

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

**Sistema para Ajuda Multicritério
ao Planeamento
de Redes de Distribuição**

Sónia Cristina Rolland
de Lima Sobral da Graça Moura

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex – PORTUGAL

Ao António e aos meus Pais

RESUMO

O planeamento de redes de distribuição encontra o seu ponto-chave essencialmente na tomada de decisões sobre a construção e localização de novas subestações e ramos, por forma a satisfazer os consumos de electricidade. Particularmente equacionados deverão, neste caso, ser problemas como as restrições técnicas e os diferentes objectivos, nomeadamente económicos, de segurança e qualidade de fornecimento.

O objectivo da presente dissertação é a construção de um sistema de ajuda à decisão para apoio a planeadores de redes de distribuição, em relação a um conjunto de planos de expansão e caracterizados por vários atributos (custo, robustez, fiabilidade, etc.). Os planos de expansão são pré-definidos, não sendo englobados no âmbito desta tese, constituindo trabalho de engenheiros de planeamento.

Efectua-se uma abordagem a várias técnicas e métodos de ajuda à decisão, sendo incorporados no sistema aqueles que nele se mostraram manifestamente incorporáveis, por lhe proporcionarem um contributo relevante, nomeadamente técnicas de análise preliminar e os métodos baseados em relações de subordinação, Electre I, Electre IV e Prométhée.

Pretendeu-se, também, que o referido sistema pudesse ser utilizável por um Agente de Decisão desconhecedor das técnicas e métodos de ajuda à decisão utilizados. Formularam-se, correspondentemente, algoritmos destinados a facilitar a aquisição dos diversos parâmetros necessários ao funcionamento dos métodos em questão.

Para aquisição de pesos dos critérios, definiu-se um processo de julgamentos par-a-par baseado no método AHP; unificaram-se os diferentes limiares necessários para a execução dos métodos; com vista à aquisição dos diversos limiares, foi elaborado um algoritmo fundamentado em pedidos de sensibilidades para diferenças. Os resultados dos métodos foram intencionalmente apresentados de forma a que se tornem úteis a qualquer Agente de Decisão.

Os *interfaces* e os modos de movimentação no sistema foram particularmente cuidados, por forma a facilitar o seu uso - afinal, a familiarizar com eles e agradar a quem necessite tirar deles partido.

Apresenta-se um exemplo ilustrativo de utilização do protótipo desenvolvido, no qual se simula-se a acção do Agente de Decisão recorrendo-se às várias técnicas disponibilizadas.

ABSTRACT

Planning of electric distribution nets mainly finds its key point in taking decisions about the building and location of new substation and branches, so satisfying the electricity consumption. Problems as the ones connected with technical restrictions and different aims - namely of economic security and supply-quality order - should be herein particularly studied.

The aim of this particular Thesis consists in the building of a support decision system for distribution net planner's support, regarding various expansion plans and characterised by several attributes (cost, strength, liability, a.s.o.). The expansion plans are fore-definite, and therefor not included in this thesis' contempt; they belong, in fact, to planning engineering's work.

An approach to several techniques and methods of support decision is presented by incorporating in the system itself those who have shown themselves clearly able to fit in it due to their relevant contribution - mainly technical and preliminary analytic, and the based upon underrating solutions, Electre I, Electre IV and Prométhée - to its operation.

We have also meant that the above mentioned system was able to be used by a planner that would unknown any of the shown support decision techniques or methods; in pursuit of such aim, several algorithms, intended to easiest acquisition of the several extents, have been calculated. To acquire all criteria's evaluations, a pair-to-pair judgement process, based on AHP method has been defined; aiming the knowledge of the several limits involved, the system will ask for sensitivities concerning differences between values. The results of these methods' applications were intentionally presented in such way they should be able to be useful to any Deciding Agent.

All the interfaces and ways of handling have been especially cared of, so that system using - namely by any possible user, even a not professional one - might be as lightened as possible.

A case study regarding the developed prototype, in which the actions of the Planner are simulated by using the several disposable techniques, is presented.

RÉSUMÉ

La planification des réseaux de distribution trouve son point clé essentiellement à la prise de décisions de construire et de localiser les nouvelles stations et branches pour satisfaire les consommations d'électricité. Particulièrement équationés devront, en ce cas la, être des problèmes comme les restrictions techniques et des différents objectifs, tels comme les économiques, de sûreté et de qualité de approvisionnement.

