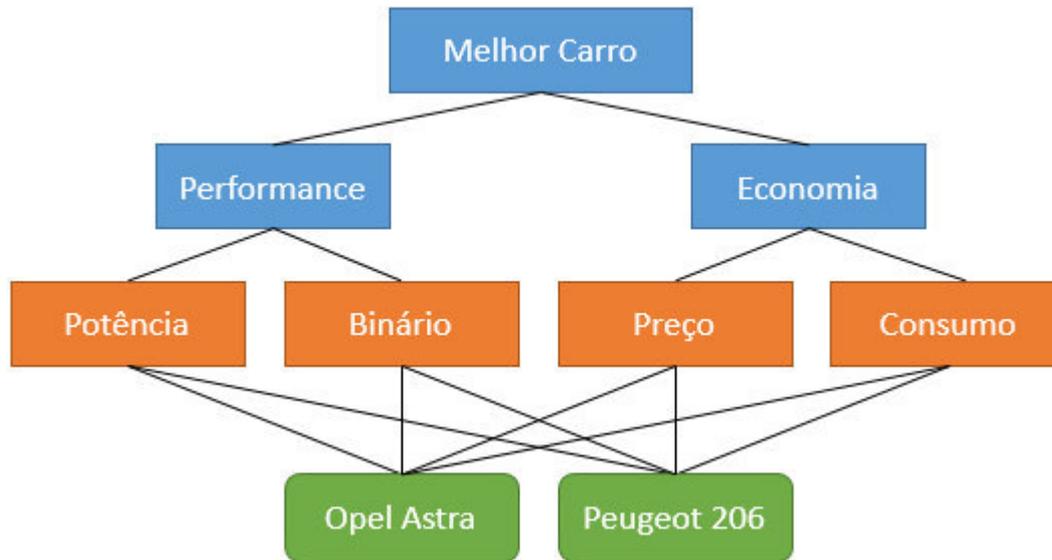


Figura 4.5 - Hierarquia do modelo-exemplo 1

4.4.2 Critérios

Um critério pode ser definido formalmente como uma ferramenta que permite comparar as ações em relação aos pontos de vista de cada agente de decisão (Roy, 1996). Na ferramenta, um critério constitui uma das várias métricas nas quais se podem avaliar as alternativas. No exemplo da Figura 4.5, os critérios são “Potência”, “Binário”, “Preço” e “Consumo”.

A ferramenta permite definir critérios com 3 tipos de escalas diferentes: escala numérica, escala discreta ou escala binária.

Escala numérica

Numa escala numérica, o critério será medido dentro dum conjunto contínuo de valores. Este conjunto poderá ter um valor mínimo e um valor máximo definido. Também terá de ser definida a unidade na qual se mede o critério, e se o objetivo será de minimizar ou maximizar o valor.

Name: Média Licenciatura

Parent: Melhor Candidato

Scale: Value Scale Discrete Scale Yes / No

Unit: Valores

Minimum: 10

Maximum: 20

Maximize?

Figura 4.6 - Exemplo de critério com escala numérica

Escala Discreta

Numa escala discreta são definidos extensivamente os vários valores que as alternativas poderão tomar nesse critério. Também terá de ser definida a ordem de preferência desses mesmos valores.

Name: Área de Estudos

Parent: Melhor Candidato

Scale: Value Scale Discrete Scale Yes / No

| | Scale |
|---|--------------------|
| ▶ | Infomática |
| | Outras Engenharias |
| | Economia / Gestão |
| | Outras Áreas |

Figura 4.7 - Exemplo de critério com escala discreta

Escala binária

Uma escala binária adequa-se, como o nome indica, a critérios nos quais as alternativas poderão apenas tomar dois valores (Sim/Não, Verdadeiro/Falso, etc.).

Name: Disponibilidade Imediata

Parent: Melhor Candidato

Scale: Value Scale Discrete Scale Yes / No

Figura 4.8 - Exemplo de critério com escala binária

4.4.3 Alternativas

As alternativas serão as várias escolhas possíveis do problema de decisão a ser analisado, e que serão avaliadas segundo os critérios definidos. No exemplo da Figura 4.5, as alternativas são “Opel Astra” e “Peugeot 206”.

4.5 Métodos e cálculos utilizados

Para demonstrar os métodos utilizados e a forma de cálculo, iremos considerar o modelo-exemplo 2, cuja hierarquia está definida na Figura 4.9.

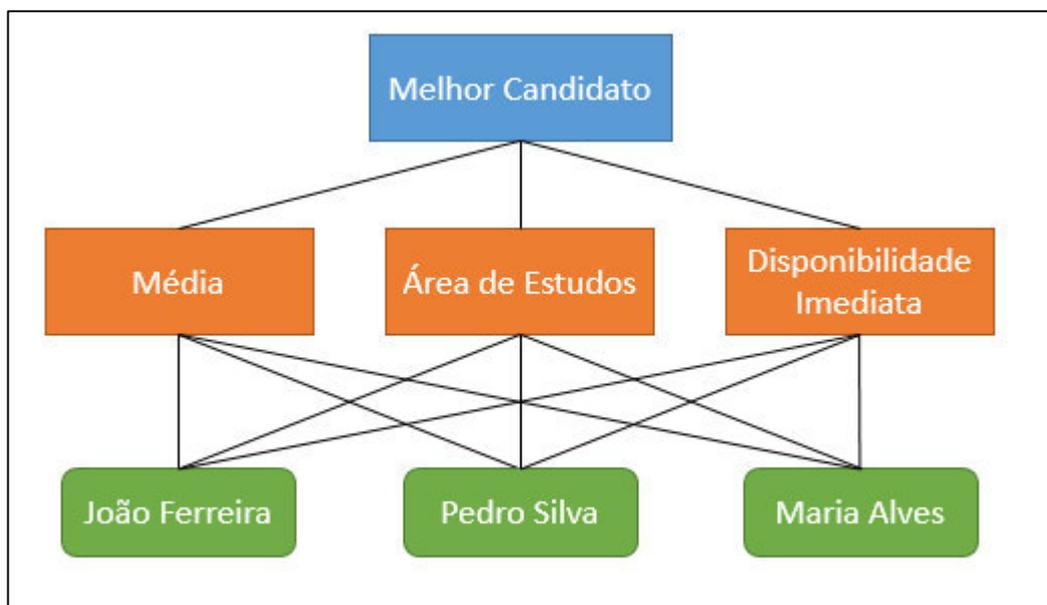


Figura 4.9 - Hierarquia do modelo-exemplo 2

As escalas dos critérios são as apresentadas na Secção 4.4.2, e as alternativas têm os valores apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Valores do modelo-exemplo 2

| Candidato | Média | Área de estudos | Disponibilidade |
|------------------|--------------|------------------------|------------------------|
| João Ferreira | 16,5 | Informática | Não |
| Pedro Silva | 18 | Economia | Sim |
| Maria Alves | 17,2 | Eng. Eletrónica | Sim |

4.5.1 Pesos diretos

Na atribuição de pesos diretos não são efetuados cálculos; os valores introduzidos são os pesos atribuídos aos subcritérios/subcategorias ou às alternativas, consoante se tratar de uma categoria ou critério, respetivamente.

No caso de se tratar de uma categoria, os pesos a atribuir corresponderão à importância em percentagem de cada subcategoria/subcritério nessa categoria. Como tal, a soma destes pesos deverá ser igual a 1, e não poderá haver pesos inferiores a 0 ou superiores a 1.

No caso de se tratar de um critério, os pesos a atribuir corresponderão à importância de cada alternativa em relação ao valor ideal para esse critério, que corresponderá ao valor máximo de 1.

Tomando como exemplo o critério “Disponibilidade”, o avaliador define que o ideal será haver disponibilidade imediata (valor “Sim”) e dará uma penalização de 25% aos candidatos sem disponibilidade (valor “Não”). Assim, as pontuações a atribuir serão as da tabela seguinte.

Tabela 4.2 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Disponibilidade

| Candidato | Pontuação |
|------------------|------------------|
| João Ferreira | 0,75 |
| Pedro Silva | 1 |
| Maria Alves | 1 |

4.5.2 Funções de valor

As funções de valor são funções que atribuem um valor a cada uma das alternativas baseadas no conceito de diferenças de preferência (Dyer & Sarin, 1979). Como utilizam os valores das alternativas, apenas podem ser utilizadas para atribuir pontuações às alternativas em cada critério.

O primeiro passo para calcular o peso de uma alternativa, é transformar o valor desta num valor entre 0 e 1. Esta conversão inicial será feita de forma linear, e é feita de forma diferente caso se trate de um critério com escala numérica, discreta ou binária.

No caso de uma escala discreta com N valores, o primeiro passo é atribuir uma pontuação incremental a cada valor: 0 pontos ao pior, 1 ponto ao seguinte, até N – 1 pontos ao melhor valor da escala. O valor linear será calculado através da fórmula:

$$\text{Valor linear } (x) = \frac{\text{Pontuação } (x)}{N - 1}$$

A tabela seguinte mostra os valores que seriam obtidos se utilizássemos estes cálculos no critério “Área de Estudos”.

Tabela 4.3 - Exemplo de cálculo de valor linear para uma escala discreta

| Área | Pontuação | Valor Linear |
|--------------------|------------------|---------------------|
| Informática | 3 | 1 |
| Outras Engenharias | 2 | 0,67 |
| Economia / Gestão | 1 | 0,33 |
| Outras Áreas | 0 | 0 |

Nas escalas discretas, o cálculo é efetuado com base nos valores das alternativas, e dos valores mínimos e máximos definidos para o critério. Estes limites podem ser definidos pelo analista, ou podem ser baseados nos valores existentes, isto é, o máximo e mínimo serão respetivamente o maior e menor valor existente nas alternativas. Para um critério cujo objetivo é maximizar o valor, o cálculo é feito da seguinte forma:

$$\text{Valor linear } (x) = \frac{x - \min}{\max - \min}$$

No caso de o objetivo ser minimizar o valor, a fórmula é a seguinte:

$$\text{Valor linear } (x) = \frac{\max - x}{\max - \min}$$

Tomando como exemplo o critério “Média”, e definindo o valor mínimo como 14¹, e o valor máximo como 20, teríamos os seguintes valores lineares:

¹ Neste exemplo, o valor mínimo definido pelo avaliador é de 14 valores. Num exemplo mais genérico, deveria ser utilizado o valor 10, ou outro mais adequado ao problema.

Tabela 4.4 - Exemplo de cálculo de valor linear para uma escala numérica

| Candidato | Média | Valor linear |
|---------------|-------|--------------|
| João Ferreira | 16,5 | 0,42 |
| Pedro Silva | 18 | 0,67 |
| Maria Alves | 17,2 | 0,53 |

Para escalas binárias, será atribuído o valor linear 0 ao valor “Não/Falso” e 1 ao valor “Sim/Verdadeiro”, ou o contrário, caso o valor “Não/Falso” seja o preferido no critério considerado. No entanto, não é muito aconselhável utilizar funções de valor para este tipo de escalas.

Após calculado o valor linear, são tomadas em conta as diferenças de preferência do analista. Caso estas diferenças sejam constantes, isto é, a mesma diferença de valores causa a mesma diferença de preferência independentemente dos valores, então a função de valor será igual ao valor linear.

$$FV(x) = Valor\ linear(x)$$

Nos outros casos, será utilizado um fator de preferência α . Caso o analista tenha preferência em diferenças nos valores mais próximos do máximo, o valor de α será positivo. Caso a preferência recaia sobre diferenças nos valores mais próximos do mínimo, o valor de α será negativo. Quanto mais fortes forem estas preferências, mais positivo ou negativo será o valor de α . A função de valor será então calculada da seguinte forma:

$$FV(x) = \frac{e^{\alpha * Valor\ linear(x)} - 1}{e^{\alpha} - 1}$$

Continuando a utilizar o critério “Média”, o avaliador dá mais importância à diferença entre as médias 19 e 20 do que entre as médias 14 e 15. Sendo assim, o valor de α será positivo. Com $\alpha = 1$, o gráfico da função de valor será o seguinte:

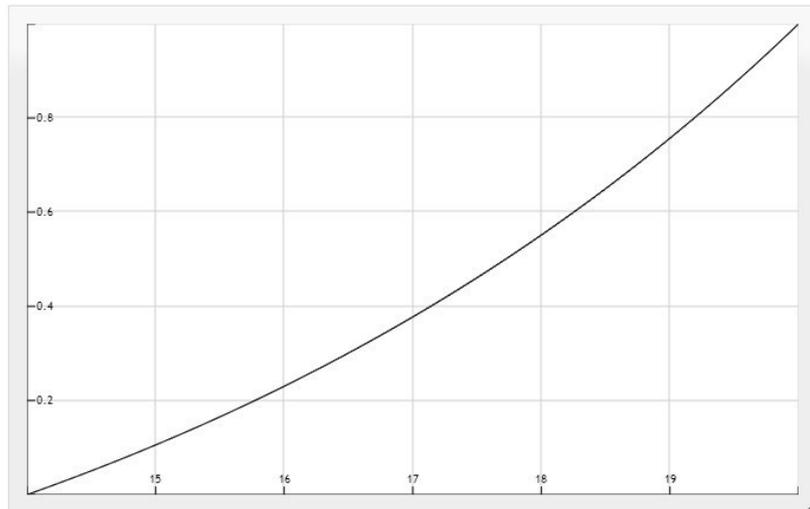


Figura 4.10 - Exemplo de gráfico de função de valor com $\alpha = 1$

As pontuações a atribuir serão então:

Tabela 4.5 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Média

| Candidato | Pontuação |
|------------------|------------------|
| João Ferreira | 0,30 |
| Pedro Silva | 0,55 |
| Maria Alves | 0,41 |

4.5.3 SMART

O método SMART (Edwards & Barron, 1994) é uma técnica simples e rápida de atribuir valores às alternativas. Primeiro, o analista atribui 10 pontos à(s) alternativa(s) que considera pior(es). Depois irá atribuir pontos às restantes alternativas com base na alternativa pior.

