



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Susana de Jesus Prozil Rodrigues

**Prioritização de Requisitos de Software  
utilizando AHP e ELECTRE I**



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Susana de Jesus Prozil Rodrigues

## **Prioritização de Requisitos de Software utilizando AHP e ELECTRE I**

Mestrado em Informática

Trabalho efectuado sob a orientação do  
**Professor Doutor João Miguel Fernandes**  
e do  
**Professor Doutor Lino António Costa**

Outubro de 2009

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## Agradecimentos

Agradeço ao Professor Doutor João Miguel Fernandes e ao Professor Doutor Lino Costa, toda a orientação científica, imprescindível para a execução desta dissertação.

Agradeço também à *Primavera Business Software Solutions* pela disponibilidade em colaborar nesta dissertação disponibilizando-se para aplicar os métodos a um dos seus projectos. De igual modo agradeço ao Professor Sérgio Sousa e ao Engenheiro Eduardo Pinto, pela disponibilização em aplicar os métodos ao caso de estudo.

O meu muito obrigada à minha família e aos meus amigos pelo apoio incondicional e compreensão manifestada ao longo de todo o tempo dedicado à elaboração deste trabalho.



# Prioritização de Requisitos de Software utilizando AHP e ELECTRE I

## Resumo

A prioritização de requisitos é um processo que permite seleccionar os requisitos “chave”, aqueles que serão realmente importantes para a construção de um software de qualidade e com custos controlados. Não sendo um processo estagnado e fixo no tempo, a prioritização de requisitos traz consigo certos problemas e desafios quer com os diferentes *stakeholders* envolvidos no projecto, quer com as próprias técnicas de prioritização usadas e que diferem em critérios e métricas.

Mais concretamente esta dissertação compara dois métodos de decisão multicritério, AHP e ELECTRE I, procurando justificar qual se adequa melhor na prioritização de requisitos de um caso de estudo real. Para tal, foram utilizados vários critérios que foram decididos durante o decorrer da dissertação e que visam comparar a aplicabilidade e desempenho de cada um dos algoritmos. Procurando um contexto o mais aproximado possível da realidade foram envolvidos vários *stakeholders*, envolvendo profissionais ligados directamente ao caso de estudo.



# Software Requirements Prioritization using AHP and ELECTRE I

## Abstract

Requirement prioritization is a process that allows selection of the “key” requirements, the ones that will be the most important for the construction of quality and cost-controlled software. Not being stagnant and fixed in time, requirement prioritization brings certain issues and challenges related with the different stakeholders involved in the project, as well as with the own prioritization techniques used, which differ in criteria and metrics.

More specifically this thesis compares two multi-criteria decision methods, AHP and ELECTRE I, seeking to justify which one fits best in requirement prioritization process of a real-world case study. To accomplish this aim, several criteria were used to compare the applicability and performance of each algorithm. In order to reflect reality as close as possible, several stakeholders, including software professionals directly related to the case study, were involved.



# Conteúdo

Conteúdo . . . . .	viii
Lista de Figuras . . . . .	ix
Lista de Tabelas . . . . .	xi
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e motivações . . . . .	1
1.2 Objectivos e metodologias usadas . . . . .	2
1.3 Estrutura da tese . . . . .	2
<b>2 Engenharia de Requisitos</b>	<b>5</b>
2.1 O que são Requisitos? . . . . .	5
2.2 O que é Engenharia de Requisitos? . . . . .	7
2.3 Processo da Engenharia de Requisitos . . . . .	9
2.3.1 Descoberta de Requisitos . . . . .	12
2.3.2 Análise e Negociação de Requisitos . . . . .	14
2.3.3 Validação de Requisitos . . . . .	15
<b>3 Prioritização de Requisitos</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Stakeholders</i> Envolvidos na Prioritização de Requisitos . . . . .	18
3.2 Critérios de Prioritização . . . . .	19
3.3 Técnicas de Prioritização . . . . .	19

<b>4</b>	<b>AHP</b>	<b>23</b>
4.1	Introdução . . . . .	23
4.2	Descrição do Método . . . . .	24
<b>5</b>	<b>ELECTRE I</b>	<b>33</b>
5.1	Introdução . . . . .	33
5.2	Descrição do Método . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Caso de Estudo</b>	<b>39</b>
6.1	Aplicação dos Métodos . . . . .	39
6.2	Análise de Consistência do método AHP . . . . .	40
6.3	Análise dos Resultados . . . . .	41
6.4	Análise do Questionário . . . . .	46
<b>7</b>	<b>Conclusões</b>	<b>49</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>51</b>
<b>A</b>	<b>Folha de Cálculo do AHP</b>	<b>57</b>
<b>B</b>	<b>Folha de Cálculo do ELECTRE I</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>Resultados AHP</b>	<b>61</b>
<b>D</b>	<b>Resultados ELECTRE I</b>	<b>63</b>
<b>E</b>	<b>Resultados do Questionário</b>	<b>65</b>

# Lista de Figuras

2.1	Entradas e Saídas da Engenharia de Requisitos . . . . .	9
2.2	Modelo em Espiral para o processo da Engenharia de Requisitos	11
2.3	Processo de Descoberta de Requisitos . . . . .	14
2.4	Processo de Análise e Negociação de Requisitos . . . . .	16
4.1	Esquema da hierarquia usada no AHP . . . . .	26
4.2	Exemplo de uma hierarquia usada no AHP . . . . .	28
A.1	Definição dos requisitos e critérios para o AHP . . . . .	57
A.2	Comparação dos Requisitos no AHP . . . . .	58
A.3	Resultado Final do AHP . . . . .	58
B.1	Definição dos requisitos e critérios para o ELECTRE I . . . . .	59
B.2	Atribuição de valores aos requisitos no ELECTRE I . . . . .	60
B.3	Resultado Final do ELECTRE I . . . . .	60



# Lista de Tabelas

2.1	Entradas e Saídas do Processo de Engenharia de Requisitos . . .	10
4.1	Escala de comparação . . . . .	29
4.2	Índice Aleatório para $n \leq 15$ . . . . .	32
4.3	Índice Aleatório para $n > 15$ . . . . .	32
6.1	Resultados do cálculo da Razão de Consistência . . . . .	41
6.2	Comparação dos Resultados Individuais do AHP e ELECTRE I	42
6.3	Comparação dos Resultados Globais do AHP e ELECTRE I .	45
6.4	Comparação dos Resultados do AHP . . . . .	45
6.5	Comparação dos Resultados do ELECTRE I . . . . .	46
C.1	Resultados AHP . . . . .	61
D.1	Resultados ELECTRE I para os <i>Stakeholders</i> 1 e 2 . . . . .	63
D.2	Resultados ELECTRE I para os <i>Stakeholders</i> 3 e 4 . . . . .	64



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento e motivações

É sabido que a decisão de quais as funcionalidades a incluir num produto de software se revela, em muitos casos, bastante difícil, devido a diversos factores. Isto aliás pode ser confirmado nas seguintes palavras de Frederik Brooks [9]:

*The hardest single part of building a software system is deciding precisely what to build. [...] No other part of work so cripples the resulting system if done wrong. No other part is more difficult to rectify later.*

Dado um conjunto de requisitos candidatos, e que à partida se consideram relevantes, é realmente necessário conseguir seleccionar o subconjunto com os requisitos mais importantes para se conseguir desenvolver um software de qualidade, mas também para se reduzir os custos [23]. A priorização de requisitos ajuda a identificar esses requisitos “chave” e pode então ser vista como um processo que ordena um conjunto de requisitos [6].

Não sendo um processo estagnado e fixo no tempo, a priorização de requisitos traz consigo certos problemas e complicações, quer com os diferen-

tes *stakeholders*<sup>1</sup> envolvidos no projecto, quer com as próprias técnicas de análise usadas que diferem em critérios e métricas. Assim, um dos grandes problemas da prioritização é a escolha da técnica mais adequada tendo em consideração a sua aplicabilidade e os resultados obtidos.

## 1.2 Objectivos e metodologias usadas

O objectivo desta dissertação é comparar métodos de prioritização de requisitos e, em particular, avaliar a sua relevância prática, facilidade de utilização e intuitividade dos resultados. Assim sendo não se pretende analisar do ponto de vista matemático, algoritmo e formal, o desempenho dos métodos, mas sim fazer essa análise de um ponto de vista prático, procurando conclusões acerca da sua aplicabilidade e eficiência num caso de estudo real.

Mais concretamente, nesta dissertação foram comparados os métodos AHP e ELECTRE I. O AHP foi escolhido por ser um método muito usado na prioritização de requisitos, enquanto o ELECTRE I foi escolhido exactamente por não se conhecer nenhuma aplicação neste campo, apesar de este ser um método bastante utilizado na análise de problemas multicritério.

A avaliação da aplicação dos métodos foi efectuada com base na análise de consistência, na análise dos resultados e na análise dos inquéritos efectuados aos *stakeholders*.

## 1.3 Estrutura da tese

Esta tese está dividida em sete capítulos.

---

<sup>1</sup>Os *stakeholders* do sistema são as pessoas ou organizações que serão afectadas pelo sistema e as que têm uma influência directa nos requisitos do sistema [25]. Outras definições para *stakeholders* podem ser encontradas em [38].

No primeiro capítulo é feita uma introdução e enquadramento do tema da tese. São expostos os objectivos e as motivações para o trabalho desenvolvido, bem como é apresentada a estrutura da tese.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica na área de Engenharia de Requisitos. Apresentam-se as principais definições de Requisitos e de Engenharia de Requisitos, assim como as principais etapas do processo de Engenharia de Requisitos.

No terceiro capítulo é apresentada a Prioritização de Requisitos e, consequentemente, os *stakeholders* e os critérios envolvidos. É ainda feita uma breve descrição de algumas das técnicas de prioritização existentes.

No quarto capítulo é exposto um dos métodos utilizados nesta dissertação, o AHP, efectuando-se uma descrição da sua aplicação e das suas vantagens e desvantagens.

No quinto capítulo é exibido o segundo método utilizado, o ELECTRE I.

No sexto capítulo é apresentado o caso de estudo e a aplicação dos métodos, assim como os resultados obtidos.

Por último, no sétimo capítulo, são expostas as conclusões obtidas a partir do estudo efectuado.



# Capítulo 2

## Engenharia de Requisitos

### 2.1 O que são Requisitos?

Existem diversas definições de requisitos, muitas vezes, com perspectivas diferentes. Assim, e para melhor entender os conceitos inerentes à ideia de requisitos, serão apresentadas algumas das definições que se encontram na literatura.

Já em 1977, Ross e Schoman [32] definiram requisitos como uma avaliação cuidadosa das necessidades que o sistema tem que cumprir. Segundo Ross e Schoman, um requisito terá que dizer porque é que o sistema é necessário, que atributos do sistema são necessários e irão satisfazer o seu contexto, e deverá ainda dizer como o sistema será construído.

Assim, os requisitos devem tratar das razões pelas quais o sistema deve ser criado, da descrição do que o sistema será e das restrições que o sistema deve respeitar na sua implementação [32].

Segundo a norma IEEE 610.12 de 1990 [18], os requisitos são:

1. A condição ou capacidade necessária pelo utilizador para resolver um problema ou atingir um objectivo.

2. A condição ou capacidade que precisa de ser atendida ou estar presente no sistema ou componente para satisfazer um contrato, uma norma, uma especificação ou outros documentos impostos formalmente.
3. Uma representação documentada de uma condição ou capacidade tal como em 1. ou 2.

Por sua vez, em [39], os requisitos são definidos como a especificação do que deve ser implementado. São a descrição de como o sistema se deve comportar, ou de uma propriedade ou atributo do sistema. Os requisitos podem ser uma restrição no proceso de desenvolvimento do sistema. Os autores desse livro referem ainda que os requisitos devem descrever:

- uma facilidade ao nível do utilizador;
- uma propriedade geral do sistema;
- uma restrição específica do sistema;
- uma restrição no processo de desenvolvimento do sistema.