L'objectif de cette dissertation est la construction d'un système d'aide à la décision pour supporter les planeurs de réseaux de distribution, par rapport à un numéro de plans d'expansion et qui sont caractérisés par quelques attributes (le coût, le vigueur, fiabilité). Les plans d'expansion sont déterminés auparavant, et ils ne sont pas dans l'étude de cette dissertation, mais le travail des ingénieurs de projet.

On a fait un approche a quelques techniques et méthodes d'aide à la décision, et on a incorporé dans le système ceux qui sont les plus importants pour notre étude, comme les techniques d'analyse préliminaire et les méthodes basés en rapports de subordination, Electre I, Electre IV et Prométhée.

On a, aussi, voulu que le système puisse être utilisé par un Décideur qui ne connaît pas les techniques et méthodes utilisés. On a formulé quelques algorithmes avec l'objectif de faciliter l'acquisition des paramètres dont les méthodes ont besoin.

Pour l'acquisition des poids des critères, ont a fait un procédé de jugements des critères basé dans le méthode AHP; ont a unifié les indices que les méthodes ont besoin; pour acquérir les différents indices, on a fait un algorithme établi sur la demande de sensibilité pour les differences. Les résultats des méthodes sont présentés de sorte a être utilisés par quelque Décideur.

Les interfaces et la façon de déplacer dans le système ont été particulièrement soignés, pour facilité l'utilisation, et rendre familier ceux qui ont besoin de travail avec lui.

Ont présent un exemple qui illustre l'utilisation d'un prototype développé, avec le quel on simule l'action du décideur par rapport aux techniques qui sont disponibilités.

AGRADECIMENTO

Concluído que se mostra o trabalho seguidamente apresentado, impõe-se - passe o lugar-comum - deixe aqui brevemente expressos os meus singelos, mas profundos, agradecimentos a diversas pessoas que não poderia jamais deixar de nomear.

Obviamente em primeiro lugar, vai o meu reconhecimento para o meu Orientador, Ex.mo Senhor Professor Doutor Manuel António Matos, cuja permanente disponibilidade, incondicionais apoio e paciência e, sobretudo, genuíno interesse não poderiam deixar de sensibilizar-me sobremaneira.

Cabe-me, depois, manifestar um especial agradecimento ao Senhor Director do Departamento de Informática da Universidade Portucalense Infante D. Henrique, Professor Doutor Jorge Reis Lima, pela incansável motivação, ensinamentos e apoio sempre incondicionalmente transmitidos.

À Dra. Helena Barbosa, pelo encorajamento, e em especial, pela evidente preocupação em manter-me, ao longo do estudo levado a cabo, liberta das minhas tarefas regulares no IDI (Instituto de Desenvolvimento Informático) da Universidade Portucalense.

À Dra. Paula Morais, pela amizade, motivação e ajuda nos momentos difíceis.

Agradeço também, verdadeiramente sensibilizada, à Ex.ma Senhora Professora Doutora Maria Teresa Ponce de Leão, pela atenção manifestada - de modo obviamente desinteressado em qualquer sentido possível - relativamente à evolução do meu estudo.

De modo algo diverso, mas nem por isso menos sincero, genuíno e intenso, manifesto também o meu reconhecimento ao meu marido António, e bem assim aos meus Pais e irmãs e à Ermelinda pela sua paciência, motivação e auxílio nos momentos menos fáceis.