Utilizando o critério “Área de estudos” como exemplo, o avaliador escolhe “Economia” como a pior alternativa e atribui 10 pontos. Em comparação, uma “Engenharia” é 3 vezes preferível, e como tal atribui 30 pontos, e a área de “Informática” é 4 vezes preferível, e atribui 40 pontos. Ficamos então com as seguintes pontuações:

Tabela 4.6 - Exemplo de atribuição de pontos SMART

| Candidato | Área de estudos | Pontos |
|------------------|------------------------|---------------|
| João Ferreira | Informática | 40 |
| Pedro Silva | Economia | 10 |
| Maria Alves | Eng. Eletrónica | 30 |

As pontuações de cada alternativa serão calculados pela seguinte fórmula:

$$Pontuação(x) = \frac{Pontos(x)}{\sum_i Pontos(i)}$$

A tabela seguinte mostra então as pontuações para cada uma das alternativas no critério “Área de Estudos”.

Tabela 4.7 - Pontuações atribuídas às alternativas no critério Área de Estudo

| Candidato | Pontuação |
|------------------|------------------|
| João Ferreira | 0,5 |
| Pedro Silva | 0,125 |
| Maria Alves | 0,375 |

4.5.4 AHP

No método AHP a atribuição dos pesos aos critérios ou alternativas é feita através da construção de uma matriz com as comparações par a par entre alternativas para um determinado critério, ou entre critérios para uma determinada categoria ou objetivo global. Nesta subsecção apenas será abordada a construção desta matriz e o cálculo dos pesos através da matriz; o cálculo do peso global de cada alternativa será remetido para a subsecção seguinte.

O preenchimento da matriz deverá ser feito comparando cada alternativa ou critério aos pares. A comparação entre cada par de elementos irá resultar num valor respeitando as regras da seguinte tabela.

Tabela 4.8 - Valores de preferências em matrizes AHP ((Tereso, 2009) , adaptado de Saaty (1980)).

| Se x é ... (do) que y | Então o número de preferência a atribuir é: |
|-------------------------------|---|
| Igualmente importante | 1 |
| Um pouco mais importante | 3 |
| Muito mais importante | 5 |
| Muitíssimo mais importante | 7 |
| Absolutamente mais importante | 9 |

Os números 2, 4, 6, 8, também podem ser usados para exprimir compromissos intermédios. No caso de comparações inversas, isto é, y ser mais importante que x, serão utilizados os valores inversos aos da tabela. Por exemplo, caso y seja muito mais importante que x, o valor a utilizar será 1/5.

Tomando como exemplo o objetivo global de escolher o Melhor Candidato, o avaliador determinou que a “Área de estudos” é ligeiramente mais importante que a “Média” e muitíssimo mais importante que a “Disponibilidade Imediata”, e que a “Média” é muito mais importante que a “Disponibilidade Imediata”. A matriz ficará então preenchida da seguinte forma:

Tabela 4.9 - Matriz de preferências AHP da categoria Melhor Candidato

| | Média | Área | Disponibilidade |
|------------------------|--------------|-------------|------------------------|
| Média | 1 | 1/3 | 5 |
| Área | 3 | 1 | 7 |
| Disponibilidade | 1/5 | 1/7 | 1 |

Para calcular os pesos de cada critério, é utilizada uma aproximação ao vetor próprio com maior valor próprio. Em primeiro lugar são normalizadas as colunas, isto é, cada elemento é dividido pela soma da coluna. Neste exemplo, obtém-se a seguinte matriz.

Tabela 4.10 - Matriz de preferências AHP com colunas normalizadas

| | Média | Área | Disponibilidade |
|------------------------|--------------|-------------|------------------------|
| Média | 0,24 | 0,23 | 0,38 |
| Área | 0,71 | 0,68 | 0,54 |
| Disponibilidade | 0,05 | 0,10 | 0,08 |

Para obter os pesos, são somadas as linhas da matriz e divididas pelo número de elementos diferentes. Ficamos então com os pesos finais para a categoria “Melhor candidato”.

Tabela 4.11 - Pesos atribuídos à categoria Melhor Candidato

| Critério | Peso |
|-----------------|-------------|
| Média | 0,283 |
| Área | 0,643 |
| Disponibilidade | 0,074 |

Além dos pesos de cada critério, para cada matriz AHP é também calculada uma taxa de consistência (TC). Esta taxa indicará a consistência das comparações efetuadas e deverá ser inferior a 0,10 (Saaty, 1980).

Em primeiro lugar será feita uma aproximação a λ_{\max} (maior valor próprio da matriz). Em primeiro lugar multiplicamos a matriz de comparações (Tabela 4.9) pelo vetor de pesos obtidos (Tabela 4.11), para obter um novo vetor.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.283 \\ 0.643 \\ 0.074 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.87 \\ 2.01 \\ 0.22 \end{bmatrix}$$

Os elementos deste novo vetor serão divididos pelos elementos do vetor de pesos, e a sua soma dividida pelo número de elementos resultará em λ_{\max} .

$$\lambda_{\max} = \frac{\left(\frac{0.87}{0.28} + \frac{2.01}{0.64} + \frac{0.22}{0.07}\right)}{3} = 3.07$$

De seguida calcula-se o índice de consistência.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1} = \frac{3.07 - 3}{3 - 1} = 0.03$$

O último valor necessário é o índice aleatório (IA), que se pode obter na Tabela 4.12, calculada em (Saaty, 1980) por simulação.

Tabela 4.12 - Tabela de índices aleatórios ((Tereso, 2009), adaptado de Saaty (1980))

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IA | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 |

Podemos então calcular a taxa de consistência da matriz. Como temos um valor inferior a 0.1, esta matriz é consistente.

$$TC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.03}{0.58} = 0.06$$

4.5.5 Cálculos globais

Depois de calculados os pesos em todos os níveis da hierarquia, passa-se ao cálculo do peso global das alternativas. No entanto, é necessário verificar primeiro se os pesos obtidos pelas alternativas nos vários critérios são comparáveis. Como vimos nas secções anteriores, os Pesos Diretos e as Funções de Valor atribuem um peso relativamente ao valor ideal de 1, enquanto os métodos AHP e SMART atribuem os pesos normalizados, com a soma destes a ser igual a 1. Para garantir a compatibilidade, o programa transforma todos os pesos em valores normalizados (método AHP) ou em percentagens do ideal (método Aditivo), consoante a opção escolhida pelo utilizador.

Caso a opção escolhida seja o método aditivo, os pesos obtidos através dos métodos AHP e SMART são convertidos para percentagens do total. A conversão utilizada é a mesma que em (Mustajoki & Hamalainen, 2000) e inicialmente sugerida em (Dyer, 1990), e consiste em atribuir o valor 1 à alternativa com maior pontuação, e atribuir as restantes pontuações relativamente ao valor da melhor. Na Tabela 4.13 encontramos o exemplo da conversão dos pesos do critério “Área de estudos” obtidos na subsecção anterior.

Tabela 4.13 - Conversão de pesos para percentagem do ideal

| Candidato | Pontuação | Pontuação (convertida) |
|------------------|------------------|-------------------------------|
| João Ferreira | 0,5 | 1,00 |
| Pedro Silva | 0,125 | 0,25 |
| Maria Alves | 0,375 | 0,75 |

Se a opção for o método AHP, será feita a normalização dos pesos obtidos através de Pesos Diretos e Funções de Valor. A Tabela 4.14 mostra a conversão dos pesos dos critérios “Média” e “Disponibilidade Imediata”.

Tabela 4.14 - Normalização de pesos

| | Média | Média (normalizada) | Disponibilidade | Disponibilidade (normalizada) |
|----------------------|--------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| João Ferreira | 0,30 | 0,24 | 0,75 | 0,27 |
| Pedro Silva | 0,55 | 0,44 | 1 | 0,36 |
| Maria Alves | 0,41 | 0,32 | 1 | 0,36 |

No restante desta subsecção serão usados os valores normalizados da Tabela 4.14. Em cada categoria da hierarquia temos então as pontuações de cada alternativa em relação aos nós inferiores, e os pesos de cada um desses nós inferiores na categoria atual (Tabela 4.15). Serão então calculados os pesos de cada alternativa para a categoria atual, e o processo será repetido para todas as outras categorias, começando sempre pela que estiver mais baixo na hierarquia e ainda não tiver sido calculada.

Tabela 4.15 - Valores pré-cálculo na categoria Melhor Candidato

| | Média | Área | Disponibilidade |
|----------------------|--------------|-------------|------------------------|
| João Ferreira | 0,24 | 0,50 | 0,27 |
| Pedro Silva | 0,44 | 0,125 | 0,36 |
| Maria Alves | 0,32 | 0,375 | 0,36 |
| | | | |
| Peso Critério | 0,283 | 0,643 | 0,074 |

Para demonstrar os cálculos efetuados em cada nó, vamos tomar como exemplo a categoria “Melhor Candidato”. A Tabela 4.15 resume todos os valores disponíveis para essa categoria. O método de

cálculo dos pesos das alternativas é igual ao AHP, ou seja, soma-se o produto da pontuação em cada critério pelo peso desse critério.

$$\text{Pontuação Final (João Ferreira)} = 0.24 \times 0.28 + 0.5 \times 0.64 + 0.27 * 0.07 = 0.41$$

$$\text{Pontuação Final (Pedro Silva)} = 0.44 \times 0.28 + 0.125 \times 0.64 + 0.36 * 0.07 = 0.23$$

$$\text{Pontuação Final (Maria Alves)} = 0.32 \times 0.28 + 0.375 \times 0.64 + 0.36 * 0.07 = 0.36$$

A Tabela 4.16 mostra as pontuações finais para a categoria “Melhor Candidato”, que neste exemplo simples se trata do objetivo global. O candidato preferido seria então o “João Ferreira”.

Tabela 4.16 - Pontuações finais de cada alternativa na categoria Melhor Candidato

| Candidato | Pontuação Final |
|---------------|-----------------|
| João Ferreira | 0,41 |
| Pedro Silva | 0,23 |
| Maria Alves | 0,36 |

4.5.6 Análise de sensibilidade

Para além do cálculo das pontuações globais das alternativas, o software permite também fazer uma análise de sensibilidade. Em cada categoria, é possível escolher uma das subcategorias ou critérios e alterar o seu peso de forma a visualizar quais seriam as alterações no resultado final.