Em 1998, Kotonya e Sommerville [25] referiram que os requisitos, para além de descrever os pontos citados anteriormente, deveriam ainda descrever como executar alguma computação.

Mais recentemente, em 2004, Young definia os requisitos como os atributos necessários no sistema, uma descrição que identifica uma capacidade, característica, ou factor de qualidade do sistema para que possa ter valor ou utilidade para o cliente ou utilizador. Young menciona ainda que os requisitos são importantes porque fornecem a base para todo o trabalho de desenvolvimento que se segue [41].

## 2.2 O que é Engenharia de Requisitos?

Tal como para o conceito de requisito, também aqui se encontram algumas ideias sobre o que é Engenharia de Requisitos, não existindo uma definição consensual.

Kotonya e Sommerville referem que a Engenharia de Requisitos é um termo relativamente novo, o qual foi inventado para cobrir todas as actividades envolvidas na descoberta, documentação e manutenção de um conjunto de requisitos num sistema. Kotonya e Sommerville defendem que o uso do termo “Engenharia” implica que técnicas sistemáticas e repetitivas sejam usadas para assegurar que os requisitos do sistema sejam completos, consistentes e relevantes [25].

Gilb [16] define Engenharia como o uso de princípios de forma sistemática, para encontrar a concepção que satisfaça os requisitos, atendendo às restrições sob condições de incerteza. Convém ter em atenção que:

- Princípios são regras que guiam as escolhas e acções dos engenheiros. Princípios não são leis rígidas. Eles reflectem a experiência adquirida em projectos anteriores.
- Na forma sistemática deve-se incluir *brainstorming*<sup>1</sup> e testes aleatórios para avaliação de conhecimento adquirido.
- Satisfazer os requisitos implica um processo que continua além das fases de concepção até às fases de implementação.
- Condições de incerteza existem porque se deve lidar com combinações que estão a ser aplicadas a contextos em constante mudança.

---

<sup>1</sup>um grupo de discussão para produzir ideias e maneiras de resolver problemas

Gilb acredita que esta definição de Engenharia é relevante para a Engenharia de Software.

Zave, por sua vez, define a Engenharia de Requisitos como o ramo da Engenharia de Software relacionado com os objectivos do mundo real estabelecidos para as funções e restrições aplicáveis a sistemas de software. Está também relacionada com a ligação desses factores a especificações precisas de comportamento do software e da sua evolução no tempo e através da família de produtos [42].

Nuseibeh e Easterbrook [29] apontam a definição de Engenharia de Requisitos fornecida por Zave como uma das mais claras. Destacam a importância dos “objectivos do mundo real” que motivam o desenvolvimento de um sistema de software, representando os “porquês” e os “comos” de um sistema. Referem também as “especificações precisas” que oferecem a base para as actividades de análise, validação, definição e verificação de requisitos. Por último mencionam ainda “evolução no tempo e através da família de produtos” como a identificação da realidade de um mundo em constante mudança, e da necessidade de reutilização de especificações parciais, tal como acontece em outros ramos da engenharia.

Segundo Lamsweerd, a Engenharia de Requisitos trata da identificação dos objectivos a serem atingidos pelo sistema projectado, a operacionalização desses objectivos em serviços e restrições, e a atribuição de responsabilidades dos requisitos resultantes a agentes como os humanos, dispositivos e software [26].

Em [40], Sommerville menciona que Engenharia de Requisitos é o nome dado a um conjunto de actividades estruturadas que ajudam a desenvolver a descoberta dos requisitos e do documento de especificação do sistema para os *stakeholders* e para os engenheiros envolvidos no desenvolvimento do sistema.

Através das definições apresentadas é possível verificar a existência de actividades ligadas à Engenharia de Requisitos que ocorrem no início do ciclo de vida do software, mas também é possível identificar a existência de actividades que acompanham todo esse ciclo.

## 2.3 Processo da Engenharia de Requisitos

Segundo Kotonya e Sommerville [25] o processo de Engenharia de Requisitos é organizado por actividades que transformam entradas em saídas, como se verifica na figura 2.1. Essas entradas e saídas são descritas na tabela 2.1.



Figura 2.1: Entradas e Saídas da Engenharia de Requisitos, adaptado de [25].

Na figura 2.1, o processo da Engenharia de Requisitos é representado como uma “caixa preta”, mas na realidade o processo da Engenharia de Requisitos é um processo complexo composto pelas seguintes actividades [40]:

- **Descoberta<sup>2</sup>**: identificar as fontes de informação do sistema e descobrir

---

<sup>2</sup>Em inglês esta actividade é designada por “Requirements Elicitation”. Uma vez que “Elicitation” se trata ainda de um vocábulo sem uma tradução clara para a língua portuguesa será, neste documento, designado por “Descoberta”.

<b>Entrada/Saída</b>	<b>Descrição</b>
Informação dos sistemas existentes	Informações gerais sobre o sistema que será substituído ou criado e de outros sistemas com os quais o sistema deverá interagir.
Necessidades dos <i>stakeholders</i>	Descrição do que os <i>stakeholders</i> precisam que o sistema faça para apoiar o seu trabalho.
Padrões organizacionais	Padrões e normas adoptadas pela empresa para o desenvolvimento de sistemas.
Normas e regulamento	Normas e regulamentos externos que se apliquem ao sistema.
Informação do domínio	Informações gerais sobre o domínio do sistema.
Requisitos aceites	Descrição dos requisitos que foram aceites pelos <i>stakeholders</i> .
Especificação do sistema	Especificação mais detalhada das funcionalidades do sistema.
Modelos do sistema	Um conjunto de modelos que descrevem o sistema a partir de diferentes perspectivas.

Tabela 2.1: Entradas e Saídas do Processo de Engenharia de Requisitos, adaptado de [25].

os requisitos a partir destas.

- **Análise:** compreender os requisitos, as suas áreas de interesse e os seus conflitos.
- **Negociação:** reconciliar as diferentes visões dos *stakeholders* e tentar criar um conjunto de requisitos consistentes.

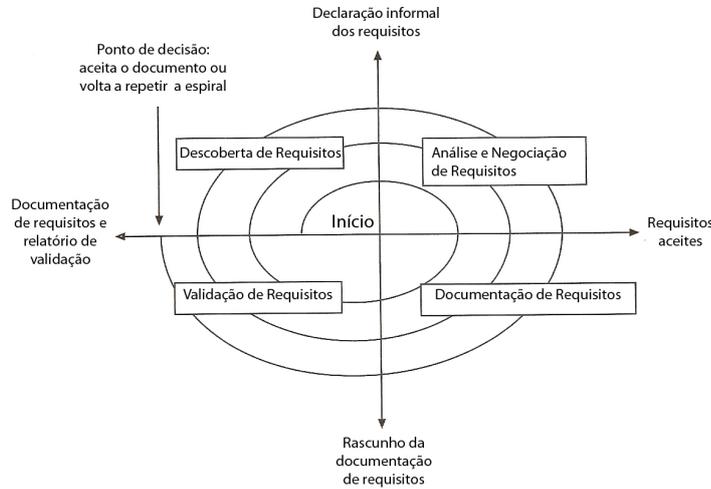


Figura 2.2: Modelo em espiral para o processo da Engenharia de Requisitos, adaptado de [25].

- Validação: voltar aos *stakeholders* e verificar se os requisitos descobertos são exactamente o que eles precisam.

Estas actividades não seguem uma ordem rigorosa. A figura 2.2 representa um modelo em espiral para o processo da Engenharia de Requisitos, onde o início do processo ocorre com as actividades de Descoberta de Requisitos, seguida pelas actividades de Análise e Negociação, Documentação e, finalmente, Validação de Requisitos.

Neste modelo o processo repete-se até a documentação dos requisitos ser aceite. Se forem encontrados problemas durante a actividade de Validação de Requisitos, todas as actividades são repetidas. O processo só termina quando a Documentação dos Requisitos é aceite, ou quando algum factor externo obriga a que o processo de Engenharia de Requisitos termine.

De seguida será descrita cada uma das actividades do processo de Engenharia de Requisitos.

### 2.3.1 Descoberta de Requisitos

A descoberta de requisitos é efectuada através da comunicação com os *stakeholders*. Esta actividade não consiste apenas em perguntar aos *stakeholders* o que eles querem, requer uma cuidadosa análise da organização, do domínio da aplicação e dos processos organizacionais, aliada ao processo de descoberta das necessidades dos utilizadores.

Este processo é muito complexo, pois raramente os *stakeholders* sabem exactamente quais são os seus requisitos. Além disso, por vezes, os requisitos de uns *stakeholders* entram em conflito com os requisitos de outros *stakeholders* [25].

Kotonya e Sommerville [25] argumentam a existência de quatro dimensões na actividade de descoberta de requisitos:

- Compreensão do domínio da aplicação: conhecimento geral da área em que o sistema se aplica.
- Compreensão do problema: conhecimento detalhado do problema onde será aplicado o sistema.
- Compreensão do negócio: compreender como o sistema vai interagir com a área de negócio e como pode contribuir para os objectivos gerais da organização.
- Compreensão das necessidades e restrições dos *stakeholders*: conhecimento detalhado das necessidades específicas dos *stakeholders* para o sistema apoiar a realização do seu trabalho.

Existem vários processos para a descoberta de requisitos. Segundo Kotonya e Sommerville [25] um bom processo de descoberta de requisitos tem que incluir as seguintes etapas:

- Estabelecer objectivos: Os objectivos a estabelecer devem incluir os objectivos gerais do negócio, uma descrição do problema a ser resolvido, o porquê do sistema ser necessário e as restrições do sistema.
- Aquisição de conhecimento do contexto: Os engenheiros devem recolher e compreender informação sobre a organização onde o sistema vai ser integrado, sobre o domínio de aplicação do sistema e sobre os sistemas existentes que podem ser substituídos pelo novo sistema.
- Organizar o conhecimento: Todo o conhecimento obtido nas fases anteriores deve agora ser analisado e organizado. Isso inclui identificar os *stakeholders* do sistema, priorizar os objectivos da organização e rejeitar a informação do domínio que não contribui directamente para os requisitos do sistema.
- Reunir os requisitos dos *stakeholders*: Esta etapa é o que a maioria das pessoas pensa da descoberta de requisitos. Isto envolve consultar os *stakeholders* para descobrir os seus requisitos, e os requisitos que provêm do domínio da aplicação e da organização.

A figura 2.3 apresenta um esquema geral do processo de descoberta de requisitos.

A descoberta de requisitos é muito importante, pois se os verdadeiros requisitos dos *stakeholders* não são descobertos, o sistema desenvolvido pode não ser aceite pelos *stakeholders* [39].

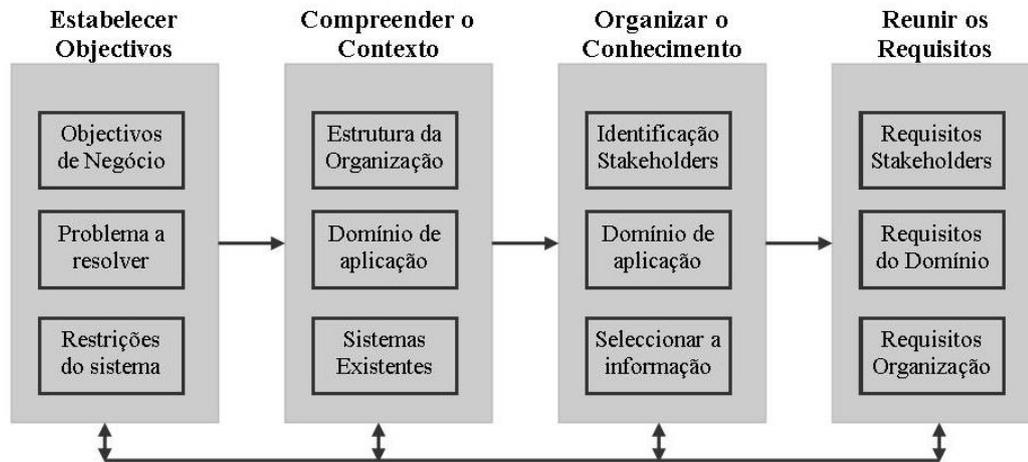


Figura 2.3: Processo de Descoberta de Requisitos, adaptado de [25].