Com indesejável impessoalidade, não posso, por fim, deixar de manifestar à minha própria Universidade - a Portucalense - e à JNICT a minha gratidão pelo valioso apoio logístico sempre prestado quando se mostrou necessário.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ÂMBITO DA DISSERTAÇÃO.....	1
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. O PROBLEMA ELÉCTRICO E A DECISÃO.....	4
2.1 INTRODUÇÃO.....	4
2.2 O PROBLEMA DO PLANEAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO	4
2.3 OBJECTIVOS A CONSIDERAR NO PLANEAMENTO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO	9
2.3.1 <i>Minimização do custo do investimento</i>	10
2.3.2 <i>Minimização do custo de exploração (custo das perdas)</i>	11
2.3.3 <i>Minimização do custo da energia não fornecida</i>	11
2.3.4 <i>Minimização do Impacto Ambiental</i>	12
2.3.5 <i>Maximização da Robustez</i>	13
2.3.6 <i>Minimização da Severidade</i>	13
2.4 IDENTIFICAÇÃO DO TIPO DE PROBLEMA.....	13
2.5 CONCLUSÕES	14
3. MÉTODOS E TÉCNICAS	15
3.1 INTRODUÇÃO.....	15
3.2 TÉCNICAS DE ANÁLISE PRELIMINAR	16
3.2.1 <i>Introdução</i>	16
3.2.2 <i>Ordenação</i>	17
3.2.3 <i>Dominação</i>	17
3.2.4 <i>Dominação com tolerância</i>	18
3.2.5 <i>Método Conjuntivo</i>	18
3.2.6 <i>Método Conjuntivo Impreciso</i>	19
3.3 MÉTODOS CATEGÓRICOS	21
3.3.1 <i>Introdução</i>	21
3.3.2 <i>MaxiMin e MaxiMax</i>	22
3.3.3 <i>Método Lexicográfico</i>	22
3.3.4 <i>Semiordem Lexicográfica</i>	22
3.3.5 <i>Método de Atribuição Linear</i>	23
3.4 MÉTODOS BASEADOS EM FUNÇÕES DE VALOR ADITIVAS.....	23
3.4.1 <i>Introdução</i>	23
3.4.2 <i>Funções de Valor</i>	24
3.4.3 <i>Método Aditivo Simples</i>	24
3.4.4 <i>Método Topsis</i>	24

3.5 MÉTODOS BASEADOS EM RELAÇÕES DE SUBORDINAÇÃO.....	25
3.5.1 <i>Introdução</i>	25
3.5.2 <i>Electre I</i>	25
3.5.3 <i>Electre IV</i>	30
3.5.4 <i>Promethée</i>	32
3.6 MÉTODOS BASEADOS EM JULGAMENTOS.....	36
3.6.1 <i>Introdução</i>	36
3.6.1 <i>AHP</i>	36
3.6.2 <i>Outros Métodos</i>	42
3.7 CONCLUSÕES	43
4. O INTERFACE COM O AGENTE DE DECISÃO	44
4.1 INTRODUÇÃO.....	44
4.2 AQUISIÇÃO DE PARÂMETROS	46
4.2.1 <i>Pesos de importância relativa</i>	46
4.2.1.1 <i>Introdução</i>	46
4.2.1.2 <i>Aquisição dos Pesos dos Critérios</i>	50
4.2.1.3 <i>Perspectiva adoptada</i>	59
4.2.2 <i>Caracterização dos Critérios</i>	64
4.2.2.1 <i>Introdução</i>	64
4.2.2.2 <i>Tolerância para a indiferença</i>	65
4.2.2.3 <i>Tolerância para a preferência forte</i>	65
4.2.2.4 <i>Limite de Veto</i>	66
4.2.2.5 <i>Perspectiva Adoptada</i>	67
4.3 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	75
4.3.1 <i>Introdução</i>	75
4.3.2 <i>Electre I</i>	75
4.3.3 <i>Electre IV</i>	76
4.3.4 <i>Promethée</i>	78
4.3.5 <i>Perspectiva adoptada</i>	80
4.4 CONCLUSÕES	83
5. DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO	84
5.1 INTRODUÇÃO.....	84
5.2 ESTRUTURA DO PROTÓTIPO.....	85
5.3 AQUISIÇÃO DE DADOS	86
5.4 TÉCNICAS PRELIMINARES.....	97
5.5 MÉTODOS.....	104
5.6 CONCLUSÕES	106

6. EXEMPLO.....	107
6.1 INTRODUÇÃO.....	107
6.2 DADOS INICIAIS.....	108
6.3 DESENVOLVIMENTO.....	110
6.4 CONCLUSÕES	132
7. CONCLUSÕES	133
REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....	135
ANEXO A. ALGORITMOS PARA AQUISIÇÃO DE LIMIARES.....	139
ANEXO B. DEFINIÇÃO DO FICHEIRO DE CRITÉRIOS	144
ANEXO C. DEFINIÇÃO DO FICHEIRO COM EXTENSÃO SSD	146
ANEXO D. CONTEÚDO DO FICHEIRO SSD UTILIZADO NO EXEMPLO.....	148