Para efetuar estes cálculos, é necessário primeiro recalculer os pesos de cada subcategoria ou critério na categoria escolhida. Assumindo que a categoria tem **N** subcategorias ou critérios, e cada critério **i** tem um peso **p_i**. Se alterarmos o peso de um critério **j** para **p_j'**, os pesos serão calculados da seguinte forma:

$$p(i) = \begin{cases} p_j', & i = j \\ p_i \times \left(1 + \frac{p_j - p_j'}{\sum_{k \in N, k \neq j} p_k} \right), & i \neq j \end{cases}$$

Voltando ao exemplo (ver Tabela 4.11), se na categoria “Melhor Candidato” alterássemos o peso do critério “Disponibilidade” para 0.5, os pesos seriam alterados da seguinte forma:

$$Peso (Média) = 0.283 \times \left(1 + \frac{0.074 - 0.5}{0.283 + 0.643}\right) = 0.15$$

$$Peso (Área) = 0.643 \times \left(1 + \frac{0.074 - 0.5}{0.283 + 0.643}\right) = 0.35$$

$$Peso (Disponibilidade) = 0.5$$

Ficamos então com os seguintes pesos:

Tabela 4.17 - Pesos na categoria Melhor Candidato

| Critério | Peso |
|-----------------|-------------|
| Média | 0,15 |
| Área | 0,35 |
| Disponibilidade | 0,50 |

Para calcular o novo resultado final, são efetuados os cálculos apresentados na subsecção 4.5.5, com a substituição prévia dos pesos na categoria “Melhor Candidato” por aqueles da Tabela 4.17. O resultado final, será o seguinte:

Tabela 4.18 - Pontuações globais de cada alternativa após alteração do peso de um dos critérios

| Candidato | Pontuação (nova) | Pontuação (antiga) |
|------------------|-------------------------|---------------------------|
| João Ferreira | 0,35 | 0,41 |
| Pedro Silva | 0,29 | 0,23 |
| Maria Alves | 0,36 | 0,36 |

Com esta alteração, a melhor candidata passou a ser a Maria Alves, apesar da sua pontuação não sofrer alterações.

5. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE

Neste capítulo será demonstrada a utilização do software, recorrendo ao exemplo do capítulo anterior.

5.1 Instalação

A instalação do software é feita através do executável com o nome SetupBeSmart2 que pode ser obtido em <http://code.google.com/p/besmart2/>. O processo de instalação é bastante simples, não sendo requerido ao utilizador nenhuma informação extra.

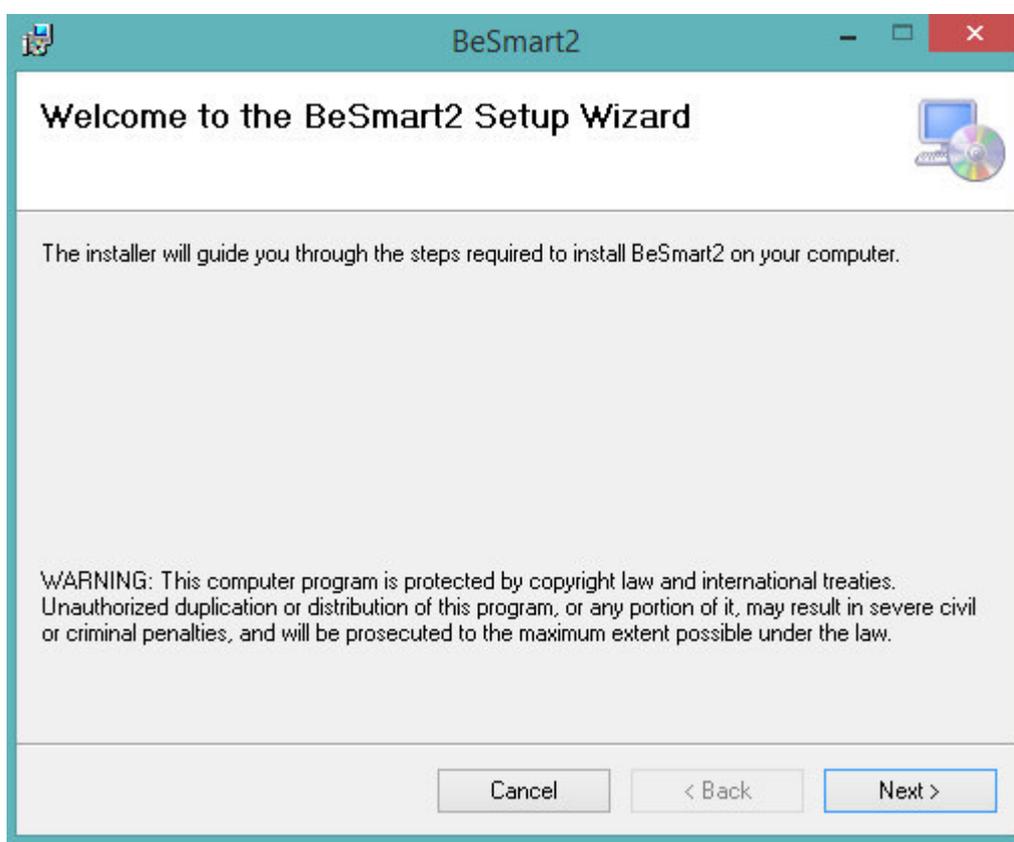


Figura 5.1 - Menu de instalação da ferramenta BeSmart2

Após a instalação será criado um atalho no Ambiente de Trabalho do utilizador que poderá ser utilizado para abrir a ferramenta. A ferramenta está construída para correr em ambiente Windows.



Figura 5.2 - Ícone do BeSmart2

5.2 Novo modelo

Ao abrir o programa, o menu inicial encontra-se vazio. Nesta interface inicial será mostrada a hierarquia de categorias e critérios bem como a lista de alternativas, assim que um novo modelo seja criado.

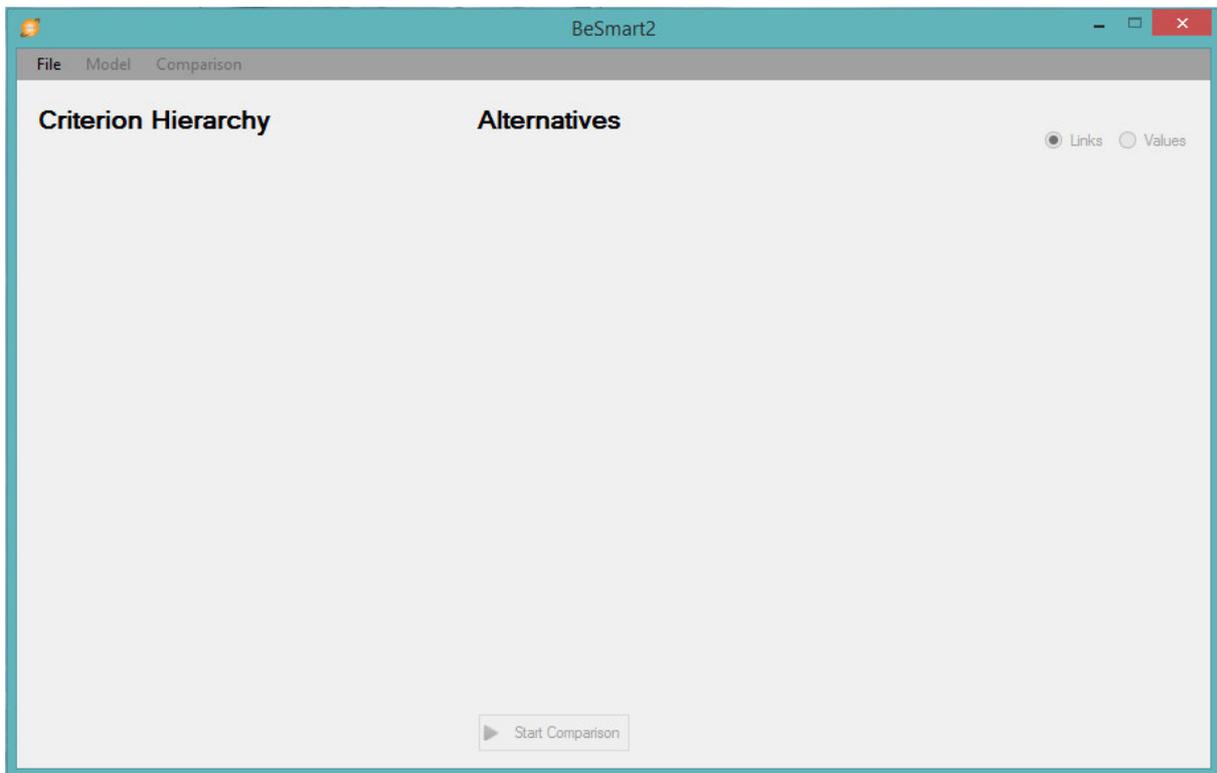


Figura 5.3 - Menu inicial do software antes da criação do modelo

Vamos então demonstrar como criar o modelo para escolha do Melhor Candidato, tal como descrito no capítulo anterior. Em primeiro lugar, deve-se ir a “File -> New”, e preencher o objetivo principal do modelo, que neste caso será obter o “Melhor Candidato”.

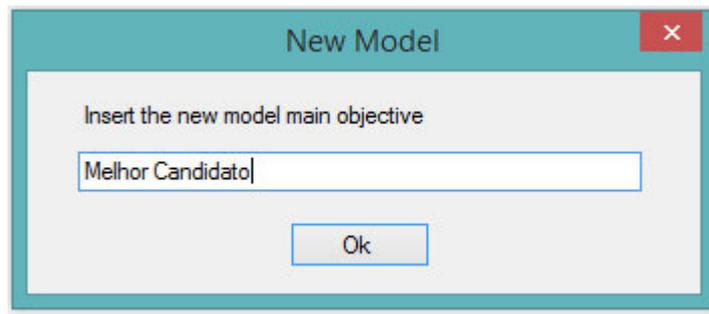


Figura 5.4 - Janela para inserir o objetivo principal

Nas subsecções seguintes serão criadas as categorias, critérios e alternativas do modelo.

5.2.1 Categorias

Neste modelo não serão criadas mais categorias para além do objetivo principal. Caso se desejasse adicionar uma nova categoria, seria possível através do menu “Model -> Add -> Category” ou clicar com o botão direito do rato na categoria “Pai” e escolher “Add -> Category”. Qualquer das opções iria abrir o menu da Figura 5.5 onde se pode introduzir o nome da categoria.

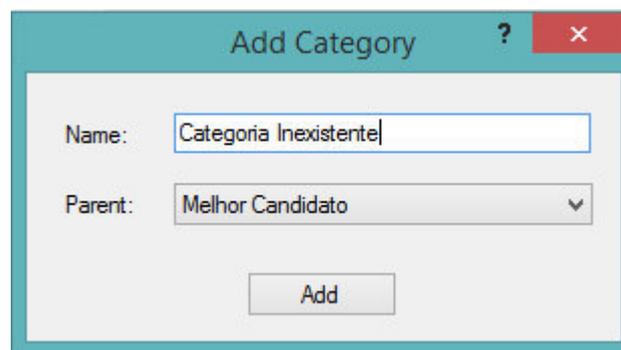


Figura 5.5 - Menu de adicionar nova categoria

Para modificar ou remover uma categoria, deve-se clicar com o botão direito do rato na categoria a modificar/remover e escolher “Modify” ou “Remove”, respetivamente. Em alternativa, pode-se abrir o menu da Figura 5.6 que se encontra em “Model -> Edit -> Categories and Criteria”.

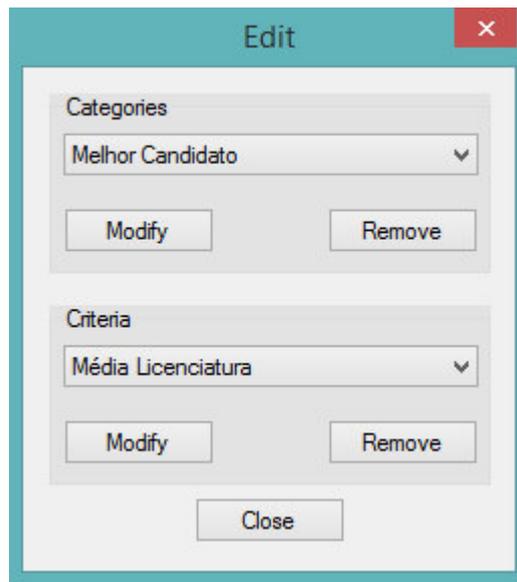


Figura 5.6 - Menu de modificar e remover critérios e categorias

Ao remover uma categoria serão também removidas todas subcategorias e critérios que pertençam a essa mesma categoria.

5.2.2 Critérios

Para adicionar um critério novo, tal como nas categorias, podemos ir ao menu “Model -> Add -> Criterion” ou em alternativa clicar com o botão do rato na categoria “Pai” e escolher “Add -> Criterion”.