### 2.3.2 Análise e Negociação de Requisitos

A análise e a negociação de requisitos são actividades para descobrir problemas relacionados com os requisitos do sistema e estabelecer um acordo para que os requisitos sejam alterados de forma a satisfazer as necessidades de todos os *stakeholders*.

A análise promove a identificação de problemas com requisitos conflituosos, ambíguos e redundantes. Segundo Kotonya e Sommerville [25], as actividades que fazem parte da análise de requisitos são as seguintes:

- Verificar a Necessidade: Analisar a necessidade de todos os requisitos propostos, pois alguns não contribuem para os objectivos do sistema.
- Verificar a Consistência e Completude: Verificar se não existem requisitos contraditórios, e se os requisitos propostos incluem todas as necessidades e restrições do sistema.
- Verificar a Praticabilidade: Verificar se os requisitos são praticáveis em termos de tempo e custo no desenvolvimento do sistema.

Da análise resulta um conjunto de requisitos que devem ser discutidos na negociação de requisitos. Assim, a negociação é o processo que considera a visão de todos os *stakeholders* relacionados com os requisitos que resultaram do processo de análise.

O processo de negociação de requisitos é composto por três actividades [25]:

- Discussão de Requisitos: Os requisitos que resultaram do processo de análise são discutidos de forma a que todos os *stakeholders* envolvidos apresentem a sua opinião sobre os requisitos.
- Prioritização de Requisitos: Os requisitos conflituosos são priorizados de forma a identificar os requisitos críticos e a facilitar o processo de tomada de decisão.
- Concordância de Requisitos: São identificadas soluções para os problemas e um conjunto de requisitos é aceite.

Na figura 2.4 encontram-se esquematizados os processos de análise e negociação de requisitos.

### 2.3.3 Validação de Requisitos

A validação de requisitos é a última fase da engenharia de requisitos. Tal como o próprio nome indica, a validação de requisitos é o processo que valida os requisitos de forma a verificar se estes representam uma descrição aceitável do sistema que deve ser implementado [25]. Por outras palavras, esta etapa final certifica se os requisitos são consistentes com as reais necessidades dos *stakeholders*.

A validação não é um processo fácil, pois não existe nada que sirva de base para validar os requisitos. Não existe forma para demonstrar que a

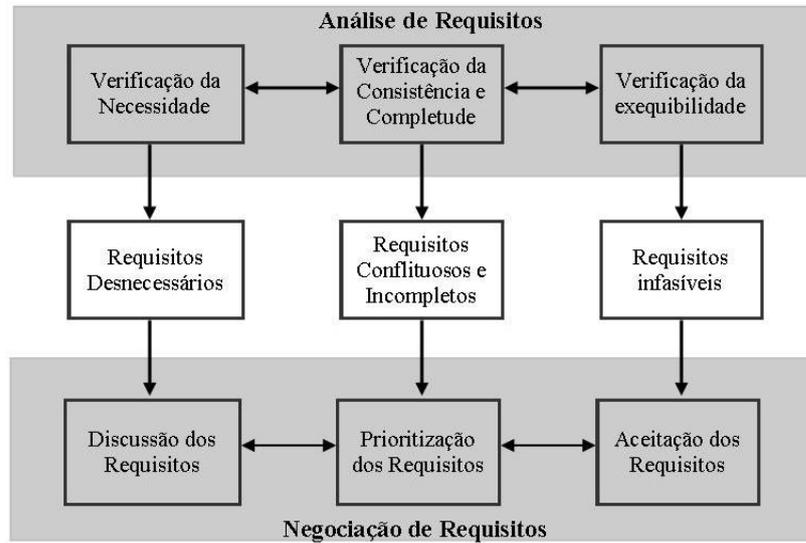


Figura 2.4: Processo de Análise e Negociação de Requisitos, adaptado de [25].

especificação dos requisitos é a correcta. Na realidade, a validação de requisitos assegura que a documentação dos requisitos representa uma descrição clara do sistema para a modelação e concepção, e uma verificação final de que os requisitos vão de encontro às necessidades dos *stakeholders* [25].

## Capítulo 3

# Prioritização de Requisitos

A prioritização de requisitos é uma actividade do processo de negociação de requisitos, tal como foi referido anteriormente.

Em grande parte dos projectos de software os requisitos candidatos são mais do que os que é possível implementar, dadas as restrições de tempo e recursos existentes [21]. Dado o conjunto de requisitos, o desafio é identificar o subconjunto que maximize o cumprimento das restrições técnicas (tempo e recursos) e das preferências e necessidades críticas dos *stakeholders* [30]. A prioritização de requisitos ajuda a encontrar esse subconjunto de requisitos.

A prioritização de requisitos é o processo que define uma relação de ordem para um conjunto de requisitos, tendo como base que se pode dividir em subconjuntos, um para cada uma das versões do produto [30].

O processo de prioritização consiste em três fases consecutivas [22]:

1. **Preparação:** É a fase onde os requisitos são estruturados de acordo com os princípios do método de prioritização a utilizar. O conjunto de *stakeholders* é seleccionado, sendo-lhes fornecida toda a informação necessária (informação sobre os requisitos e sobre a técnica de prioritização a usar).

2. **Execução:** Nesta fase os *stakeholders* realizam a prioritização dos requisitos utilizando a informação que lhes foi fornecida na fase anterior. Os critérios devem ser acordados pelos *stakeholders* antes de iniciarem a prioritização.
3. **Apresentação:** É a fase em que os resultados são apresentados aos *stakeholders* envolvidos no processo. Algumas técnicas de prioritização envolvem diferentes tipos de cálculos que devem ser realizados antes dos resultados serem apresentados.

Existem diversas técnicas para efectuar a prioritização de requisitos (Secção 3.3), assim como existem diferentes critérios que podem ser usados (Secção 3.2). Outro factor que interfere na prioritização de requisitos é o número de *stakeholders* envolvidos no processo (Secção 3.1).

### 3.1 *Stakeholders* Envolvidos na Prioritização de Requisitos

No desenvolvimento de software existem, relativamente aos *stakeholders*, três situações:

- um *stakeholder*;
- vários *stakeholders* (um número conhecido);
- muitos *stakeholders* (número desconhecido).

No caso em que só existe um *stakeholder* a prioritização torna-se mais simples pois só é necessário considerar a opinião do único *stakeholder* existente. Quando existem vários *stakeholders* o processo complica-se pois existem várias opiniões que por vezes são conflituosas. Nestes casos é necessário

a aplicação de técnicas de forma a tentar conciliar a opinião de todos os *stakeholders*. Mais complicados ainda são os casos em que existem muitos *stakeholders*, em número desconhecido. Nestes casos é necessário seleccionar um pequeno grupo de *stakeholders*, mas que seja representativo de todos os *stakeholders*, e com estes efectuar a prioritização de requisitos.

## 3.2 Critérios de Prioritização

Os requisitos podem ser prioritizados tendo em consideração diversos critérios. Os critérios mais comuns são a importância, penalização, custo, tempo e risco [6]. Se apenas for considerado um critério o processo de prioritização é simples, pois entre dois requisitos é fácil saber qual o melhor relativamente ao critério em causa. O problema surge quando é necessário considerar vários critérios. É uma tarefa difícil comparar dois requisitos de acordo com vários critérios em conjunto.

Vários critérios podem ser considerados na prioritização, mas não é prático considerar todos [6]. Os critérios a considerar devem ser escolhidos de acordo com a situação, e devem ser o mais específicos possível.

## 3.3 Técnicas de Prioritização

Existe um grande número de técnicas para a prioritização de requisitos que já foram propostas até agora, sendo que, algumas fornecem ferramentas de suporte que podem ser usadas em projectos reais [6, 30].

Um dos factores que diferencia as técnicas é a métrica utilizada. Existem três tipos de métricas: escala ordinal, escala de rácio e a escala absoluta. A escala ordinal é a menos eficaz, uma vez que os requisitos são ordenados

por ordem de importância, sabendo-se quais requisitos são mais importantes do que outros, mas não quão mais importantes são. A escala de rácio é mais poderosa uma vez que permite quantificar quanto mais importante um requisito é em relação a outro, utilizando percentagens (0-100%). Contudo, a escala mais poderosa de todas é a escala absoluta, pois pode ser usada em situações onde se pode atribuir um número [6].

Algumas técnicas assumem que cada requisito é associado a uma prioridade, outras associam um grupo de requisitos a um nível de prioridade. De seguida apresentam-se, sucintamente, algumas dessas técnicas:

- **Top-Ten Requirements:**

Nesta técnica os *stakeholders* escolhem o seu conjunto de dez requisitos mais importantes, sem estabelecer nenhuma ordem entre eles [6]. Isto torna a aproximação apropriada para vários *stakeholders* de igual importância.

- **Numerical Assignment (Grouping):**

Esta técnica consiste em agrupar os requisitos em grupos com diferentes prioridades. O número de grupos pode variar, mas o mais comum é usar três grupos (e.g. críticos, standard, opcionais).

Um problema que surge é a tendência dos *stakeholders* pensarem que todos os requisitos são críticos. Uma forma de contornar este problema é definir um número limite de requisitos para cada grupo. Contudo, o problema é que esta solução força os *stakeholders* a dividir os requisitos em certos grupos.

O resultado da aplicação desta técnica são só requisitos prioritizados numa escala ordinal, ou seja, os requisitos de cada grupo têm a mesma prioridade [6].

- **Ranking:**

O resultado é uma escala ordinal, mas os requisitos são ordenados sem ligação entre os intervalos. Isto significa que o requisito mais importante tem nível 1 e o menos importante tem nível  $n$ , para  $n$  requisitos. Cada requisito tem um único valor, mas não é possível saber a diferença relativa entre os requisitos [6].

- **100-Dollar:**

Os *stakeholders* pegam em 100 unidades imaginárias para distribuir pelos requisitos. Essas unidades imaginárias podem representar diferentes aspectos: dinheiro (custo de implementação), importância, penalização, horas [23]. O resultado é apresentado numa escala de rácio. Um dos problemas surge quando um *stakeholder* decide pôr todas as unidades num só requisito, viciando o resultado da prioritização. Uma solução passa por limitar a quantidade de unidades a atribuir a cada requisito. Por outro lado, isso pode levar a que os *stakeholders* sejam forçados a não priorizar os requisitos de acordo com as suas necessidades.

- **AHP (Analytic Hierarchy Process):**

Compara todos os possíveis pares de requisitos classificados hierarquicamente para determinar qual tem maior prioridade. Usualmente utiliza uma escala de 1 a 9, onde 1 representa igual importância e 9 representa absolutamente mais importante.

Durante o processo, se se considerarem  $n$  requisitos em cada nível hierárquico, será necessário fazer  $\frac{n \times (n-1)}{2}$  comparações por nível, o que para um elevado número de requisitos torna esta técnica de difícil aplicação. O resultado é um conjunto de requisitos prioritizados através de uma

escala de rácio.

Um dos problemas que surge é a escolha de qual a técnica mais adequada a utilizar em cada projecto. Nesta dissertação vão ser estudadas duas técnicas: AHP e ELECTRE I. Mais informação sobre estas duas técnicas pode ser encontrada nos capítulos 4 e 5.