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 - VALOR DOS CUSTOS PARA DIFERENTES GRUPOS DE CONSUMIDORES (LAKERVI, 1984).....	11
FIG. 2 - RELAÇÕES DE PREFERÊNCIA NO ELECTRE IV.....	31
FIG. 3 - FLUXOGRAMA DEMONSTRATIVO DO MÉTODO ELABORADO PARA AQUISIÇÃO DE PESOS DOS CRITÉRIOS.....	63
FIG. 4 - PRIMEIRA GERAÇÃO ALEATÓRIA DE VALOR FIXO.....	68
FIG. 5 - SEGUNDA GERAÇÃO ALEATÓRIA DE VALOR FIXO.....	68
FIG. 6 - GERAÇÃO ALEATÓRIA DO 1º VALOR DE COMPARAÇÃO COM VALOR FIXO NO PRIMEIRO PROCESSO DE OBTENÇÃO INDIRECTA DOS LIMIARES.....	69
FIG. 7 - PONTO DE PARTIDA PARA OS PROCESSOS DE DISTINÇÃO DE IRRELEVANTE - APRECIÁVEL E DE APRECIÁVEL - SUBSTANCIAL.....	70
FIG. 8 - PONTO DE PARTIDA PARA OS PROCESSOS DE DISTINÇÃO DE IRRELEVANTE - SUBSTANCIAL.....	70
FIG. 9 - LIMITES DE INDIFERENÇA E PREFERÊNCIA SUBSTANCIAL ENCONTRADOS NO EXEMPLO 1.....	72
FIG. 10 - ESQUEMATIZAÇÃO DO EXEMPLO 1 NO PROCESSO DE AQUISIÇÃO INDIRECTA DE LIMIARES DE INDIFERENÇA E PREFERENCIA FORTE.....	73
FIG. 11 - ESQUEMA DOS LIMITES DE INDIFERENÇA E PREFERÊNCIA SUBSTANCIAL ENCONTRADOS NO EXEMPLO 1.....	73
FIG. 12 - MENU “FICHEIRO”.....	87
FIG. 13 - CAIXA DE DIÁLOGO “ABRIR”.....	87
FIG. 14 - QUESTÃO SOBRE SE SE PRETENDE OU NÃO GRAVAR AS ALTERAÇÃO AO TRABALHO.....	88
FIG. 15 - MENU “CRITÉRIOS”.....	88
FIG. 16 - ESCOLHA DE CRITÉRIOS ACTIVOS.....	89
FIG. 17 - SUBMENU “RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS”.....	89
FIG. 18 - RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS “PAR-A-PAR”.....	90
FIG. 19 - RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS “GLOBAL”.....	90
FIG. 20 - MATRIZ DE JULGAMENTOS INCONSISTENTE.....	91
FIG. 21 - AVISO DO NÍVEL DE INCONSISTÊNCIA DOS JULGAMENTOS INTRODUIDOS.....	91
FIG. 22 - PRIMEIRA SUGESTÃO DE ALTERAÇÃO DE JULGAMENTOS.....	92
FIG. 23 - SEGUNDA SUGESTÃO DE ALTERAÇÃO DE JULGAMENTOS.....	92
FIG. 24 - PERGUNTAR SE SE PRETENDE CONTINUAR OU NÃO COM UMA MATRIZ INCONSISTENTE.....	92
FIG. 25 - SUBMENU “CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS”.....	93
FIG. 26 - CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS: APRENDIZAGEM.....	93
FIG. 27 - PERCENTAGEM DE DIFERENÇAS PEDIDAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS: APRENDIZAGEM.....	94
FIG. 28 - CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS: LIMITES DIRECTOS.....	95
FIG. 29 - MENU “PLANOS”.....	95
FIG. 30 - EDIÇÃO DE PLANOS.....	95
FIG. 31 - VISUALIZAR PLANOS - NÚMERO SUPERIOR A SEIS.....	96