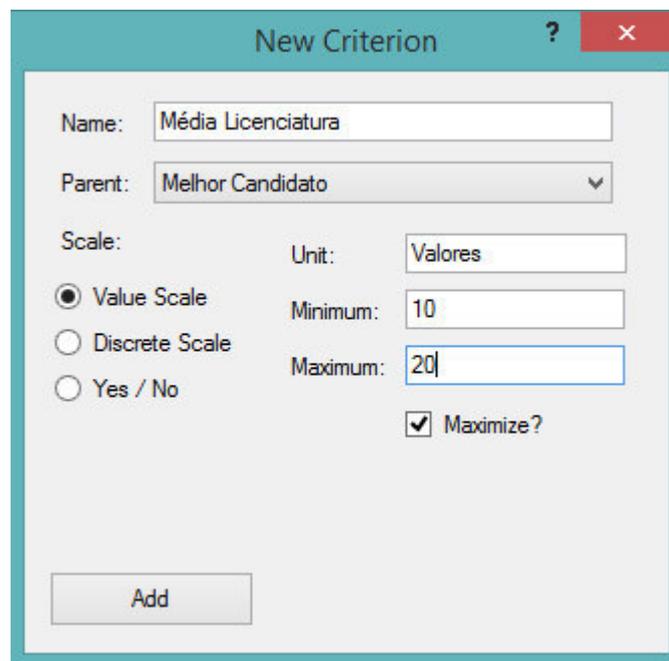


Figura 5.7 - Criação de um novo critério com escala numérica

No menu de novo critério é necessário inserir o nome do critério, escolher a categoria “Pai” e o tipo de escala: numérica, discreta ou binária. No caso duma escala numérica, como na Figura 5.7, é necessário inserir a unidade de medida, os valores mínimos e máximos da escala (opcionais), e indicar se o objetivo será minimizar ou maximizar o valor.

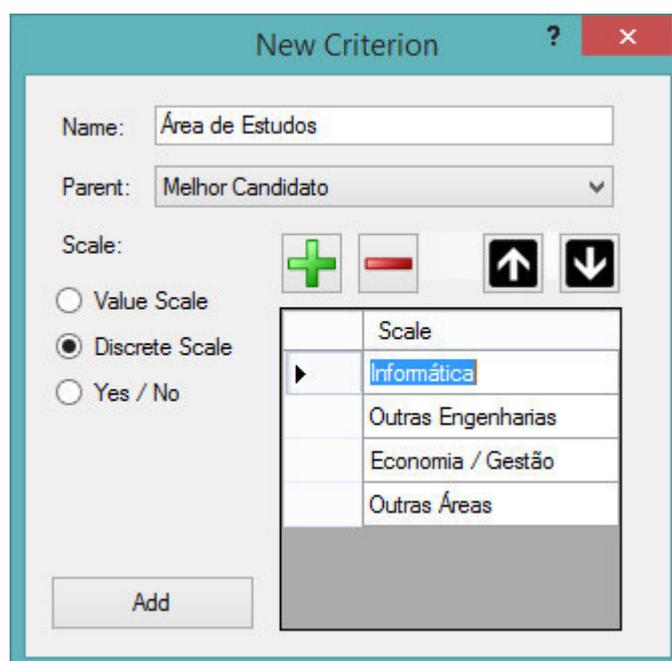


Figura 5.8 - Criação dum novo critério com escala discreta

Caso se trate duma escala discreta, é necessário adicionar pelo menos dois valores à escala (através do botão “+”). O botão com o símbolo “-” serve para remover o valor selecionado, e as setas movem o valor selecionado para cima ou para baixo na escala. De relembrar que o primeiro valor é o melhor da escala, e o último corresponde ao pior.

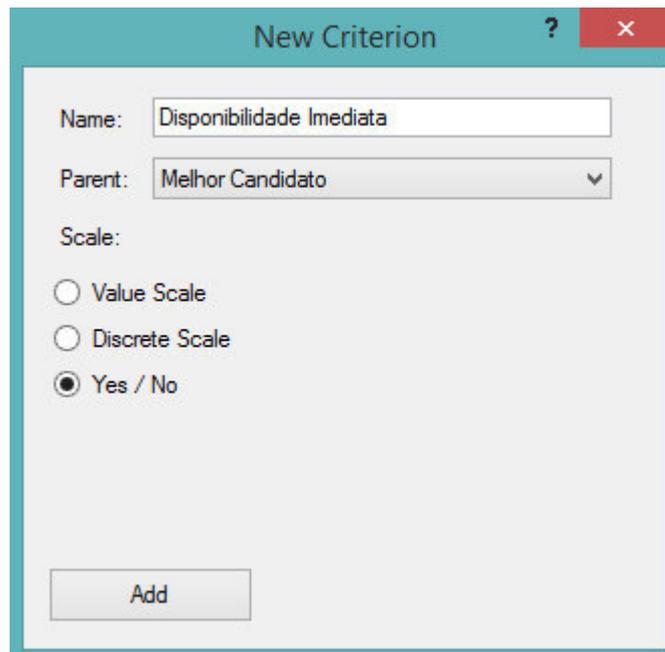


Figura 5.9 - Criação de um novo critério com escala binária

Por fim, numa escala binária não é necessário inserir nenhuma informação adicional. Ao adicionar um novo critério, caso já existam alternativas no modelo, irá aparecer a janela da Figura 5.10, que permite abrir diretamente o menu de alternativas (Figura 5.11) e inserir os valores para o novo critério.

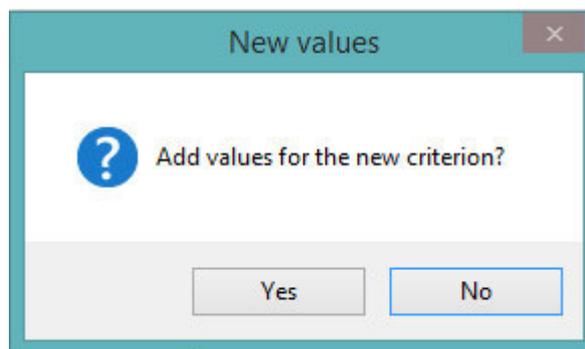


Figura 5.10 - Menu que permite a inserção de valores para novos critérios

Para modificar ou remover um critério, o processo é muito semelhante aquele das categorias: através do menu “Model -> Edit -> Categories and Criteria” ou clicando com o botão direito do rato no critério na hierarquia.

5.2.3 Alternativas

Após criação de toda a hierarquia de categorias e critérios, podemos passar a inserção das alternativas e dos seus valores. Este processo é todo feito no menu da Figura 5.11 que pode ser acedido através de “Model -> Edit -> Alternatives” ou clicando com o botão direito do rato na tabela de alternativas e escolher “Edit”.

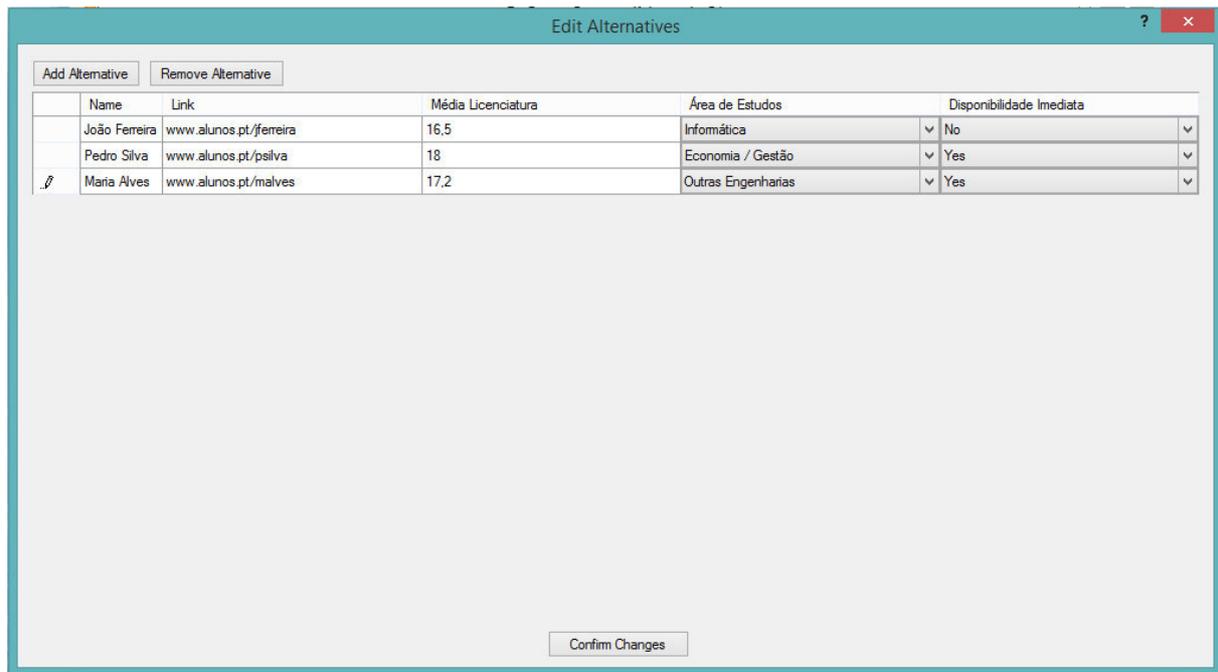


Figura 5.11 - Menu de edição das alternativas

Para cada linha, deverá ser preenchida a coluna “Name”, bem como os valores para todos os critérios. O preenchimento da coluna “Link” é opcional, dependendo se existe ou se é útil incluir uma página Web relativa à alternativa. O botão “Add Alternative” adiciona uma nova linha à tabela, e o botão “Remove Alternative” remove a linha seleccionada. Para assegurar que as alterações ficam guardadas, deve sair do menu através do botão “Confirm Changes”.

Criterion Hierarchy

- Melhor Candidato
- Média Licenciatura
- Área de Estudos
- Disponibilidade Imediata

Alternatives

Links Values

| Name | Link |
|---------------|--|
| João Ferreira | www.alunos.pt/ferreira |
| Pedro Silva | www.alunos.pt/psilva |
| Maria Alves | www.alunos.pt/malves |

Figura 5.12 - Menu principal após criação do modelo

Após criação de todo o modelo, o menu principal fica com o aspeto da Figura 5.12, incluindo a hierarquia de categorias e critérios, bem como a lista de alternativas. Ao clicar no link de uma alternativa será aberta a página no browser pré-definido. Pode alterar a vista para mostrar os valores em vez dos links (Figura 5.13).

Alternatives

Links Values

| Name | Média Licenciatura | Área de Estudos | Disponibilidade Imediata |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| João Ferreira | 16,5 | Infomática | No |
| Pedro Silva | 18 | Economia / Gestão | Yes |
| Maria Alves | 17,2 | Outras Engenharias | Yes |

Figura 5.13 - Tabela de alternativas no menu principal com vista de valores

5.3 Gravação e leitura do modelo

Para gravar permanente o modelo criado, o utilizador deve utilizar o menu “File -> Save”, que irá gravar o modelo no ficheiro atual, ou irá pedir ao utilizador o nome e localização do ficheiro caso se trate de um novo modelo. A opção “File -> Save As” permite ao utilizador escolher o nome e a localização independentemente de se tratar de um novo modelo ou não. Para o carregamento de um modelo guardado anteriormente deve ser escolhida a opção “File -> Open” e navegar até à pasta onde foi gravado o modelo (caso não tenha sido gravado na pasta pré-definida).

5.4 Nova comparação

Depois de criado o modelo, podemos passar à parte da comparação e dos cálculos. Para começar uma nova comparação encontramos o botão “Start Comparison” no menu principal, ou o menu “Comparison -> Start New”.

A opção “Comparison -> Open” permite abrir uma comparação guardada anteriormente. Caso a comparação aberta tenha sido feita com um modelo diferente, uma mensagem de erro será apresentada.

5.4.1 Escolha das alternativas

Ao começar uma nova comparação, terão de ser escolhidas quais as alternativas a incluir na comparação. Terá de ser selecionado um mínimo de 2 alternativas.

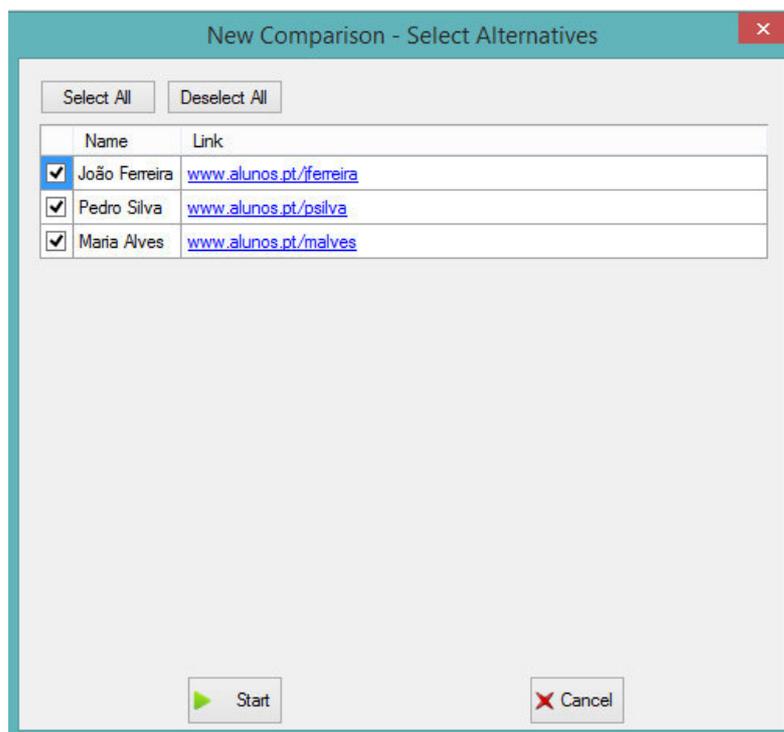


Figura 5.14 - Janela de escolha de alternativas para comparação

5.4.2 Menu comparação

Após a escolha das alternativas, irá aparecer o menu da Figura 5.15. No canto superior esquerdo, podemos escolher qual o método de cálculo global (secção 4.5.5). Por baixo, temos a lista dos vários critérios e categorias, bem como a indicação do método escolhido para cada um (em branco se nenhum for escolhido) e a validade (vermelho se nenhum método for escolhido, ou os valores introduzidos forem inválidos ou incompletos, verde se tudo estiver bem).