# Capítulo 4

## AHP

### 4.1 Introdução

O método AHP<sup>1</sup> foi criado por Thomas Saaty no final da década de 70 e, segundo o autor, é baseado na capacidade inata da mente humana para fazer juízos astutos sobre problemas pequenos. Assim o AHP organiza os critérios hierarquicamente de forma a dividir o problema geral em pequenos problemas.

Segundo Saaty [12] o AHP é baseado em quatro axiomas:

1. juízos de valor recíprocos;
2. elementos homogéneos;
3. estrutura hierárquica ou dependente de feedback;
4. expectativas ordenadas.

Saaty refere ainda que a síntese do AHP combina escalas de medição multidimensionais numa escala de prioridades unidimensional [12].

---

<sup>1</sup>Analytic **H**ierarchy **P**rocess (Processo de Análise Hierárquica)

O AHP é muito confiável uma vez que a grande quantidade de redundância existente nas comparações par a par torna o processo bastante insensível a erros de comparação [22]. Outra vantagem é o facto de os valores atribuídos nas comparações par a par serem baseados na experiência, intuição e dados físicos. Assim o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão. Para além disso, o facto de as prioridades resultantes estarem relacionadas e baseadas numa escala de rácio, permite avaliações de requisitos úteis.

Contudo também existem limitações, como é o caso da sua aplicação inadequada, isto é, em ambientes desfavoráveis onde a aplicação é percebida como simplificação excessiva ou como desperdício de tempo [17]. Outra limitação é o elevado número de comparações que é necessário efectuar.

## 4.2 Descrição do Método

No método AHP o problema é estruturado como uma hierarquia, seguindo-se o processo de prioritização. Assim pode-se dividir o processo em quatro etapas: organização da estrutura hierárquica, comparação dos critérios e dos requisitos, cálculo dos pesos dos critérios e das prioridades dos requisitos e cálculo das razões de consistência. De seguida serão apresentadas cada uma das etapas do processo.

### 1. Organização da Estrutura Hierárquica

A hierarquia é uma abstracção da estrutura de um sistema para estudar as interacções funcionais dos seus componentes e seus impactos no sistema total. Essa abstracção pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas descendentes de um objectivo geral, abrindo-se em sub-objectivos. Saaty

[34] explica que o processo de priorização envolve obter decisões em resposta a perguntas sobre a dominância de um elemento sobre outro, quando comparados em relação a uma propriedade. O princípio básico a seguir na criação da estrutura é sempre tentar responder à seguinte questão [34]:

Posso comparar os elementos de um nível abaixo usando alguns ou todos os elementos no próximo nível superior como critérios ou atributos dos elementos do nível inferior?

Saaty fornece em [34] algumas sugestões úteis para estruturar a hierarquia:

1. Identificar o objectivo geral.
2. Identificar os sub-objectivos do objectivo geral.
3. Identificar os critérios que devem ser cumpridos para satisfazer os sub-objectivos do objectivo geral.
4. Identificar os sub-critérios abaixo de cada critério. De notar que cada critério ou sub-critério pode ser especificado em termos de intervalos de valores de parâmetros ou em termos de intensidades verbais como: alto, médio, baixo.
5. Identificar os *stakeholders* envolvidos.
6. Identificar os objectivos dos *stakeholders*.
7. Identificar as políticas dos *stakeholders*.
8. Identificar as opções ou resultados.
9. Para decisões Sim/Não, tomar o resultado preferível e comparar os benefícios e custos de tomar e não tomar a decisão.

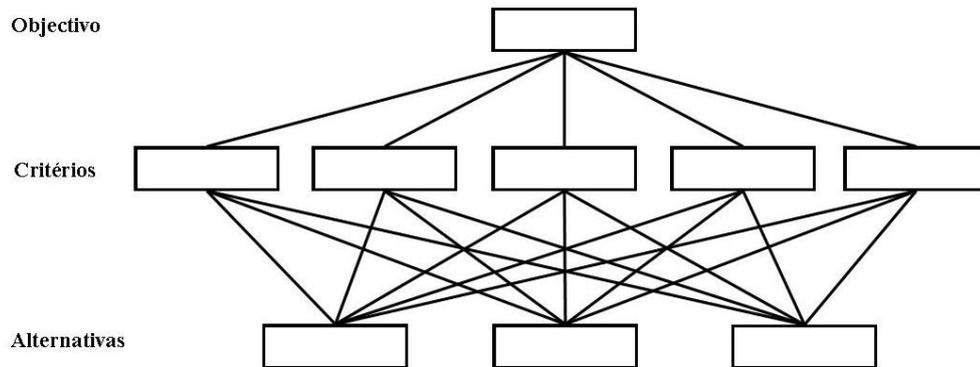


Figura 4.1: Esquema da hierarquia usada no AHP, adaptado de [35].

- Realizar uma análise custo/benefício usando valores marginais. Como lidamos com hierarquia de dominância, deve-se perguntar qual alternativa gera o melhor benefício; para o custo, qual a alternativa mais custosa; e para o risco, qual alternativa é mais arriscada.

Assim tem-se uma hierarquia composta pelo objectivo geral e critérios e sub-critérios usados no processo, como o esquema da figura 4.1.

## 2. Comparação dos Critérios e dos Requisitos

Uma vez construída a hierarquia é necessário efectuar as comparações par a par para cada nível da hierarquia, de forma a serem calculados pesos relativos, designados de prioridades, que diferenciam a importância dos critérios [17]. Também é necessário efectuar as comparações par a par para os requisitos, de forma a calcular as suas prioridades relativamente a cada um dos critérios.

Para Saaty [34] a comparação ou opinião é uma representação numérica de relação entre dois elementos. O conjunto de todas as comparações

é representado numa matriz quadrada onde o conjunto de elementos é comparado com ele próprio. Assim, para um problema com uma hierarquia composta por  $n$  níveis serão criadas, no mínimo, uma matriz por nível para efectuar a comparação dos critérios nível a nível. Para a comparação dos requisitos, se existirem  $k$  critérios e  $j$  requisitos, serão criadas  $k$  matrizes  $j \times j$ . No exemplo 1 encontra-se um exercício com as matrizes de comparação que serão necessárias efectuar.

**Exemplo 1** *Se tivermos um problema composto por uma hierarquia como a da figura 4.2, para a comparação dos critérios vão ser necessárias criar três matrizes:*

- *Comparação do primeiro nível da hierarquia (Critério 1, Critério 2 e Critério 3);*
- *Comparação do sub-nível do Critério 1 (sub-critério 1.1 e sub-critério 1.2);*
- *Comparação do sub-nível do Critério 3 (sub-critério 3.1 e sub-critério 3.2).*

*Depois serão ainda criadas cinco matrizes para comparar as três alternativas em relação aos critérios:*

- *Comparação das alternativas em relação ao sub-critério 1.1;*
- *Comparação das alternativas em relação ao sub-critério 1.2;*
- *Comparação das alternativas em relação ao critério 2;*
- *Comparação das alternativas em relação ao sub-critério 3.1;*
- *Comparação das alternativas em relação ao sub-critério 3.2.*

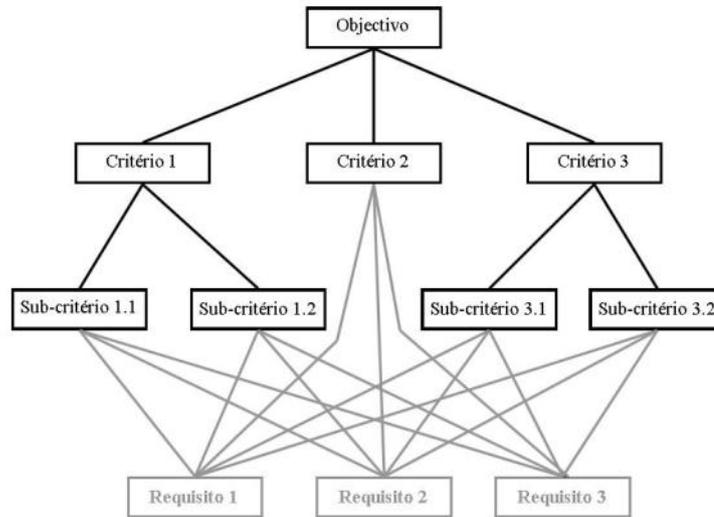


Figura 4.2: Exemplo de uma hierarquia usada no AHP.

Segundo Saaty [34], cada comparação deverá reflectir a resposta a duas perguntas:

- Qual dos dois elementos é mais importante relativamente a um critério?
- Quão mais importante é o elemento da coluna da esquerda em relação ao elemento da primeira linha?

O grau de importância de um elemento em relação a outro é estabelecido através da escala recomendada por Saaty (Tabela 4.1). Se o elemento da coluna da esquerda é menos importante que o da primeira linha da matriz, introduz-se o valor recíproco na posição correspondente da matriz. A diagonal da matriz é preenchida com 1, uma vez que se trata da comparação dos elementos com eles próprios, logo têm a mesma importância.

Para cada matriz resultante da comparação de  $n$  elementos é necessário efectuar  $\frac{n \times (n-1)}{2}$  comparações, o que torna o processo complicado para um

Grau de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas actividades contribuem igualmente para o objectivo.
3	Importância moderada	Experiência e opinião favorecem levemente uma actividade em relação a outra.
5	Importância forte	Experiência e opinião favorecem fortemente uma actividade em relação a outra.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Uma actividade é muito fortemente favorecida em relação a outra; a sua dominância é demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência favorece uma actividade em relação a outra, com o maior grau de certeza possível.
2, 4, 6, 8	Para acordo entre os valores acima	Por vezes é necessário interpolar uma opinião de compromisso numericamente pois não existe nenhuma boa palavra para o descrever.
Recíprocos dos acima	Se a actividade $i$ tem um dos números não nulos acima a ela associada, quando comparada com a actividade $j$ , então $j$ tem o valor recíproco quando comparado com $i$	A comparação de escolher o menor elemento como a unidade estima o maior como múltiplo dessa unidade.

Tabela 4.1: Escala de comparação, adaptada de [34] e [35].

elevado número de elementos.

Forman [13] salienta o facto de ser relativamente simples justificar as prioridades que são atribuídas através do AHP, uma vez que são derivadas de comparações baseadas no conhecimento e na experiência, ao contrário das prioridades que são atribuídas arbitrariamente.

### 3. Cálculo dos Pesos dos Critérios e das Prioridades dos Requisitos

Depois de serem criadas as matrizes de comparação na etapa 2 é agora necessário calcular os pesos. Assim, para cada uma das matrizes de comparação  $A = [a_{ij}]$  é necessário seguir os seguintes passos:

- 1) Calcula-se a soma de cada uma das colunas da matriz  $A$ :

$$Sum_j = \sum_{k=1}^i a_{kj} \quad (4.1)$$

- 2) Constrói-se uma nova matriz  $B$ :

$$B = [b_{ij}] \quad \text{onde} \quad b_{ij} = \frac{a_{ij}}{Sum_j} \quad (4.2)$$

- 3) Calcula-se a soma de cada uma das linhas da matriz  $B$ :

$$Sum_i = \sum_{k=1}^j b_{ik} \quad (4.3)$$

- 4) Calcula-se o total das somas das linhas:

$$Total = \sum_{k=1}^i Sum_i \quad (4.4)$$

- 5) Para cada linha calcula-se o respectivo peso local:

$$Peso_i = \frac{Sum_i}{Total} \quad (4.5)$$

A soma dos pesos locais de uma matriz deve ser igual a 1.

Uma vez calculados os pesos locais dos critérios e sub-critérios é necessário calcular os pesos globais. Assim uma vez que a soma dos pesos dos critérios tem que ser igual a 1, a soma dos pesos dos sub-critérios tem que ser igual ao peso do critério “pai” (o critério que se encontra imediatamente no nível superior da hierarquia). Para isso divide-se o peso local do sub-critério pelo peso do respectivo critério “pai”.