FIG. 32 - VISUALIZAR PLANOS - NÚMERO IGUAL OU INFERIOR A SEIS	96
FIG. 33 - MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	97
FIG. 34 - OPÇÃO “ORDENAR” PLANOS	97
FIG. 35 - SUBMENU “DOMINAÇÕES”	98
FIG. 36 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES: SIMPLES”	98
FIG. 37 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES: SIMPLES”, APÓS EXCLUIR PLANOS DOMINADOS	99
FIG. 38 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES: COM TOLERÂNCIA”	99
FIG. 39 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES: COM TOLERÂNCIA”, APÓS EXCLUIR PLANOS DOMINADOS.	100
FIG. 40 - SUBMENU “FILTRAGEM”	100
FIG. 41 - OPÇÃO “FILTRAGEM: SIMPLES”	101
FIG. 42 - OPÇÃO “FILTRAGEM: SIMPLES” EXCLUINDO DETERMINADOS PLANOS	102
FIG. 43 - OPÇÃO “FILTRAGEM: SIMPLES” APÓS EXCLUSÃO	102
FIG. 44 - OPÇÃO “FILTRAGEM: COM TOLERÂNCIA”	103
FIG. 45 - BARRA DE DESLOCAÇÃO DA “FILTRAGEM: COM TOLERÂNCIA”	103
FIG. 46 - OPÇÃO “FILTRAGEM: COM TOLERÂNCIA” APÓS EXCLUSÃO	104
FIG. 47 - MENU “MÉTODOS”	104
FIG. 48 - OPÇÃO “MÉTODO ELECTRE I”	105
FIG. 49 - OPÇÃO “MÉTODO ELECTRE IV”	105
FIG. 50 - OPÇÃO “MÉTODO PROMETHÉE”	106
FIG. 51 - OPÇÃO “ABRIR” DO MENU “FICHEIRO”	110
FIG. 52 - ABERTURA DO FICHEIRO ENAVEIRO.SSD	111
FIG. 53 - OPÇÃO “CRITÉRIOS ACTIVOS” DO MENU “CRITÉRIOS”	111
FIG. 54 - CRITÉRIOS ACTIVOS DENTRO DA GLOBALIDADE DE CRITÉRIOS	112
FIG. 55 - OPÇÃO “VISUALIZAR” DO MENU “PLANOS”	112
FIG. 56 - VISUALIZAÇÃO DOS PLANOS	112
FIG. 57 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES SIMPLES” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	113
FIG. 58 - VISUALIZAÇÃO DE PLANOS DOMINADOS	113
FIG. 59 - VISUALIZAÇÃO DE PLANOS, APÓS EXCLUSÃO DOS DOMINADOS	113
FIG. 60 - OPÇÃO “RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS: PAR-A-PAR” DO MENU “CRITÉRIOS”	114
FIG. 61 - ESTABELECEER JULGAMENTOS DO CRITÉRIO CUSTO RELATIVAMENTE AOS RESTANTES	114
FIG. 62 - OPÇÃO “RELAÇÃO ENTRE CRITÉRIOS: GLOBAL” DO MENU “CRITÉRIOS”	114
FIG. 63 - DEFINIÇÃO DE JULGAMENTOS NA MATRIZ	115
FIG. 64 - AVISO DA INCONSISTÊNCIA DOS JULGAMENTOS	115
FIG. 65 - PRIMEIRA SUGESTÃO DE ALTERAÇÃO DE JULGAMENTOS	116
FIG. 66 - SEGUNDA SUGESTÃO DE ALTERAÇÃO DE JULGAMENTOS	116
FIG. 67 - MATRIZ DE JULGAMENTO CONSISTENTE	116
FIG. 68 - OPÇÃO “ORDENAÇÕES” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	117
FIG. 69 - VISUALIZAR PLANOS ORDENADOS	117