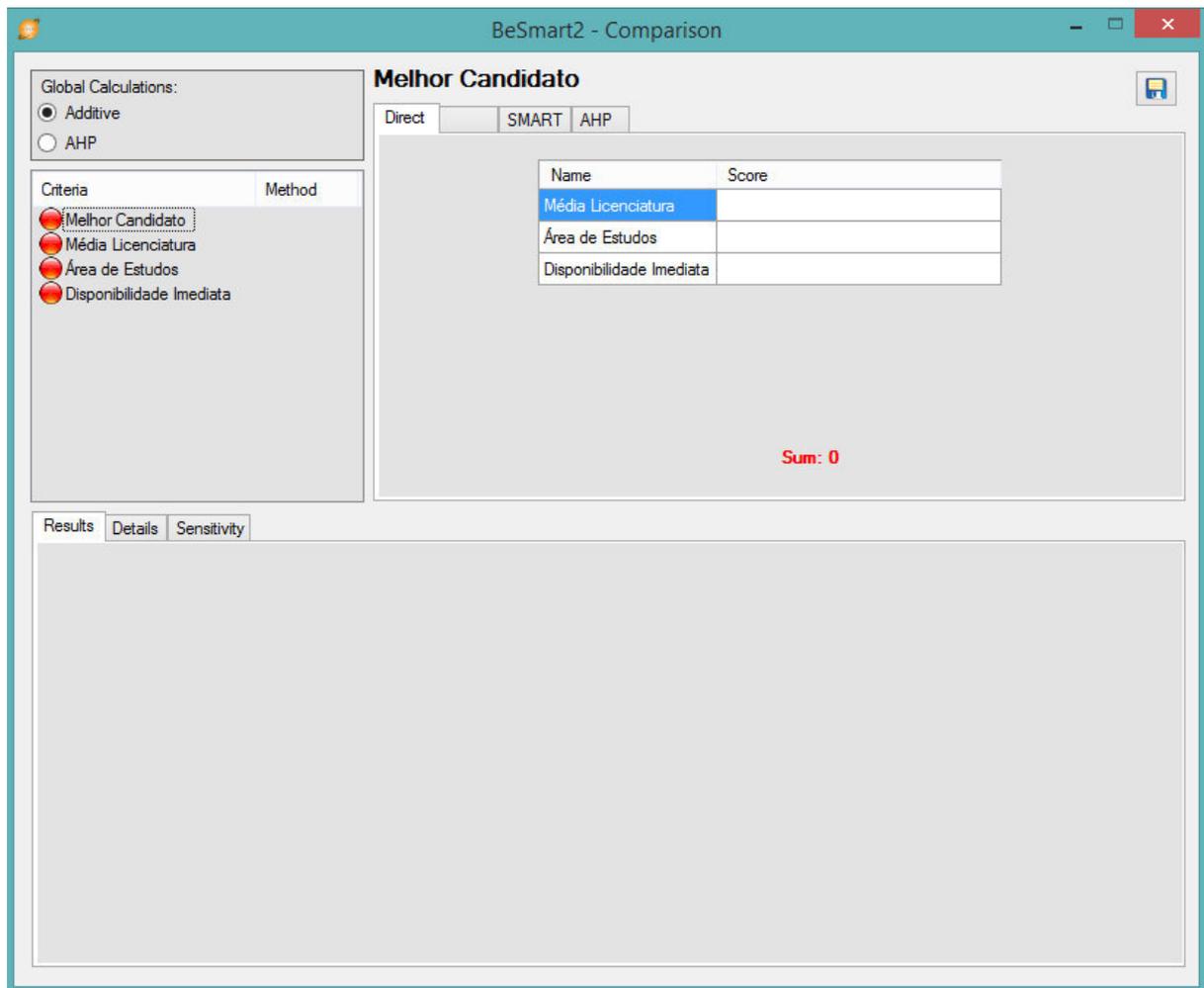


Figura 5.15 - Menu comparação

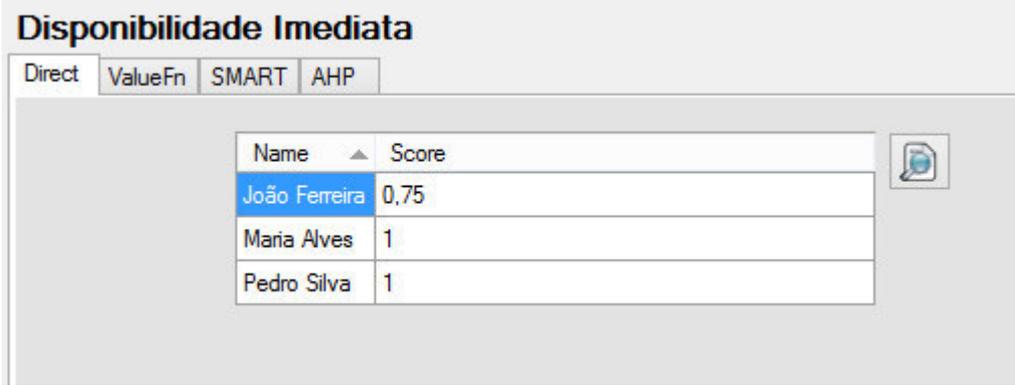
Do lado superior direito temos o botão para gravação da comparação, e por baixo temos a zona de escolha e preenchimento dos vários métodos. Na parte de baixo do menu encontra-se a secção dos resultados, que só fica ativa assim que todos os critérios e categorias tiverem métodos escolhidos e valores válidos introduzidos.

5.5 Métodos

Ao seleccionar uma categoria ou critério da lista do lado esquerdo, podemos escolher do lado direito qual o método a utilizar. Assim que tiver sido escolhido um método e todos os valores introduzidos corretamente, o símbolo passará a verde. Nas categorias não é possível escolher o método funções de valor, e como tal este não é seleccionável e o nome não aparece.

5.5.1 Pesos diretos

Ao escolher pesos diretos, apenas é necessário preencher a tabela com os pesos de cada alternativa ou subcritério. Apenas é permitido inserir valores entre 0 e 1, e os valores são considerados válidos quando todos estiverem preenchidos. Caso se trate de uma categoria, é ainda verificado se a soma é igual a 1 (aparece por baixo da tabela). Ao lado da tabela encontramos um botão que permite ver os valores das alternativas (Figura 5.20), caso se trate de um critério.



| Name | Score |
|---------------|-------|
| João Ferreira | 0,75 |
| Maria Alves | 1 |
| Pedro Silva | 1 |

Figura 5.16 - Inserção de pontuações diretas para um critério

Na Figura 5.16 temos a tabela preenchida com pontuações diretas de acordo com aqueles definidos na secção 4.5.1.

5.5.2 Funções de valor

As funções de valor apenas estão disponíveis para critérios. Após a escolha deste separador, é automaticamente assumido como um método válido, podendo depois ser afinados os limites (máximo e mínimo), o fator exponencial e o objetivo (minimizar ou maximizar).

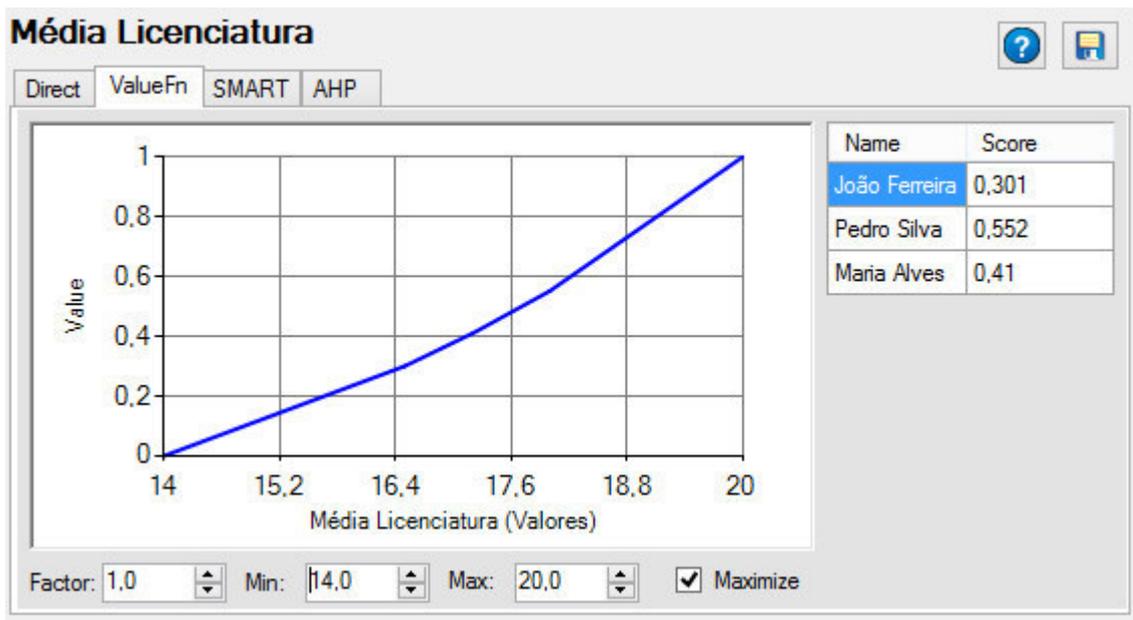


Figura 5.17 - Definição de parâmetros de uma função de valores

A figura anterior mostra a função de valores para o critério “Média” tal como definido na secção 4.5.2.

5.5.3 AHP

A seleção de células e inserção de pesos na matriz AHP pode ser feita de duas formas distintas. Para seleccionar a célula, esta pode ser clicada diretamente na tabela, ou alternativamente seleccionadas as alternativas ou critérios a comparar nas duas caixas que aparecem no topo. Para inserir o valor, este pode ser introduzido diretamente (só aceita valores entre 0 e 9), ou então através da barra deslizante no topo. Ao introduzir um valor, o valor simétrico é automaticamente preenchido. Não é possível alterar os valores da diagonal, pois estes deverão ter sempre o valor de 1.

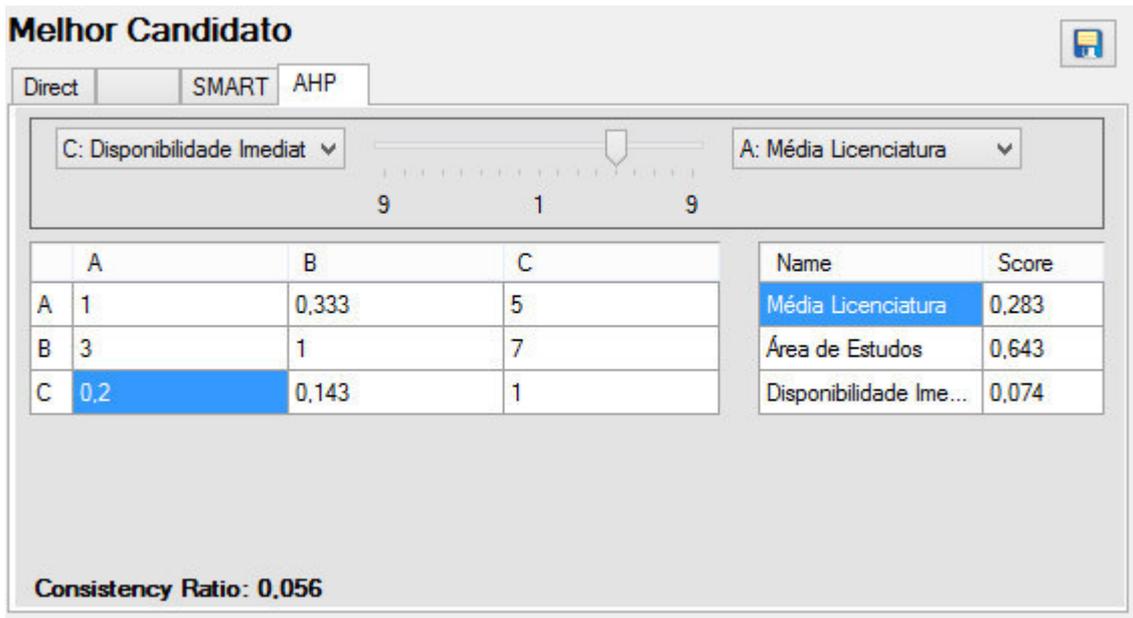


Figura 5.18 - Inserção de pesos AHP para uma categoria.