Uma vez calculados os pesos globais de todos os critérios/sub-critérios, estes serão usados para calcular as prioridades globais dos requisitos. Assim, para o requisito  $R$ , a sua prioridade global é calculada pela fórmula:

$$PG_R = \sum_{i=1}^k (PL_{R,C_i} \times Peso_{C_i}) \quad \text{onde:}$$

$PG_R$  = Prioridade Global do Requisito  $R$

$PL_{R,C_i}$  = Prioridade local do requisito  $R$  em relação ao critério  $C_i$  (4.6)

$Peso_{C_i}$  = Peso global do critério  $C_i$

$k$  = número total de critérios

#### 4. Cálculo das Razões de Consistência

As matrizes resultantes das comparações efectuadas podem não ser consistentes, devido ao elevado número de comparações que é necessário efectuar. Visto isto é necessário calcular a razão de consistência.

A Razão de Consistência (4.7) considera o Índice de Consistência ( $IC$ ) e o Índice Aleatório ( $IA$ ). O Índice Aleatório é dado pelas tabelas 4.2 e 4.3 variando de acordo com o número de elementos ( $n$ ). O Índice de Consistência é calculado de acordo com a fórmula 4.8.

$$\text{Razão Consistência} = \frac{IC}{IA} \quad (4.7)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.8)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \times W)_i}{W_i} \quad \text{onde:}$$

$n$  = número de elementos

$A$  = Matriz das comparações efectuadas

$W$  = Vector das prioridades globais calculadas

(4.9)

Uma vez calculada a razão de consistência é necessário analisar o resultado para verificar se as comparações efectuadas são ou não consistentes. Se a razão de consistência for 0 (zero) as comparações efectuadas são perfeitamente consistentes. Se apresentar um valor inferior a 0.10, a matriz de comparações ainda é considerada consistente. Caso seja igual ou superior a 0.10, a matriz é considerada inconsistente pelo que as comparações devem ser efectuadas novamente, ou os critérios a comparar devem ser revistos [35].

<b><i>n</i></b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b><i>IA</i></b>	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45

<b><i>n</i></b>	10	11	12	13	14	15
<b><i>IA</i></b>	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

Tabela 4.2: Índice Aleatório para  $n \leq 15$  adaptado de [14].

<b><i>n</i></b>	16	17	18	19	20	21	22	23
<b><i>IA</i></b>	1.5978	1.6080	1.6181	1.6265	1.6341	1.6409	1.6470	1.6526

<b><i>n</i></b>	24	25	26	27	28	29	30
<b><i>IA</i></b>	1.6577	1.6624	1.6667	1.6706	1.6743	1.6777	1.6809

Tabela 4.3: Índice Aleatório para  $n > 15$  adaptado de [3].

# Capítulo 5

## ELECTRE I

### 5.1 Introdução

O método ELECTRE I é um dos métodos da família ELECTRE<sup>1</sup> composta por sete métodos (ELECTRE I, ELECTRE IV, ELECTRE IS, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE TRI). Estes métodos pertencem aos métodos de *Outranking*<sup>2</sup> que se fundamentam na construção de uma relação de *Outranking* a qual incorpora as preferências estabelecidas pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis.

O método ELECTRE I foi apresentado pela primeira vez em 1965 e destina-se a problemas multicritério que envolvem escolha/selecção. Este método pode ser aplicado em problemas onde as alternativas podem ser representadas em escalas diferentes. O objectivo é obter o subconjunto das alternativas tal que qualquer alternativa que não pertence a esse subcon-

---

<sup>1</sup>**EL**imination **Et** **CHOIX** **TR**aduisant **La** **RE**alité (Eliminação e escolha traduzem a realidade)

<sup>2</sup>Termo inglês que significa relação de maior importância, ou mais preferível. Uma vez que não existe uma tradução directa para português, será usado o termo em inglês ao longo deste documento.

junto é mais importante do que, pelo menos, uma alternativa pertencente ao subconjunto. Este subconjunto, o mais pequeno possível não é o conjunto das melhores alternativas, mas sim as que são preferidas na maioria dos critérios de avaliação e que não causam um nível inaceitável de descontentamento nos outros critérios.

As preferências no método ELECTRE I são modeladas usando relações de *outranking* binárias,  $S$ , que significa “é pelo menos tão bom quanto” [12]. Considerando duas acções  $a$  e  $b$  podem ocorrer quatro situações:

- $aSb$  e não  $bSa$ , i.e.,  $aPb$  ( $a$  é preferível em relação a  $b$ )
- $bSa$  e não  $aSb$ , i.e.,  $bPa$  ( $b$  é preferível em relação a  $a$ )
- $aSb$  e  $bSa$ , i.e.,  $aIb$  ( $a$  é indiferente em relação a  $b$ )
- não  $aSb$  e não  $bSa$ , i.e.,  $aRb$  ( $a$  é incomparável a  $b$ )

A construção de uma relação de *outranking* é baseada em dois conceitos fundamentais [12]:

- **Concordância:** Para uma relação de *outranking*  $aSb$  ser validada, uma maioria suficiente dos critérios deve ser a favor da afirmação.
- **Discordância:** Quando a condição de concordância é válida, nenhum dos critérios da minoria se opõem fortemente à afirmação  $aSb$ .

Estas duas condições devem ser satisfeitas para validar a afirmação  $aSb$ .

Os métodos ELECTRE seguem dois procedimentos gerais: construção de uma ou mais relações de *outranking* seguida de uma exploração do procedimento. A construção de uma ou mais relações de *outranking* ajuda a comparar cada par de acções de uma forma abrangente. A exploração é usada para elaborar recomendações a partir dos resultados obtidos na primeira fase.

## 5.2 Descrição do Método

Têm-se  $n$  requisitos ( $R = \{R_1, \dots, R_n\}$ ) e  $k$  critérios ( $C = \{C_1, \dots, C_k\}$ ). A importância dos critérios é representada através de pesos. Para um dado critério o peso,  $w_j$ , reflecte o poder quando se contribui para a maioria que é a favor de um *outranking*.

O método pode ser dividido em nove etapas: Preparação, Normalização, Matriz de Decisão Normalizada e Pesada, Conjuntos de Concordância e Discordância, Matriz de Concordância, Matriz de Discordância, Dominação das Matrizes de Concordância e Discordância, Matriz Agregada e Conclusões. De seguida será apresentada cada uma das referidas etapas.

### 1. Preparação

Para cada um dos critérios são atribuídos valores a cada um dos requisitos. Esses valores inicialmente podem ser qualitativos, mas depois é necessário atribuir valores numéricos de forma a obter a Matriz de Decisão  $X = [x_{ij}]$ , onde as linhas correspondem aos requisitos e as colunas aos critérios.

O *stakeholder* deverá atribuir pesos a cada um dos critérios, atribuindo os pesos maiores aos critérios que considera mais importantes.

### 2. Normalização

Este método apenas deve ser aplicado quando todos os critérios são quantificados em escalas numéricas com intervalos idênticos [12]. Assim cria-se a matriz normalizada  $R$  de acordo com a seguinte fórmula:

$$R = [r_{ij}] \quad \text{onde} \quad r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i x_{ij}^2}} \quad (5.1)$$

### 3. Matriz de Decisão Normalizada e Pesada

A matriz de decisão normalizada  $R$ , obtida na etapa 2, é multiplicada por uma matriz diagonal  $W$ , cujos valores correspondem aos pesos dos critérios.

$$V = R.W \quad \text{onde} \quad W = \begin{pmatrix} w_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & w_n \end{pmatrix} \quad (5.2)$$

### 4. Conjuntos de Concordância e Discordância

Para cada critério, o *stakeholder* deverá definir qual o valor mais prioritário (o mais baixo ou o mais elevado). Com base nessa informação são criados os conjuntos de concordância e discordância de acordo com as fórmulas 5.3 e 5.4. Nas referidas fórmulas, o símbolo  $\succeq$  significa preferido ou indiferente. Assim, o conjunto de concordância  $C_{kj}$  corresponde ao conjunto dos critérios para os quais a alternativa  $k$  é preferível ou indiferente à alternativa  $j$ . Por sua vez, o conjunto de discordância  $D_{kj}$  corresponde ao conjunto dos critérios para os quais a alternativa  $k$  é menos preferível que a alternativa  $j$ . Logo,  $C_{kj} \cup D_{kj} = \{C_1, \dots, C_k\}$ .

$$C_{kj} = \{i | x_{ki} \succeq x_{ji}\} \quad (5.3)$$

$$D_{kj} = \{i | x_{ki} \prec x_{ji}\} \quad (5.4)$$

### 5. Matriz Concordância

Com base nos conjuntos de concordância e nos pesos dos critérios é calculada a Matriz de Concordância ( $C$ ).

$$C = [c_{ik}] \quad \text{onde} \quad c_{ik} = \sum_{j \in C_{ik}} W_j \quad (5.5)$$

A matriz de concordância é constituída pelos índices de concordância ( $c_{ik}$ ). O índice de concordância  $c_{ik}$  é dado pela soma dos pesos dos critérios que pertencem ao conjunto de concordância  $c_{ik}$ . Assim, obtêm-se valores para o índice de concordância compreendidos entre 0 e 1.

## 6. Matriz Discordância

A Matrix de Discordância ( $D$ ) é constituída pelos índices de discordância ( $d_{ik}$ ). Os índices de discordância são calculados pela fórmula 5.6, obtendo-se valores compreendidos entre 0 e 1.

$$D = [d_{ik}] \quad \text{onde} \quad d_{ik} = \frac{\max_{j \in D_{ik}} |v_{ij} - v_{kj}|}{\max_j |v_{ij} - v_{kj}|} \quad (5.6)$$

## 7. Dominação das Matrizes de Concordância e Discordância

O *stakeholder* deverá definir o limiar de concordância ( $\bar{c}$ ) e o limiar de discordância ( $\bar{d}$ ).

O limiar de concordância é o limite a partir do qual o índice de concordância é suficiente para apoiar a ideia de que  $A_i \succeq A_k$ . Normalmente utiliza-se  $\bar{c} \simeq 0.7$ .

Por sua vez, o limiar de discordância é o limite até ao qual o índice de discordância é suficiente para apoiar a ideia de que  $A_i \prec A_k$ . Normalmente utiliza-se  $\bar{d} \simeq 0.3$ .

Uma vez definidos o limiar de concordância e o limiar de discordância, utiliza-se 5.7 e 5.8 para criar a dominação da matriz de concordância ( $F$ ) e a dominação da matriz de discordância ( $G$ ), respectivamente.

$$F = [f_{ik}] \quad \text{onde} \quad f_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se } c_{ik} \geq \bar{c} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5.7)$$

$$G = [g_{ik}] \quad \text{onde} \quad g_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ik} \leq \bar{d} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (5.8)$$

### 8. Matriz Agregada

A partir da dominação da matriz de concordância ( $F$ ) e da dominação da matriz de discordância ( $G$ ) calcula-se a matriz agregada ( $E$ ), de acordo com a seguinte fórmula:

$$E = [e_{ik}] \quad \text{onde} \quad e_{ik} = f_{ik} \cdot g_{ik} \quad (5.9)$$

### 9. Conclusões

A partir da matriz agregada, é extremamente útil criar um grafo  $G = (V, U)$ , onde  $V$  é o conjunto de vértices e  $U$  o conjunto de arcos [12]. Para cada requisito  $r_i \in R$  associa-se um vértice  $i \in V$  e para cada par de requisitos  $(r_i, r_k) \in R$ , se o valor da matriz agregada  $e_{ik} = 1$  então existe o arco  $(i, k)$ .

Se existe um arco entre os vértices  $i$  e  $k$ , significa que o requisito  $r_i$  *outranks* o requisito  $r_k$ , ou, por outras palavras, o requisito  $r_k$  é subordinado ao requisito  $r_i$ . Se não existe arco entre os vértices  $i$  e  $k$ , significa que os requisitos  $r_i$  e  $r_k$  são incomparáveis.