Após preencher a matriz, os pesos irão aparecer na tabela do lado direito, e o índice de consistência da matriz irá aparecer por baixo da tabela.

5.5.4 SMART

No método SMART, os valores deverão ser introduzidos na tabela da esquerda. A tabela só aceita valores iguais ou superiores a 10, e só considera um resultado válido quando todos os valores forem preenchidos e pelo menos um dos valores for igual a 10. Os pesos serão então apresentados na tabela da direita.

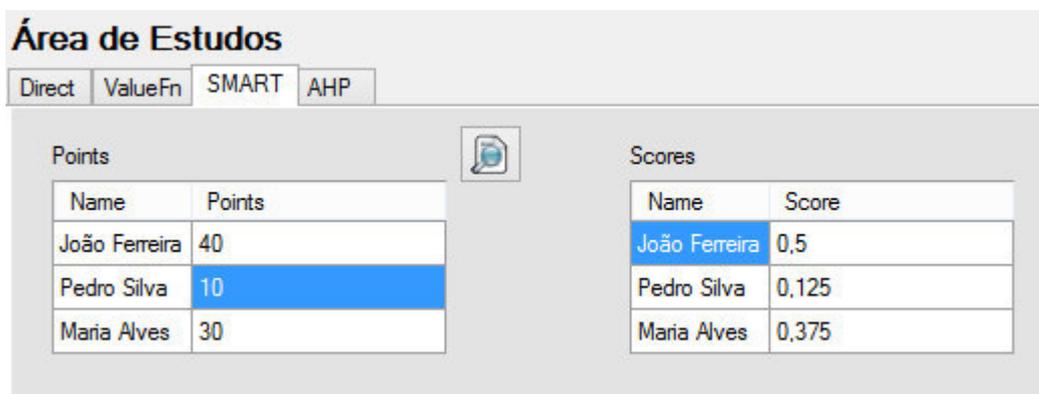
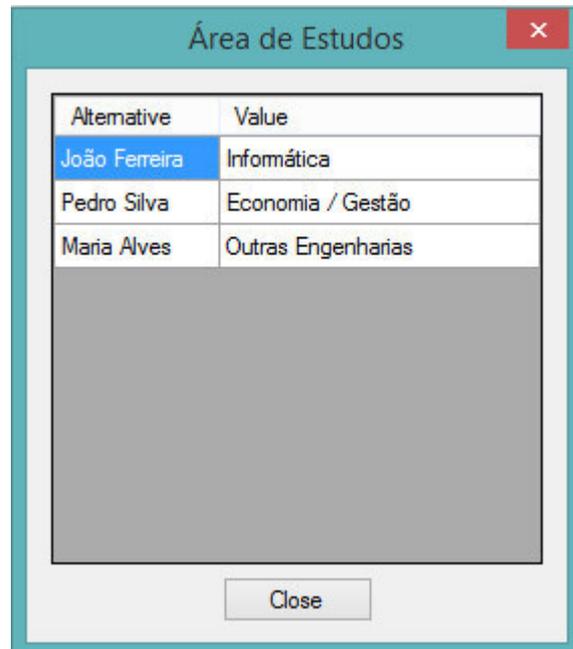


Figura 5.19 - Inserção de pesos SMART para um critério

Tal como nos métodos Pesos Diretos e AHP, temos um botão que permite abrir uma janela com os pesos das alternativas (caso se trate de um critério), que podemos ver na figura seguinte.



The image shows a software window titled "Área de Estudos" with a close button in the top right corner. Inside the window, there is a table with two columns: "Alternative" and "Value". The table contains three rows of data. The first row is highlighted in blue. Below the table, there is a large grey rectangular area, and at the bottom center, there is a "Close" button.

| Alternative | Value |
|---------------|--------------------|
| João Ferreira | Infomática |
| Pedro Silva | Economia / Gestão |
| Maria Alves | Outras Engenharias |

Figura 5.20 - Janela com os valores das alternativas

5.6 Resultados

Após todas as categorias e critérios terem pesos válidos, são apresentados os resultados na parte inferior do menu de comparação. A área de resultados é dividida em 3 vistas diferentes: vista geral, vista detalhada e análise de sensibilidade.

5.6.1 Vista geral

Na vista geral encontramos os pesos globais de cada alternativa, calculados de acordo com o método escolhido (AHP ou aditivo). Do lado esquerdo encontramos os valores em forma de tabela, e do lado direito a sua representação em gráfico de barras.

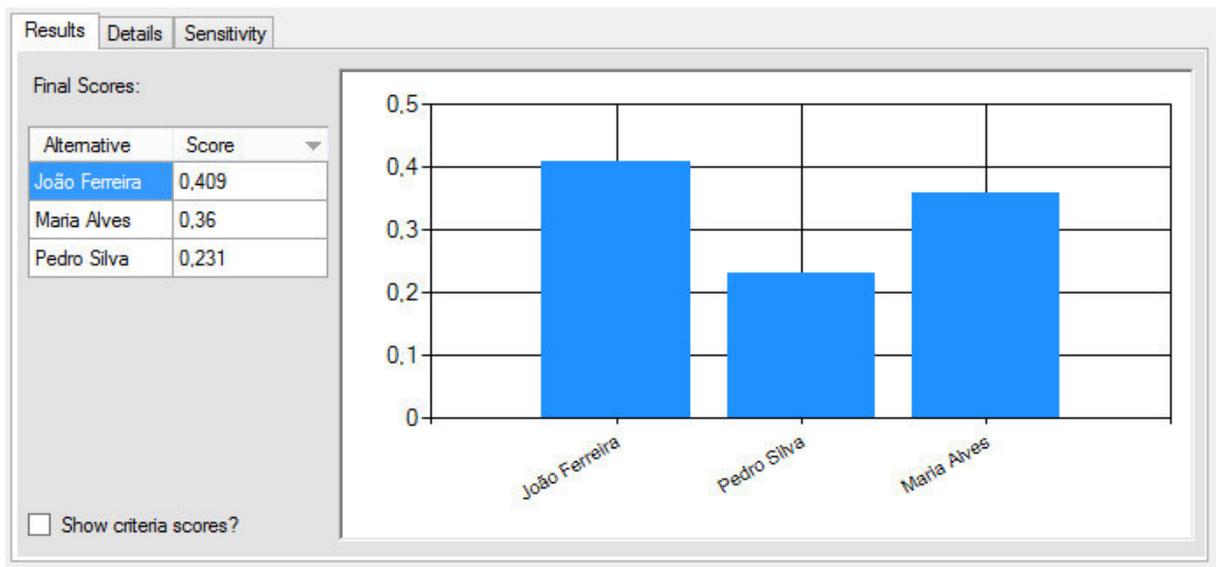


Figura 5.21 - Vista geral dos resultados

A opção “Show criteria scores?” permite dividir as barras no gráfico pela contribuição dos vários critérios, atribuindo a cada critério uma cor diferente e mostrando na legenda o peso de cada um deles.

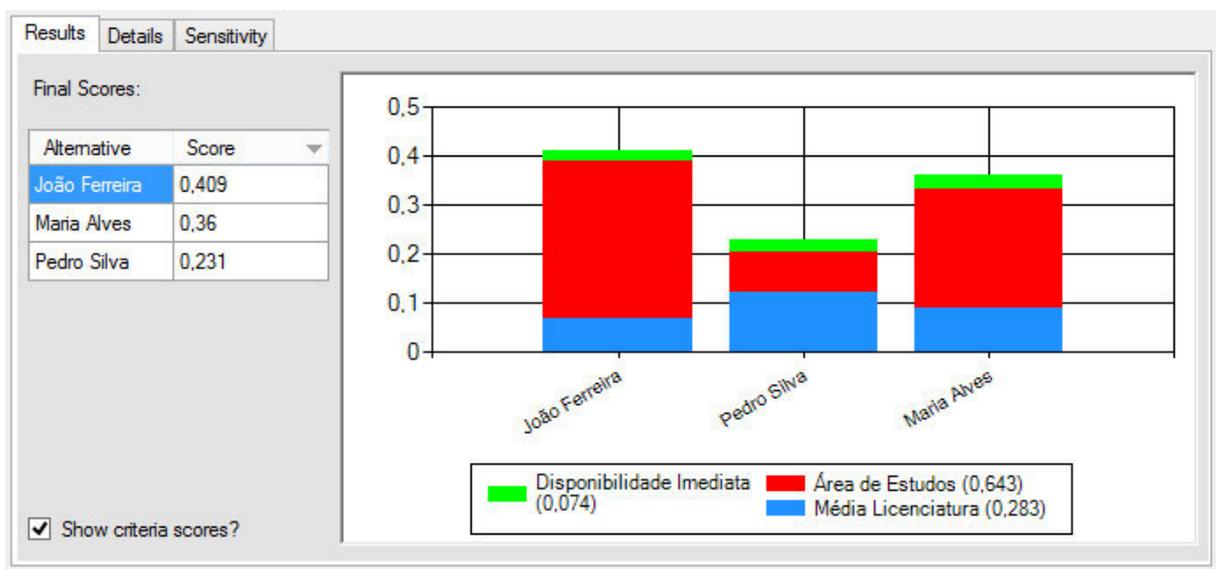


Figura 5.22 - Vista geral dos resultados dividida por critérios

5.6.2 Vista detalhada

Na vista detalhada, podemos encontrar uma vista semelhante à vista geral, mas podemos escolher qual o nó da hierarquia. Por exemplo, podemos ver qual foi a peso de cada alternativa no critério “Média”.

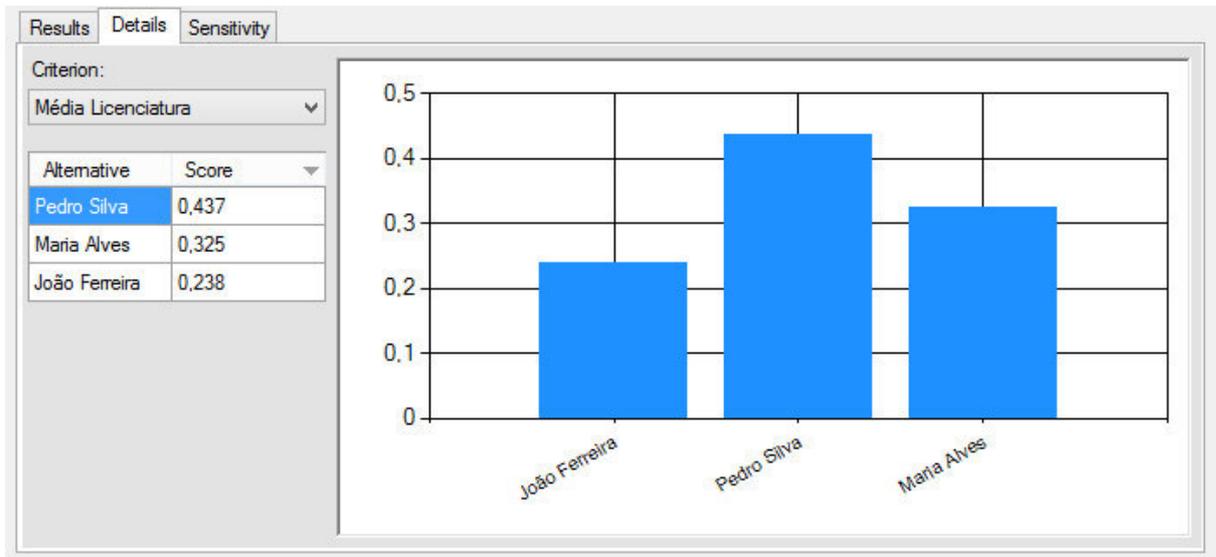


Figura 5.23 - Vista detalhada de resultados de um critério

Caso se se tratasse de uma categoria, o gráfico mostraria a divisão pelos vários subcritérios dessa subcategoria. Como neste modelo apenas temos uma categoria que é o objetivo principal, este gráfico será igual ao da vista geral.

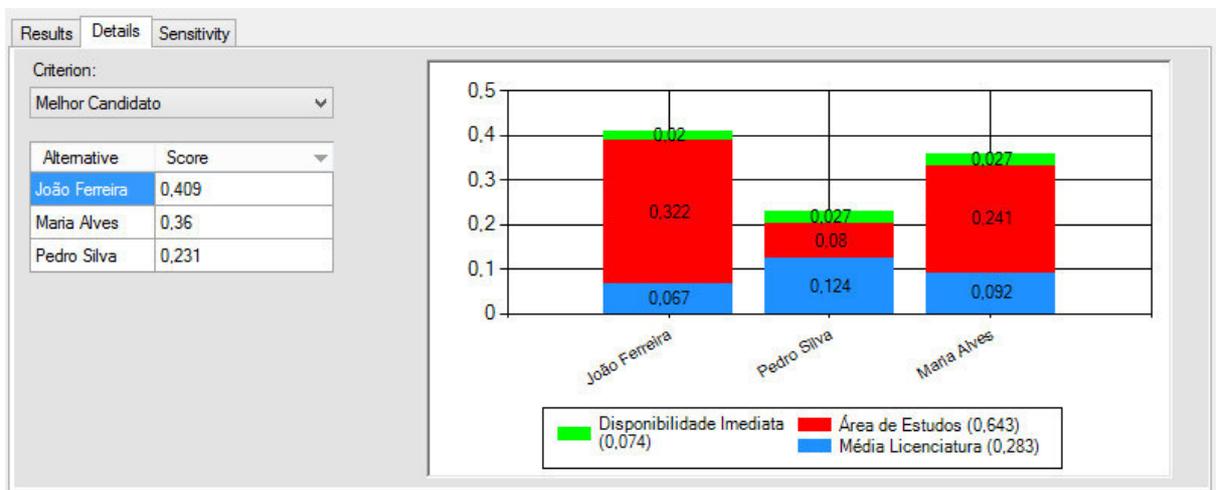


Figura 5.24 - Vista detalhada de resultados de uma categoria

5.6.3 Análise de sensibilidade

Por fim, na vista de análise de sensibilidade podemos escolher uma categoria e alterar o valor do peso de um dos seus subcritérios e ver o resultado final de acordo com essa alteração.

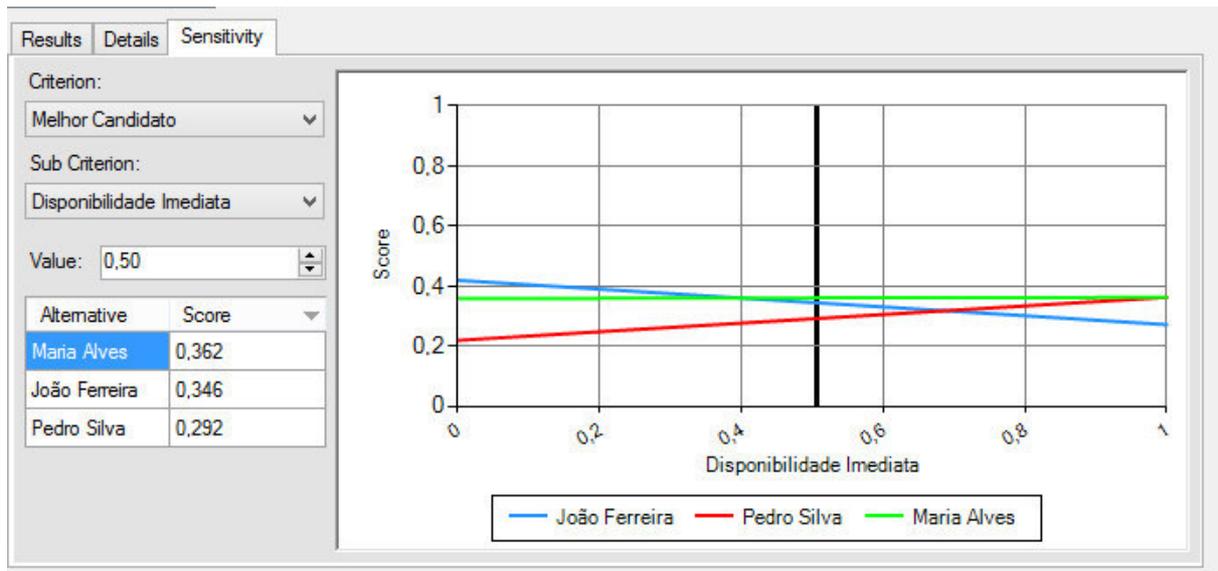


Figura 5.25 - Vista de análise de sensibilidade

Na tabela da esquerda encontramos o peso global das alternativas com a alteração no peso do critério “Disponibilidade”. No gráfico, encontramos a variação do peso de cada alternativa ao longo de todos os valores possíveis do peso desse critério.

A análise de sensibilidade permite ao utilizador verificar quais seriam as alterações no resultado final caso as suas preferências variassem, sem ter que reintroduzir todos os valores e refazer todos os cálculos.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

6.1 Conclusões

Quando estamos perante uma decisão com várias alternativas, como decidir entre elas? Quando umas são melhores nalgumas características mas piores noutras, como podemos objetivamente dizer qual delas é a melhor? O processo de tomada de decisão é um assunto vasto e difícil, e podem existir vários tipos de decisões e maneiras diferentes de lidar com elas.

A teoria da decisão veio trazer alguma clarificação e estruturação no que toca a estes problemas de decisão. Através da definição de termos e conceitos concretos, é possível definir claramente quem está a decidir, sobre o que recai a decisão, quais são as possíveis escolhas e quais são as consequências de cada uma dessas escolhas.

Pode-se dizer que cada decisão é única, mesmo em situações em que as escolhas possíveis são as mesmas, o julgamento de valor de diferentes decisores pode resultar em avaliações completamente distintas das várias consequências: a escolha ótima é então subjetiva e depende de quem está a decidir.

Com a análise de decisão multicritério apareceram variados métodos e modelos que permitem a resolução deste tipo de problemas. Cabe ao agente de decisão escolher qual o método que mais se adequa ao problema em questão, e garantir que as preferências e julgamentos de valor de todos os atores e demais envolvidos na decisão são tomados em conta.

Nem sempre este é um processo trivial, por vezes pela falta de acesso simples a estes métodos, por outras pela complexidade dos problemas que impedem a sua fácil utilização. A criação de ferramentas informáticas para este efeito veio ajudar a resolver este tipo de limitações e alargar o espectro de utilizadores potenciais de métodos de decisão multicritério.

Com este trabalho, foi feito um estudo aprofundado dos aspetos mais importantes nestas áreas de decisão e análise multicritério, nomeadamente o que é a teoria de decisão, para que serve, quais são os principais problemas que ajuda a resolver, e quais são e como se podem classificar os principais métodos de ADM. Foi depois desenvolvida uma ferramenta, com base numa ferramenta existente, melhorando a sua interface com o utilizador e introduzindo novos métodos de cálculo.

Em termos de interface, a nova ferramenta permite a visualização da árvore de objetivos, uma edição de objetivos e alternativas mais intuitiva, permite um número ilimitado de alternativas numa comparação, uma forma de preenchimento de valores mais simples, que permite ao utilizador escolher

qual o objetivo por onde começar, e mais facilmente identificar o método utilizado em cada um, a possibilidade de guardar resultados intermédios ou completos para utilização futura, e ainda uma visualização gráfica de resultados mais completa, com possibilidade de fazer uma análise de sensibilidade. Em termos de métodos, foi tornada mais flexível a escolha dos mesmos (permite a utilização dos métodos SMART e pesos diretos para todos os tipos de objetivos), permite escolher como serão feitos os cálculos globais, e a modularidade do código permitirá a introdução de novos métodos sem grandes alterações ao código base do software.

Esta ferramenta, que está disponível online em <http://code.google.com/p/besmart2>, permite a um utilizador sem grandes conhecimentos de teoria de decisão resolver problemas de decisão multicritério, com uma interface intuitiva, com recurso aos métodos AHP, SMART e Funções de Valor.

Espera-se também que a contribuição dada através da ferramenta criada, venha a resultar numa mais-valia, na obtenção de melhores decisões, para os agentes de decisão (empresas e pessoas individuais) que a venham a utilizar.

6.2 Trabalho Futuro

Este trabalho está longe de ser um ponto final na análise das técnicas de análise multicritério, e principalmente nas ferramentas de software de decisão multicritério. São constantemente apresentados novos métodos e ferramentas que podem revolucionar a forma como é vista a tomada de decisão em ambientes com múltiplos critérios. Assim, a revisão apresentada neste relatório deve apenas ser vista como um ponto de partida para uma atualização que terá de ser constante. Apenas servirá como um resumo do estado da arte atual, que poderá ser obsoleto dentro de uns anos.

Quando à ferramenta desenvolvida, ainda existem muitas possibilidades de melhoria. Em termos gráficos seria possível incorporar um assistente de utilização que funcionasse como um guia para o utilizador comum. Também seria uma adição interessante a criação dum sistema de relatórios detalhados, que permitisse analisar os resultados quer no ecrã quer em papel. Por fim, a introdução de métodos adicionais, como aqueles referidos na literatura do parágrafo anterior, faria a plataforma ainda mais completa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrell, P., & Steuer, R. E. (2000). ACADEA—A decision support system for faculty performance. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 9(5), 191-204.
- Anestis, G., Grigoroudis, E., Krassadaki, E., Matsatsinis, N. F., & Siskos, Y. (2006). Skills Evaluator: a multicriteria decision support system for the evaluation of qualifications and skills in Information and Communication Technologies. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 14(1-3), 21-34.
- Antunes, C. H., Alves, M. J., Silva, A. L., & Climaco, J. N. (1992). An integrated MOLP method base package—a guided tour of TOMMIX. *Computers & operations research*, 19(7), 609-625.
- Armstrong, J. S. (1979). Advocacy and objectivity in science. *Management Science*, 25(5), 423-428.
- Bana e Costa, C., & Chagas, M. (2004). A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 323–331. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00155-3
- Bana e Costa, C. A. (1995). Processo de apoio à decisão: problemáticas, actores e acções. *Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão-ENE/UFSC. Florianópolis.*
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J.-C. (1997). Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(2), 107-114.
- Beuthe, M., & Scannella, G. (1999). *MUSTARD User's Guide*. GTM, Facultés Universitaires Catholiques de Mons (FUCaM), Mons.
- Beuthe, M., & Scannella, G. (2001). Comparative analysis of UTA multicriteria methods. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 246–262. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00042-4
- Bois, P. D., Brans, J., Cantraine, F., & Mareschal, B. (1989). MEDICS: An expert system for computer-aided diagnosis using the PROMETHEE multicriteria methods. *European Journal of Operations Research*, 39, 284-292.
- Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE method for MCDM. *Management Science*, 31(6), 647-656. doi: doi:10.1287/mnsc.31.6.647
- Chankong, V., & Hamies, Y. Y. (1983). *Multi-objective Decision Making: Theory and Methodology*. New York: North-Holland.
- Climaco, J., & Henggeler Antunes, C. (1989). Implementation of a user-friendly software package—A guided tour of TRIMAP. *Mathematical and Computer Modelling*, 12(10), 1299-1309.
- Colson, G. (2000). The OR's prize winner and the software ARGOS: how a multijudge and multicriteria ranking GDSS helps a jury to attribute a scientific award. *Computers & Operations Research*, 27(7), 741-755.
- Costa, J. P., Melo, P., Godinho, P., & Dias, L. s. C. (2003). The AGAP system: a GDSS for project analysis and evaluation. *European Journal of Operational Research*, 145(2), 287-303.
- Csáki, P., Rapcsák, T., Turchányi, P., & Vermes, M. (1995). R and D for group decision aid in Hungary by WINGDSS, a Microsoft Windows based group decision support system. *Decision Support Systems*, 14(3), 205-217.
- De Keyser, W. S., & Peeters, P. (1994). ARGUS—A new multiple criteria method based on the general idea of outranking *Applying multiple criteria aid for decision to environmental management* (pp. 263-278): Springer.
- Dias, L., & Climaco, J. (2000). Additive aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. *Journal of the Operational Research Society*, 1070-1082.