# Capítulo 6

## Caso de Estudo

O objectivo desta dissertação é comparar os métodos AHP e ELECTRE I em relação à facilidade de utilização e aos resultados obtidos quando aplicados a um caso de estudo real. Assim, estes dois métodos foram aplicados a um projecto disponibilizado pela *Primavera BSS*<sup>1</sup>.

### 6.1 Aplicação dos Métodos

Uma vez seleccionado o caso de estudo foi necessário seleccionar os requisitos e os respectivos critérios de priorização. Como o projecto foi fornecido pela *Primavera BSS*, os requisitos e os critérios foram seleccionados pela própria empresa. De igual forma a empresa também participou na selecção dos *stakeholders*.

Foram seleccionados 20 requisitos, 6 critérios de priorização e 4 *stakeholders* (2 pertencentes à *Primavera BSS* e 2 pertencentes à Universidade do Minho). Como haviam *stakeholders* com perspectivas de análise diferentes, os critérios de priorização foram diferentes para os diversos *stakeholders*.

---

<sup>1</sup>Primavera Business Software Solutions (<http://www.primaverabss.com/pt>)

Optou-se por efectuar esta distinção nos critérios, pois adicionar o critério à prioritização e compará-lo com indiferença (a matriz toda com 1 no AHP ou todos os requisitos com o mesmo valor no ELECTRE I) dá o mesmo resultado que eliminar esse critério da prioritização. Assim cada *stakeholder* apenas efectuou a prioritização com os critérios relativos à sua perspectiva de análise.

Para facilitar a aplicação dos métodos foram criadas duas folhas de cálculo, uma para cada método (ver Apêndice A e Apêndice B), que após serem introduzidos os dados das comparações calculam automaticamente o resultado final. Foi criado ainda um pequeno texto com a descrição dos requisitos (fornecida pela *Primavera BSS*), dos critérios e da aplicação dos métodos. Esses documentos foram fornecidos aos *stakeholders* para facilitar o seu processo de prioritização.

Após os *stakeholders* estarem familiarizados com os requisitos, critérios e métodos passou-se à aplicação dos mesmos. Assim cada *stakeholder* aplicou inicialmente o método ELECTRE I e posteriormente o AHP. Após verificar os resultados obtidos nos dois métodos os *stakeholders* preencheram um pequeno inquérito para comparar os métodos.

Os resultados obtidos da aplicação dos métodos AHP e ELECTRE I encontram-se nos Apêndices C e D, respectivamente.

## 6.2 Análise de Consistência do método AHP

Após obter os resultados da aplicação do AHP de todos os *stakeholders* foi analisada a consistência de todas as tabelas das comparações efectuadas de forma a verificar a validade dos resultados obtidos.

Foram calculadas as Razões de Consistência de acordo com o método

proposto por Saaty (ver a Secção 4.2) obtendo-se os resultados apresentados na tabela 6.1.

	<i>Stakeholder 1</i>	<i>Stakeholder 2</i>	<i>Stakeholder 3</i>	<i>Stakeholder 4</i>
<b>Matriz Comparação C1</b>	0.1397	0.1328	0.0290	0.0339
<b>Matriz Comparação C2</b>	—	—	0.0484	0.0339
<b>Matriz Comparação C3</b>	0.0744	0.0916	0.0650	0.0339
<b>Matriz Comparação C4</b>	0.0755	0.0926	0.0000	0.0000
<b>Matriz Comparação C5</b>	—	—	0.0563	0.0339
<b>Matriz Comparação C6</b>	0.0234	0.1166	—	—

Tabela 6.1: Resultados do cálculo da Razão de Consistência.

Após analisar os resultados conclui-se que 17% dos dados são inconsistentes (Razão de Consistência superior a 0.10). Este valor pode ser causado pelo elevado número de comparações que cada *stakeholder* teve que efectuar para aplicar o método AHP <sup>2</sup>. Por essa razão e por se tratar de uma pequena percentagem dos dados, as comparações não foram efectuadas novamente.

### 6.3 Análise dos Resultados

Os resultados obtidos da aplicação dos dois métodos para cada *stakeholder* foram comparados calculando a percentagem de requisitos que se encontram em posições iguais/idênticas e a percentagem dos que se encontram em posições muito diferentes. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 6.2.

Pode-se verificar que em 3 dos 4 *stakeholders* o número de requisitos em posições iguais/idênticas é igual ou superior ao número de requisitos em posições muito diferentes. Seria de esperar que assim fosse para todos os

<sup>2</sup>Neste exemplo, cada *stakeholder* teve que efectuar  $\frac{20 \times (20-1)}{2} \times 4 = 760$  comparações.

	Posições iguais/idênticas	Posições muito diferentes
<i>Stakeholder 1</i>	20%	5%
<i>Stakeholder 2</i>	15%	15%
<i>Stakeholder 3</i>	10%	30%
<i>Stakeholder 4</i>	55%	5%

Tabela 6.2: Comparação dos Resultados Individuais do AHP e ELECTRE I

*stakeholders* uma vez que estão a priorizar os mesmos requisitos com os mesmos critérios.

Após ter analisado os resultados individuais de cada *stakeholder* foi criado um resultado global para cada método.

Para o método AHP, uma vez que existem valores numéricos, para cada requisito calcula-se a média ponderada para as prioridades de todos os *stakeholders* obtendo-se a prioridade global para esse requisito (6.1).

$$PG_R = \frac{\sum_{i=1}^n P_R S_i}{n} \quad \text{onde:} \quad (6.1)$$

$PG_R$  = Prioridade Global do Requisito  $R$

$P_R S_i$  = Prioridade do Requisito  $R$  para o *Stakeholder*  $i$

$n$  = Número de *Stakeholders*

Após calcular as prioridades globais para todos os requisitos obteve-se o resultado global para o AHP.

Para o ELECTRE I, como não existem valores numéricos associadas às prioridades, foi necessário atribuir valores para ser possível calcular o resultado global. No exemplo 2 encontra-se uma aplicação do procedimento efectuado. Para começar definiu-se uma escala numérica de 1 a 20 (uma unidade por cada requisito), atribuindo-se um valor a cada requisito sendo os requisitos mais prioritários os que obtêm os menores valores. Uma vez que existem grupos onde todos os requisitos têm a mesma prioridade, a esses re-

quisitos vai ser atribuída a média dos valores que lhes seriam atribuídos caso existisse uma ordem entre eles. Após existirem valores numéricos para todos os requisitos, calcula-se a média ponderada para cada requisito obtendo-se assim o resultado global.

**Exemplo 2:**

Imagine-se que temos 3 requisitos e 4 *stakeholders*. Após o método ELECTRE I ser aplicado pelos *stakeholders* obtiveram-se os seguintes resultados (ordenados por ordem decrescente de prioridades):

**Stakeholder 1:**  $\{R1\}; \{R2\}; \{R3\}$

**Stakeholder 2:**  $\{R2, R3\}; \{R1\}$

**Stakeholder 3:**  $\{R2\}; \{R1, R3\}$

**Stakeholder 4:**  $\{R1, R2, R3\}$

Após ter-se os resultados de todos os *stakeholders* vamos agora atribuir-lhes valores numéricos. Como apenas temos 3 requisitos, a escala numérica vai ser compreendida entre 1 e 3 (uma unidade por cada requisito).

Assim sendo, para o *stakeholder 1* o requisito mais prioritário é o R1, seguido de R2 e por último o R3. Como não existem grupos atribui-se um valor a cada um dos requisitos, obtendo-se  $R1 = 1, R2 = 2, R3 = 3$ .

Para o *stakeholder 2* tem-se R2 e R3 no mesmo grupo. Como é o grupo mais prioritário iríamos atribuir-lhes o valor 1 e 2, mas como são os dois requisitos igualmente prioritários, vamos atribuir-lhes a média desses valores:  $R2 = R3 = \frac{1+2}{2} = 1.5$ . Por último temos o requisito R1, logo  $R1 = 3$ .

Para o *stakeholder 3* temos o R2 como o requisito mais prioritário, seguido do grupo que inclui os requisitos R1 e R3. Assim ao requisito R2 vamos

atribuir o valor 1, e aos requisitos R1 e R3 atribui-se o valor da média entre 2 e 3. Obtem-se então  $R2 = 1$ ,  $R1 = R3 = 2.5$ .

Por último, o *stakeholder 4* apenas apresenta um grupo composto pelos 3 requisitos. Logo vai ser atribuído o mesmo valor aos 3 requisitos, ou seja,  $R1 = R2 = R3 = \frac{1+2+3}{3} = 2$ .

Sintetizando:

	<i>Stakeholder 1</i>	<i>Stakeholder 2</i>	<i>Stakeholder 4</i>	<i>Stakeholder 4</i>
R1	1	3	1	2
R2	2	1.5	2.5	2
R3	3	1.5	2.5	2
<b>Total</b>	6	6	6	6

Agora que já se têm valores numéricos para todos os requisitos, para obter o resultado final basta calcular a média dos valores atribuídos a cada requisito.

	<b>Resultado Final</b>
R1	$\frac{1+3+1+2}{4} = 1.75$
R2	$\frac{2+1.5+2.5+2}{4} = 2.00$
R3	$\frac{3+1.5+2.5+2}{4} = 2.25$
<b>Total</b>	6

Como se atribuiu os valores menores aos requisitos mais prioritários, o resultado final é: R1, R2, R3.  $\square$

Uma vez calculados os resultados globais, os dois métodos foram também comparados calculando a percentagem dos requisitos em posições iguais/ idênticas e em posições muito distintas, tal como foi efectuado para cada *stakeholder*.

Na tabela 6.3 apresentam-se os resultados globais para os dois métodos

e a comparação dos mesmos. Pode-se verificar que apenas 15% dos requisitos se encontram em posições muito diferentes. Observa-se ainda que 10% dos requisitos encontram-se em posições iguais/idênticas, estando os restantes 75% dos requisitos em posições próximas. Já se esperava este resultado uma vez que a comparação dos resultados individuais dos *stakeholders* apresentou resultados semelhantes.

	AHP	ELECTRE I		AHP	ELECTRE I
1º	R8 - 0.0723	R2 - 4.000	11º	R7 - 0.0494	R1 - 10.625
2º	R5 - 0.0723	R20 - 6.500	12º	R11 - 0.0472	R6 - 10.875
3º	R9 - 0.0699	R9 - 8.250	13º	R1 - 0.0462	R19 - 11.125
4º	R2 - 0.0656	R15 - 9.000	14º	R17 - 0.0450	R4 - 11.250
5º	R13 - 0.0644	R7 - 9.125	15º	R15 - 0.0355	R17 - 12.125
6º	R12 - 0.0614	R8 - 9.250	16º	R20 - 0.0347	R10 - 12.375
7º	R4 - 0.0584	R11 - 9.250	17º	R10 - 0.0330	R3 - 13.375
8º	R3 - 0.0557	R5 - 9.500	18º	R14 - 0.0307	R18 - 13.750
9º	R16 - 0.0511	R12 - 10.000	19º	R19 - 0.0287	R13 - 14.500
10º	R6 - 0.0508	R16 - 10.000	20º	R18 - 0.0276	R14 - 15.125

Posições iguais/idênticas	10%
Posições muito diferentes	15%

Tabela 6.3: Comparação dos Resultados Globais do AHP e ELECTRE I

	Posições iguais/idênticas	Posições muito diferentes
<i>Stakeholder 1</i>	15%	5%
<i>Stakeholder 2</i>	5%	25%
<i>Stakeholder 3</i>	0%	5%
<i>Stakeholder 4</i>	5%	10%

Tabela 6.4: Comparação dos Resultados do AHP

Por último, os resultados de cada *stakeholder* foram comparados com o resultado global de cada método. O fruto dessa comparação pode ser observado nas tabelas 6.4 e 6.5.