- Dias, L., Mousseau, V., Figueira, J., Climaco, J., & da Silva, C. G. (2002). IRIS 1.0 software. *European Working Group "Multicriteria Aid for Decisions". Newsletter*(5), 3.
- Dyer, J. S. (1990). Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *Management Sciences*, 36(3), 249-258. doi: 10.1287/mnsc.36.3.249
- Dyer, J. S., & Sarin, R. K. (1979). Measurable Multiattribute Value Functions. *Operations Research*, 27(4), 810-822. doi: 10.1287/opre.27.4.810
- Edwards, W., & Barron, F. H. (1994). SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60(3), 306-325.
- Ehtamo, H., Verkama, M., & Hamalainen, R. P. (1999). How to select fair improving directions in a negotiation model over continuous issues. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 29(1), 26-33.
- Fernandez, A. (1996). Software Review: Expert Choice. *OR/MS Today*, 23(4), 80-83.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple criteria decision analysis : state of the art surveys*. New York: Springer.
- Gandibleux, X. (1999). Interactive multicriteria procedure exploiting a knowledge-based module to select electricity production alternatives: The CASTART system. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 355-373.
- Geldermann, J., & Zhang, K. (2002). Software review: "Decision Lab 2000". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10(6), 317-323. doi: 10.1002/mcda.311
- Gomes, L. F. A. M., González, M. C. A., & Carignano, C. (2004). *Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. Thomson.
- Granat, J., Kreglewski, T., Paczynski, J., & Stachurski, A. (1994). IAC-DIDAS-N++ modular modeling and optimization system. *Part I: Theoretical Foundations, Part II: Users Guide. Report of the Institute of Automatic Control, Warsaw University of Technology*.
- Grigoroudis, E., Siskos, Y., & Saurais, O. (2000). TELOS: a customer satisfaction evaluation software. *Computers & Operations Research*, 27(7), 799-817.
- Gustafsson, J., Salo, A., & Gustafsson, T. (2001). PRIME Decisions: An Interactive Tool for Value Tree Analysis. In M. Koksalan & S. Zionts (Eds.), *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (pp. 165-176): Springer Berlin Heidelberg.
- Haerer, W. (2000). Software Review: Criterium Decision Plus 3.0. *OR/MS Today*, 27(1).
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1999). *Smart choices: a practical guide to making better life decisions*. Random House LLC.
- Havlicek, J., Domeova, L., Subrt, T., & Vaneckova, E. (2007). Distance Learning Module for Management Science: <http://orms.pef.czu.cz/text/game-theory/DecisionTheory.html>.
- Hinloopen, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (1983). Qualitative discrete multiple criteria choice models in regional planning. *Regional Science and Urban Economics*, 13(1), 77-102.
- Hipel, K. W., Marc Kilgour, D., Fang, L., & Peng, X. J. (1997). The decision support system GMCR in environmental conflict management. *Applied Mathematics and Computation*, 83(2), 117-152.
- Insua, D. R., Gallego, E., Mateos, A., & Rios-Insua, S. (2000). MOIRA: a decision support system for decision making on aquatic ecosystems contaminated by radioactive fallout. *Annals of Operations Research*, 95(1-4), 341-364.
- Jablonský, J. (2001). *Multicriteria evaluation of alternatives in spreadsheets*. Paper presented at the Proceedings of the SOR'01 Conference, Preddvor.
- Jacquet-Lagrange, E., & Siskos, J. (1982). Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*, 10(2), 151-164. doi: 10.1016/0377-2217(82)90155-2

- Jacquet-Lagrèze, E. (1990). Interactive Assessment of Preferences Using Holistic Judgments the Prefcalc System. In C. A. B. e. Costa (Ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (pp. 225-250): Springer Berlin Heidelberg.
- Jarke, M., Jelassi, M. T., & Shakun, M. F. (1987). MEDIATOR: Towards a negotiation support system. *European Journal of Operational Research*, 31(3), 314-334.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*: Cambridge university press.
- Korhonen, P. (1988). A visual reference direction approach to solving discrete multiple criteria problems ☆. *European Journal of Operational Research*, 34(2), 152–159.
- Lee, S. M. (1972). *Goal programming for decision analysis*: Auerbach Philadelphia.
- Levine, P., & Pomerol, J.-C. (1986). Priam, an interactive program for choosing among multiple attribute alternatives. 25(2), 272–280.
- Lewandowski, A. (1989). SCDAS—Decision support system for group decision making: Decision theoretic framework. *Decision Support Systems*, 5(4), 403-423.
- Loetscher, T. (2000). A Simple Expert System for Evaluating Sanitation Systems in Developing Countries. *EcoEng Newsletter, International Ecological Engineering Society*, 2(1).
- Lootsma, F. A. (1992). The REMBRANDT system for multi-criteria decision analysis via pairwise comparisons or direct rating. Delft, Netherlands: Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology.
- Lotov, A., Bushenkov, V., & Kamenev, G. (2001). *Feasible goals method: search for smart decisions*: Russian Academy of Sciences, Computing Centre.
- Lotov, A., Kamenev, G., & Berezkin, V. (2001). Software for visualization of the feasible set in criterion space in nonlinear MDCA problems.
- Lotov, A. V., Bushenkov, V. A., & Chernykh, O. L. (1997). Multi-criteria DSS for river water quality planning. *Microcomputers in Civil Engineering*, 12(1).
- Loyola, I. (1964). *The Spiritual Exercises of St. Ignatius*. Trans. Anthony Mottola. New York: Image Books/Doubleday.
- MacCrimmon, K. R. (1973). An overview of multiple objective decision making. *Multiple criteria decision making*, 3.
- Mareschal, B., & Brans, J. P. (1991). BANKADVISER: An industrial evaluation system. *European Journal of Operational Research*, 54(3), 318-324.
- Matarazzo, B. (1986). Multicriterion analysis of preferences by means of pairwise actions and criterion comparisons (MAPPACC). *Applied Mathematics and Computation*, 18(2), 119–141. doi: 10.1016/0096-3003(86)90020-2
- Matarazzo, B. (1988). Preference ranking global frequencies in multicriterion analysis (Pragma). *European Journal of Operational Research*, 36(1), 36–49. doi: 10.1016/0377-2217(88)90005-7
- Matsatsinis, N., & Siskos, Y. (2001). *DIMITRA: An intelligent decision support system for agricultural products development decisions*. Paper presented at the Proceedings of the 3rd European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment (EFITA 2001).
- Matsatsinis, N. F., & Delias, P. (2003). AgentAllocator: An agent-based multi-criteria decision support system for task allocation *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing* (pp. 225-235): Springer.
- Matsatsinis, N. F., & Siskos, Y. (1999). MARKEX: An intelligent decision support system for product development decisions. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 336-354.
- Miettinen, K., & Mäkelä, M. M. (2000). Interactive multiobjective optimization system WWW-NIMBUS on the Internet. *Computers & Operations Research*, 27(7), 709-723.

- Mirrazavi, S. K., Jones, D. F., & Tamiz, M. (2003). MultiGen: an integrated multiple-objective solution system. *Decision Support Systems*, 36(2), 177-187.
- Mustajoki, J., & Hamalainen, R. P. (2000). Web-HIPRE: global decision support by value tree and AHP analysis. *INFOR J*, 38(3), 208-220.
- Mustajoki, J., Hämäläinen, R. P., & Salo, A. (2005). Decision support by interval SMART/SWING—incorporating imprecision in the SMART and SWING methods. *Decision Sciences*, 36(2), 317-339.
- . NAIAD Manual and Tutorial. (1996). Ispra, Italy: Joint Research Center of the European Commission.
- Paelinck, J. H. (1976). Qualitative multiple criteria analysis, environmental protection and multiregional development. *Papers in Regional Science*, 36(1), 59-76.
- Papadrakakis, M., Lagaros, N., & Sevastyanov, V. (2003). *A new visualization method of multidimensional numerical models for structural optimization*. Paper presented at the Proceedings of Second MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics. Elsevier, Amsterdam.
- Papamichail, K., & French, S. (2000). Decision support in nuclear emergencies. *Journal of hazardous materials*, 71(1), 321-342.
- Podinovski, V. (1999). A DSS for multiple criteria decision analysis with imprecisely specified trade-offs. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 261–270. doi: 10.1016/S0377-2217(98)00215-X
- Rogers, M., Bruen, M., & Maystre, L. (2000). *ELECTRE and Decision Support: Methods and Applications in Engineering and Infrastructure*. Kluwer Academic Publishers.
- Roubens, M. (1982). Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 10(1), 51-55.
- Roubens, M. (2002). Ordinal multiattribute sorting and ordering in the presence of interacting points of view *Aiding Decisions with Multiple Criteria* (pp. 229-246): Springer.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *RAIRO-Operations Research-Recherche Opérationnelle*, 2(V1), 57-75.
- Roy, B. (1978). ELECTRE III: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahiers du CERO*, 20(1), 3-24.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory and Decision*, 31(1), 49-73. doi: 10.1007/BF00134132
- Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding* (Vol. 12): Springer.
- Roy, B., & Bertier, P. (1973). La Méthode ELECTRE II (Une application au média-planning...).
- Roy, B., & Martel, J.-M. (2006). Analyse de la signifiante de diverses procédures d'agrégation Multicritère.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation*. New York ; London: McGraw-Hill.
- Salo, A. A., & Hämäläinen, R. P. (1995). Preference programming through approximate ratio comparisons. *European Journal of Operational Research*, 82(3), 458-475.
- Saunders, M. N., Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2011). *Research methods for business students*, 5/e. Pearson Education India.
- Seixedo, C. (2009). *Multicriteria Decision Aid: Evaluation and Comparison of the Main Tools*. (Master), Universidade do Minho.
- Siskos, Y., Spyridakos, A., & D., Y. (1999). Using artificial intelligence and visual techniques into preference disaggregation analysis: The MIIDAS system. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 281–299. doi: 10.1016/S0377-2217(98)00217-3
- Siskos, Y., Spyridakos, A., & Yannacopoulos, D. (1993). MINORA: A multicriteria decision aiding system for discrete alternatives. *Journal of Information Science and Technology*, 2(2), 136-149.

- Srinivasan, V., & Ruparel, B. (1990). CGX: An expert support system for credit granting. *European Journal of Operational Research*, 45(2), 293-308.
- Steuer, R. E. (1992). Manual for the ADBASE multiple objective linear programming package. *Department of Management Science and Information Technology, University of Georgia*.
- Tereso, A. (2009). *Técnicas de Decisão Multicritério (Sebenta)*. Departamento de Produção e Sistemas. Universidade do Minho.
- Tereso, A., Sampaio, A., Frade, H., Costa, M., & Abreu, T. (2011). beSMART: a software tool to support the selection of decision software.
- Tereso, A., & Seixedo, C. (2010). *Multicriteria Decision Aid: Evaluation and Comparison of the Main Tools*. Paper presented at the EURO XXIV conference, Lisbon–Portugal.
- Tereso, A. P., Sampaio, A., Frade, H., Costa, M., & Abreu, T. (2011). beSMART: a software tool to support the selection of decision software.
- Vincke, P. (1992). *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley & Sons, New York.
- Voogd, H. (1982). Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data. *Environment and Planning B*, 9, 221-236.
- Vraneš, S., Stanojević, M., Stevanović, V., & Lučin, M. (1996). INVEX: Investment advisory expert system. *Expert Systems*, 13(2), 105-119.
- Weber, S. F., & Lippiatt, B. (1989). AutoMan: Decision Support Software for Automated Manufacturing Investments.
- White, M., & Palocsay, S. (1999). Software review: Decision Explorer. *OR/MS TODAY*, 26(5), 62-64.
- Yoon, K. P., & Hwang, C.-L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction* (Vol. 104): Sage Publications.
- Yu, W. (1992). ELECTRE TRI(aspects méthodologiques et manuel d'utilisation). *Document- Université de Paris-Dauphine, LAMSADE*.
- Zapatero, E. G., Smith, C. H., & Weistroffer, H. R. (1997). Evaluating Multiple-Attribute Decision Support Systems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(4), 201-214. doi: 10.1002/(SICI)1099-1360(199707)6:4<201::AID-MCDA138>3.0.CO;2-Z
- Zeleny, M., & Cochrane, J. L. (1982). Multiple criteria decision making.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (1998). Developing a multicriteria decision support system for financial classification problems: The FINCLAS system. *Optimization Methods and Software*, 8(3-4), 277-304.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (1999). A multicriteria decision aid methodology for sorting decision problems: The case of financial distress. *Computational Economics*, 14(3), 197-218.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2000). PREFDIS: A multicriteria decision support system for sorting decision problems. *Computers & Operations Research*, 27(7), 779-797.
- Zopounidis, C., Matsatsinis, N., & Doumpos, M. (1996). Developing a multicriteria knowledge-based decision support system for the assessment of corporate performance and viability: The FINEVA system. *Fuzzy Economic Review*, 1(2), 35-53.