	Posições iguais/idênticas	Posições muito diferentes
<i>Stakeholder 1</i>	15%	0%
<i>Stakeholder 2</i>	10%	5%
<i>Stakeholder 3</i>	25%	10%
<i>Stakeholder 4</i>	45%	5%

Tabela 6.5: Comparação dos Resultados do ELECTRE I

Verifica-se que existe uma grande diferença entre os resultados do AHP e do ELECTRE I. Para o AHP, na maioria dos *stakeholders* a percentagem de requisitos em posições muito diferentes é superior à percentagem de requisitos em posições iguais/idênticas. Já no ELECTRE I acontece exactamente o oposto. A percentagem de requisitos em posições iguais/idênticas de todos os *stakeholders*, para além de ser superior à percentagem de requisitos em posições muito diferentes, apresenta ainda valores muito superiores aos verificados no AHP. Esta diferença deve-se ao facto de os resultados do AHP dos vários *stakeholders* serem mais diferentes entre si do que no ELECTRE I. Assim o resultado global do AHP acaba por se afastar mais dos resultados individuais. Já no ELECTRE I, como os resultados individuais se aproximam mais, o resultado global acaba por ser mais próximo de cada um dos resultados individuais.

## 6.4 Análise do Questionário

Tal como foi referido anteriormente, cada *stakeholder* preencheu um pequeno questionário com o objectivo de obter a sua opinião em relação aos métodos.

Após analisar as respostas aos questionários obtiveram-se os dados apresentados no Apêndice E.

Pode-se assim concluir que todos os *stakeholders* acharam o método ELECTRE I muito mais fácil de aplicar tendo demorado, em média, 1/3 do tempo de aplicação do que AHP. No que diz respeito aos tipos de resultados dos métodos, a maioria dos *stakeholders* prefere os resultados do AHP por apresentar os requisitos numa escala de ordenação total, com prioridades numéricas atribuídas a todos os requisitos, permitindo assim saber quanto mais importante é um requisito em relação a outro.

Contudo, devido à complexidade da aplicação do método AHP, os *stakeholders* afirmam que apenas o ELECTRE I poderá ser aplicado em futuros projectos de software.



# Capítulo 7

## Conclusões

Após efectuar uma análise aos resultados obtidos, foi possível confirmar a intuição de que o método ELECTRE I é de mais aplicação do que o outro método considerado, o AHP. Com efeito e visto se ter aplicado os dois métodos a um mesmo caso de estudo, é possível não só retirar conclusões de cada um dos métodos em separado, mas também comparar as vantagens e desvantagens de um em relação ao outro.

Apesar de não ser do conhecimento da autora qualquer utilização na prioritização de requisitos de software, o método ELECTRE I está sujeito a menos erros nas comparações dos requisitos do que o método AHP, visto estas serem efectuadas de forma diferente, originando assim uma grande diferença no número, como já foi referido anteriormente neste documento. Aliás, devido à complexidade, o método AHP torna-se até impraticável em projectos de software com muitos requisitos.

Assim e apesar da inovação que foi aplicar o método ELECTRE I, este revelou ser uma boa hipótese a considerar visto que apesar de ser de fácil aplicação, mostra uma grande consistência nos resultados obtidos, tornando-se assim um método bastante fiável neste contexto de prioritização.

Os *stakeholders* foram parte integrante e muito importante no estudo efectuado, não só porque fizeram parte dele mas também porque através dos inquiridos expressaram as suas opiniões e preferências acerca dos métodos utilizados. Apesar de se ter chegado à conclusão que o método ELECTRE I é mais fácil de aplicar, os *stakeholders*, na sua maioria, preferem o tipo de resultados do método AHP. Tal facto pode ser explicado devido precisamente ao tipo de resultados obtidos através deste método. Enquanto que no método ELECTRE I os requisitos são agrupados em grupos ordenados mas sem atribuir valores, no método AHP existe uma escala de ordenação total, sendo atribuídos valores a todos os requisitos. Saber o quão mais importante um requisito é em relação a outro parece pesar na preferência dos *stakeholders* envolvidos.

Apesar de os resultados serem apresentados em escalas de ordenação distintas, não se verificaram diferenças muito significativas, quer nos resultados individuais, quer nos resultados globais.

É certo que o caso de estudo real envolveu um número reduzido de *stakeholders*, razão pela qual todos os resultados e todas as conclusões devem ser tomadas com alguma reserva. Contudo, crê-se que os resultados obtidos permitem obter conclusões válidas e que poderão servir para um posterior estudo, mais aprofundado, de cada um dos métodos ou até como base na comparação e aplicação destes e de outros métodos na prioritização de requisitos.

Uma outra linha de trabalho futuro poderá ser investir no estudo mais aprofundado do método ELECTRE I, ou até procurar desenvolver software para sustentar a sua aplicação uma vez que provou ser um método útil e eficiente quando adaptado à prioritização de requisitos.

# Bibliografia

- [1] Ahl V. *An experimental comparison of five prioritization methods Investigating ease of use, accuracy and scalability*. Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, 2005.
  
- [2] Aiello G., Enea M. and Galante G. *A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing n.22, p. 447-455, 2006.
  
- [3] Alonso J. A. and Lamata M. T. *Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A new approach*. International Journal of Uncertainty, vol. 14, n. 4, pp. 445-459, 2006.
  
- [4] Berander P. *Using Students as Subjects in Requirements Prioritization*. Proceedings of the 2004 International Symposium on empirical Software Engineering (ISESE'04), IEEE Computer Society, 2004.
  
- [5] Berander P. *Prioritization of Stakeholder Needs in Software Engineering - Understanding and Evaluation*. Licentiate Thesis, Blekinge Institute of Technology, 2004.

- [6] Berander P. and Andrews A. *Requirements Prioritization*. in Engineering and Managing Software Requirements, Aurum A. and Wohlin C. (eds). Springer, chap.4, 2005.
- [7] Berander P., Khan K. and Lehtola L. *Towards a Research Framework on Requirements Prioritization*, SERPS, 2006.
- [8] Brito I. *Aspect-Oriented Requirements Analysis* Phd Thesis, Dep. Informática, Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- [9] Brooks F. *The mythical man-month: Essays on software engineering* Addison-Wesley Longman, 1995.
- [10] Bubenko J. *Challenges in Requirements Engineering*, IEEE, 1995.
- [11] Collette Y. and Siarry P. *Multiobjective Optimization: Principles and Case Studies*, Springer, 2004.
- [12] Figueira J., Greco S. and Ehrgott M. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys*. Springer, 2005.
- [13] Forman E. and Sally M. *Decision by Objectives: how to convince others that you are right*. World Scientific, 2001.
- [14] Gass S. and Rapcsák T. *Singular value decomposition in AHP*. European Journal of Operational Research 154, p. 573-584, 2004.
- [15] Genest C. and Rivest L. *A Statistical Look at Saaty's Method of Estimating Pairwise Preferences Expressed on a Ratio Scale*. Journal of Mathematical Psychology 38, pp. 477-496, 1994.

- [16] Gilb T. *Towards the Engineering of Requirements*. Requirements Eng. 2, p. 165-169, Springer, 1997.
- [17] Grandzol J. *Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process*. Association for Institutional Research, v. 6, 2005.
- [18] IEEE 610.12. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. IEEE Computer Society, 1990.
- [19] Karlsson J. *Software Requirements Prioritizations*. ICRE 1996, IEEE CS Press, 1996.
- [20] Karlsson J. and Ryan K. *Supporting the Selection of Software Requirements*. 8th International Workshop on Software Specification and Design (IWSSD'96), 1996.
- [21] Karlsson J. and Ryan K. *A cost-value approach for Prioritizing Requirements*. IEEE Software 14(5):67-74, 1997.
- [22] Karlsson J., Wohlin C. and Regnell B. *An evaluation of Methods for Prioritizing Software Requirements*. Information and Software Technology 39(14-15):939-947, 1998.
- [23] Khan K. *A Systematic Review of Software Requirements Prioritization*. Msc Thesis, Bleking Institute of Technology, 2006.
- [24] Kirkwood C. *Strategic Decision Making: Multiobjective decision analysis with spreadsheets*. Duxbury Press, p.259-263, 1997.
- [25] Kotonya G. and Sommerville I. *Requirements Engineering: Processes and Techniques*. John Wiley, 1998.

- [26] Lamsweerde A. *Requirements Engineering in the Year 00: A Research Perspective*. International Conference on Software Engineering (ICSE 2000), ACM Press, 2000.
- [27] Lehtola L. and Kauppinen M. *Suitability of Requirements Prioritization Methods for Market-Driven Software Product Development*. Software Process Improvement and Practice 11:7-19, 2006.
- [28] Marshall K. and Olivier R. *Decision Making and Forecasting*. McGraw-Hill International Editions, Industrial Engineering Series, 1995.
- [29] Nuseibeh B. and Easterbrook S. *Requirements Engineering: A Roadmap*. International Conference on Software Engineering (ICSE 2000), ACM Press, 2000.
- [30] Perini A., Ricca F., Susi A. and Bazzanella C. *An Empirical study to compare the accuracy of AHP and CBRanking Techniques for Requirements Prioritization*. in Fifth International Workshops on Comparative Evaluation in Requirements Engineering (CERE'07), IEEE Computer Society, 2007.
- [31] Perini A., Ricca F. and Susi A. *Tool-supported requirements prioritization: comparing the AHP and CBRank methods*. Information and Software Technology, 2009.
- [32] Ross D. and Schoman K. *Structured Analysis for Requirements Definition*. IEEE Transactions on Software Engineering, vol.3, No.1, 1977.
- [33] Roy B. *The Outranking approach and the foundations of ELECTRE methods*. Theory and Decision, 31, pp.49-73, 1991.

- [34] Saaty T.L. *How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process*. Interfaces, Vol. 24, No. 6, pp. 19-43, 1994.
- [35] Saaty T.L. and Vargas L. G. *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process*. Springer, 2001.
- [36] Saaty T.L. *Decision making with the Analytic Hierarchy Process*. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98, 2008.
- [37] Sahni D. *A Controlled Experiment on Analytical Hierarchy Process and Cumulative Voting - Investigating Time, Scalability, Accuracy, Ease of use and Ease of learning*. Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, 2007.
- [38] Sharp H., Finkelstein A. and Galal G. *Stakeholder Identification in the Requirements Engineering Process*, 1999.
- [39] Sommerville I. and Sawyer P. *Requirements Engineering: A good practice guide*. John Wiley, 1997.
- [40] Sommerville I. *Integrated Requirements Engineering: A Tutorial*. IEEE Software, 2005.
- [41] Young R. *The Requirements Engineering Handbook*. Artech House, 2004.
- [42] Zave P. *Classification of Research Efforts in Requirements Engineering*. ACM Computing Surveys, vol.29, n.4, 1997.



# Apêndice A

## Folha de Cálculo do AHP

Definição dos Critérios					Definição dos Requisitos					
Número de Critérios: 5					Número de Requisitos: 20					
Critérios:		Pesos:			Definição dos Requisitos:					
C1	C1			20.00%	R1	R1				
C2	C2			20.00%	R2	R2				
C3	C3			20.00%	R3	R3				
C4	C4			20.00%	R4	R4				
C5	C5			100.00%	R5	R5				
					R6	R6				
					R7	R7				
					R8	R8				
					R9	R9				
					R10	R10				
					R11	R11				
					R12	R12				
					R13	R13				
					R14	R14				
					R15	R15				
					R16	R16				
					R17	R17				
					R18	R18				
					R19	R19				
					R20	R20				

Figura A.1: Definição dos requisitos e critérios.

APÊNDICE A. FOLHA DE CÁLCULO DO AHP

Figura A.2: Comparação dos Requisitos em relação a cada um dos critérios.

	A	B	C	D	E	F	L	M
1	Critérios							
2	Requisitos	C1	C2	C3	C4	C5	Prioridades Globais	Requisitos
3	R1	0.0757	0.0171	0.0319	0.0315	0.0316	0.0376	R1
4	R2	0.0331	0.0241	0.0319	0.0328	0.0329	0.0310	R2
5	R3	0.0259	0.0731	0.0703	0.0702	0.0809	0.0641	R3
6	R4	0.0135	0.0717	0.1005	0.1005	0.0916	0.0756	R4
7	R5	0.0128	0.0525	0.0747	0.0746	0.0701	0.0569	R5
8	R6	0.0622	0.0289	0.0641	0.0641	0.0616	0.0562	R6
9	R7	0.0480	0.0904	0.0103	0.0103	0.0102	0.0338	R7
10	R8	0.0387	0.0992	0.0119	0.0119	0.0117	0.0347	R8
11	R9	0.0424	0.0565	0.0168	0.0168	0.0310	0.0327	R9
12	R10	0.0180	0.0210	0.0513	0.0512	0.0500	0.0383	R10
13	R11	0.0517	0.0527	0.0655	0.0654	0.0652	0.0601	R11
14	R12	0.0456	0.0341	0.0460	0.0460	0.0454	0.0434	R12
15	R13	0.0473	0.0483	0.0657	0.0657	0.0649	0.0584	R13
16	R14	0.0578	0.0374	0.0326	0.0326	0.0320	0.0385	R14
17	R15	0.0434	0.0402	0.0469	0.0468	0.0455	0.0446	R15
18	R16	0.1019	0.0639	0.1124	0.1124	0.1109	0.1003	R16
19	R17	0.0842	0.0478	0.0750	0.0750	0.0735	0.0711	R17
20	R18	0.0683	0.0328	0.0142	0.0142	0.0139	0.0287	R18
21	R19	0.0657	0.0538	0.0227	0.0226	0.0220	0.0373	R19
22	R20	0.0638	0.0545	0.0554	0.0553	0.0548	0.0568	R20
23	Pesos	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1.0000	Pesos
24								
25								
26								
27								

Figura A.3: Resultado Final.

# Apêndice B

## Folha de Cálculo do ELECTRE I

Definição dos Critérios				Definição dos Requisitos							
Número de Critérios: 4				Número de Requisitos: 20							
Critérios:		Qual o mais prioritário?		Pesos:		Total:		Definição dos Requisitos:			
C1	C1	+		25.00%				R1	R1		
C2	C2	+		25.00%				R2	R2		
C3	C3	-		25.00%				R3	R3		
C4	C4	-		25.00%	100.00%			R4	R4		
								R5	R5		
								R6	R6		
								R7	R7		
								R8	R8		
								R9	R9		
								R10	R10		
								R11	R11		
								R12	R12		
								R13	R13		
								R14	R14		
								R15	R15		
								R16	R16		
								R17	R17		
								R18	R18		
								R19	R19		
								R20	R20		

Figura B.1: Definição dos requisitos e critérios.

	A	B	C	D	E	F	M	N	
1			Critérios						
2			C1	C2	C3	C4			
3	Requisitos	R1	7,00	1,00	9,00	6,00			
4		R2	7,00	8,00	9,00	6,00			
5		R3	7,00	1,00	9,00	6,00			
6		R4	7,00	1,00	2,00	6,00			
7		R5	7,00	1,00	2,00	6,00			
8		R6	9,00	1,00	9,00	9,00			
9		R7	9,00	1,00	2,00	3,00			
10		R8	5,00	9,00	9,00	6,00			
11		R9	5,00	9,00	9,00	4,00			
12		R10	5,00	1,00	5,00	4,00			
13		R11	3,00	1,00	2,00	4,00			
14		R12	7,00	9,00	2,00	9,00			
15		R13	7,00	9,00	9,00	9,00			
16		R14	5,00	1,00	9,00	4,00			
17		R15	5,00	1,00	2,00	4,00			
18		R16	5,00	1,00	2,00	4,00			
19		R17	5,00	1,00	2,00	4,00			
20		R18	5,00	1,00	2,00	3,00			
21		R19	5,00	1,00	2,00	3,00			
22		R20	7,00	1,00	2,00	3,00			
23									
24	Mais prioritário:		+	+	-	-			
25									
26									
27									

Figura B.2: Atribuição de valores aos requisitos, de acordo com os critérios.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
2	Requisitos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	
3	R1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	R2	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
5	R3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	R4	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
7	R5	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
8	R6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	R7	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
10	R8	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
11	R9	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	
12	R10	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
13	R11	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
14	R12	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
15	R13	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
16	R14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	R15	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
18	R16	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
19	R17	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
20	R18	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
21	R19	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
22	R20	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
23		20	17	1	17	7	7	19	0	3	1	12	11	0	4	16	8	8	8	4	4	2
24																						
25																						
26	Subordinadas a 0:							R7					R12									
27	Subordinadas a 1:		R2							R9											R20	
28	Subordinadas a 2:																					
29	Subordinadas a 3:								R8													
30	Subordinadas a 4:													R13				R18	R19			
31	Subordinadas a 5:																					
32	Subordinadas a 6:																					
33	Subordinadas a 7:			R4	R5																	
34	Subordinadas a 8:														R15	R16	R17					
35	Subordinadas a 9:																					
36	Subordinadas a 10:																					
37	Subordinadas a 11:																					
38	Subordinadas a 12:										R10	R11										
39	Subordinadas a 13:																					
40	Subordinadas a 14:																					
41	Subordinadas a 15:																					
42	Subordinadas a 16:																					
43	Subordinadas a 17:	R1		R3														R14				
44	Subordinadas a 18:																					
45	Subordinadas a 19:							R6														
46																						

Figura B.3: Resultado Final.

# Apêndice C

## Resultados AHP

	<i>Stakeholder 1</i>	<i>Stakeholder 2</i>	<i>Stakeholder 3</i>	<i>Stakeholder 4</i>
1°	R12 - 0.1314	R16 - 0.0976	R2 - 0.0726	R1 - 0.0708
2°	R8 - 0.1264	R4 - 0.0715	R3 - 0.0698	R2 - 0.0708
3°	R13 - 0.1260	R17 - 0.0705	R4 - 0.0696	R3 - 0.0708
4°	R9 - 0.1253	R3 - 0.0599	R5 - 0.0637	R4 - 0.0708
5°	R5 - 0.1011	R11 - 0.0588	R7 - 0.0613	R5 - 0.0708
6°	R2 - 0.0885	R20 - 0.0573	R1 - 0.0597	R7 - 0.0690
7°	R6 - 0.0432	R13 - 0.0568	R6 - 0.0590	R8 - 0.0690
8°	R7 - 0.0275	R6 - 0.0548	R8 - 0.0536	R9 - 0.0690
9°	R10 - 0.0247	R5 - 0.0537	R9 - 0.0523	R11 - 0.0660
10°	R3 - 0.0222	R15 - 0.0443	R13 - 0.0481	R16 - 0.0561
11°	R4 - 0.0217	R12 - 0.0429	R12 - 0.0444	R17 - 0.0561
12°	R11 - 0.0215	R19 - 0.0412	R10 - 0.0428	R6 - 0.0460
13°	R20 - 0.0188	R8 - 0.0404	R11 - 0.0425	R15 - 0.0375
14°	R17 - 0.0185	R14 - 0.0401	R15 - 0.0418	R10 - 0.0290
15°	R15 - 0.0183	R7 - 0.0398	R20 - 0.0403	R12 - 0.0269
16°	R14 - 0.0178	R1 - 0.0391	R18 - 0.0382	R13 - 0.0269
17°	R18 - 0.0175	R10 - 0.0354	R14 - 0.0380	R14 - 0.0269
18°	R19 - 0.0174	R9 - 0.0331	R17 - 0.0348	R18 - 0.0225
19°	R16 - 0.0170	R18 - 0.0324	R16 - 0.0338	R19 - 0.0225
20°	R1 - 0.0153	R2 - 0.0305	R19 - 0.0337	R20 - 0.0225

Tabela C.1: Resultados AHP



# Apêndice D

## Resultados ELECTRE I

	<i>Stakeholder 1</i>	<i>Stakeholder 2</i>
<b>Subordinados a 0</b>	R7; R12	R11; R20
<b>Subordinados a 1</b>	R2; R9	—
<b>Subordinados a 2</b>	R20	R2; R5; R6
<b>Subordinados a 3</b>	R8	R1
<b>Subordinados a 4</b>	R13; R18; R19	R3
<b>Subordinados a 5</b>	—	R16
<b>Subordinados a 6</b>	—	R4
<b>Subordinados a 7</b>	R4; R5	R15
<b>Subordinados a 8</b>	R15; R16; R17	R19
<b>Subordinados a 9</b>	—	—
<b>Subordinados a 10</b>	—	R8; R9; R10; R13; R14
<b>Subordinados a 11</b>	R11	—
<b>Subordinados a 12</b>	R10	R17
<b>Subordinados a 13</b>	—	—
<b>Subordinados a 14</b>	—	—
<b>Subordinados a 15</b>	—	—
<b>Subordinados a 16</b>	R14	R7
<b>Subordinados a 17</b>	R1; R3	—
<b>Subordinados a 18</b>	—	R12
<b>Subordinados a 19</b>	R6	R18

Tabela D.1: Resultados ELECTRE I para os *Stakeholders* 1 e 2.

	<i>Stakeholder 3</i>	<i>Stakeholder 4</i>
<b>Subordinados a 0</b>	R10; R12; R15; R20	—
<b>Subordinados a 1</b>	R1; R2	—
<b>Subordinados a 2</b>	—	—
<b>Subordinados a 3</b>	R6	—
<b>Subordinados a 4</b>	R16; R19	R2; R8; R9; R11; R17
<b>Subordinados a 5</b>	R18	R7
<b>Subordinados a 6</b>	—	—
<b>Subordinados a 7</b>	R7	—
<b>Subordinados a 8</b>	R9; R14	R3; R4; R5
<b>Subordinados a 9</b>	R8	—
<b>Subordinados a 10</b>	—	R15; R16
<b>Subordinados a 11</b>	R5; R17	R1; R6
<b>Subordinados a 12</b>	R4; R11	—
<b>Subordinados a 13</b>	R13	—
<b>Subordinados a 14</b>	—	—
<b>Subordinados a 15</b>	—	—
<b>Subordinados a 16</b>	—	—
<b>Subordinados a 17</b>	—	—
<b>Subordinados a 18</b>	R3	—
<b>Subordinados a 19</b>	—	R10; R12; R13; R14; R18; R19; R20

Tabela D.2: Resultados ELECTRE I para os *Stakeholders* 3 e 4.

# Apêndice E

## Resultados do Questionário

### 1. Já conhecia algum dos métodos de priorização utilizados?

AHP: 25%

ELECTRE I: 25%

AHP e ELECTRE I: 0 %

Nenhum: 50%

Não Respondeu: 0%

### 2. Qual o método mais fácil de aplicar?

AHP: 0%

ELECTRE I: 100%

São Similares: 0%

Não Respondeu: 0%

### 3. Qual o tipo de resultados que prefere?

AHP: 0%

ELECTRE I: 50%

São Indiferentes: 25%

Não Respondeu: 25%

**4. Qual dos métodos apresenta resultados mais fiáveis?**

AHP: 75%

ELECTRE I: 0%

São Similares: 25%

Não Respondeu: 0%

**5. No global (facilidade de utilização, resultados obtidos) qual será o melhor método?**

AHP: 25%

ELECTRE I: 75%

São Similares: 0%

Não Respondeu: 0%

**6. Tempo médio que demorou a aplicar os métodos:**

AHP: 94 min

ELECTRE I: 30 min