FIG. 70 - OPÇÃO “FILTRAGEM: SIMPLES” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	117
FIG. 71 - VISUALIZAR PLANOS A EXCLUIR	118
FIG. 72 - VISUALIZAR PLANOS APÓS EXCLUSÃO	118
FIG. 73 - VISUALIZAR PLANOS A EXCLUIR	119
FIG. 74 - VISUALIZAR PLANOS APÓS EXCLUSÃO	119
FIG. 75 - VISUALIZAR PLANOS APÓS DESFAZER A EXCLUSÃO	120
FIG. 76 - OPÇÃO “ORDENAÇÕES” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	120
FIG. 77 - VISUALIZAR PLANOS ORDENADOS PELO CRITÉRIOS SEVERIDADE	121
FIG. 78 - OPÇÃO “CRITÉRIOS ACTIVOS” DO MENU “CRITÉRIOS”	121
FIG. 79 - RETIRAR SEVERIDADE DOS CRITÉRIOS ACTIVOS	122
FIG. 80 - OPÇÃO “DOMINAÇÕES: SIMPLES” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	122
FIG. 81 - VISUALIZAR PLANOS DOMINADOS A EXCLUIR	123
FIG. 82 - VISUALIZAR PLANOS APÓS EXCLUSÃO DO PLANO DOMINADO	123
FIG. 83 MENU “MÉTODOS”	123
FIG. 84 - OPÇÃO “CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS: APRENDIZAGEM” DO MENU “CRITÉRIOS”	124
FIG. 85 - CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS ATRAVÉS DE SENSIBILIDADES PARA AS DIFERENÇAS	124
FIG. 86 - OPÇÃO “CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS: LIMITES DIRECTOS” DO MENU “CRITÉRIOS”	125
FIG. 87 - DEFINIÇÃO DE LIMIARES PARA CADA UM DOS CRITÉRIOS	125
FIG. 88 - OPÇÃO “FILTRAGEM: COM TOLERÂNCIA” DO MENU “TÉCNICAS PRELIMINARES”	125
FIG. 89 - VISUALIZAR SUGESTÃO DE EXCLUSÃO DE PLANOS	126
FIG. 90 - VISUALIZAR PLANOS APÓS EXCLUSÃO	126
FIG. 91 - OPÇÃO “ELECTRE I” DO MENU “MÉTODOS”	127
FIG. 92 - VISUALIZAR RESULTADOS ELECTRE I (1º PÁGINA)	127
FIG. 93 - VISUALIZAR RESULTADOS ELECTRE I (2º PÁGINA)	128
FIG. 94 - OPÇÃO “ELECTRE IV” DO MENU “MÉTODOS”	128
FIG. 95 - VISUALIZAR RESULTADOS ELECTRE IV (1º PÁGINA)	129
FIG. 96 - VISUALIZAR RESULTADOS ELECTRE IV (2º PÁGINA)	129
FIG. 97 - OPÇÃO “PROMETHÉE” DO MENU “MÉTODOS”	130
FIG. 98 - VISUALIZAR RESULTADOS PROMETHÉE (1º PÁGINA)	130
FIG. 99 - VISUALIZAR RESULTADOS PROMETHÉE (2º PÁGINA)	130
FIG. 100 - OPÇÃO “SAIR” DO MENU “FICHEIRO”	131
FIG. 101 - O PROTÓTIPO QUESTIONA O AGENTE DE DECISÃO SE ELE PRETENDE GRAVAR AS ALTERAÇÕES EFFECTUADAS	132

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ESCALA DE COMPARAÇÃO DE PARES DE JULGAMENTOS (SAATY, 1986).....	38
TABELA 2. CONSISTÊNCIA MÉDIA POR NÚMERO DE ALTERNATIVAS, SAATY (1986).....	41
TABELA 3. REGRAS DE ORDENAÇÃO FINAL DO MÉTODO PROMETHÉE.....	78
TABELA 4: PLANOS GERADOS, PONCE DE LEÃO (1995).....	108

1. Introdução

1.1 Âmbito da dissertação

O trabalho que se apresenta na presente dissertação tem como objectivo a elaboração de um sistema interactivo de apoio à decisão para planeamento de redes de distribuição de média tensão. O estudo não visa, pois, abordar o problema das redes eléctricas em si, mas sim a decisão sobre os planos de expansão ou reforço - questão tanto mais pertinente quanto é certo que no mercado, assim como no meio académico, se evidencia uma escassa existência de aplicações válidas que sejam utilizáveis por um Agente de Decisão desconhecedor dos métodos e técnicas de suporte à decisão.

Neste sentido, a presente dissertação procura adequar aos diferentes Agentes de Decisão as várias metodologias de apoio à decisão com relevância para o problema, mesmo quando destas são desconhecedores. Assim, formularam-se processos para aquisição dos vários parâmetros necessários aos métodos, nomeadamente pesos e diferentes limiares, tendo sido feita uma prévia unificação destes. A apresentação de resultados foi também cuidada de forma perceptível ao Planeador, tornando-se uma ferramenta útil na decisão a tomar.

Foi, em síntese, este o objectivo que nos moveu.

Num problema de planeamento de redes de distribuição eléctricas consideramos subestações e ramos, por forma a estudar a melhor forma de alimentar os postos de transformação, consistindo o problema de decisão suscitado em determinar quais os ramos, e, eventualmente, as subestações que devem ser construídos, activados ou desactivados dentro dos teoricamente possíveis, por forma a satisfazer as necessidades de consumo. O resultado desse exercício de planeamento constituirá um plano. E esse plano será, por sua vez, constituído pelas decisões de construir, ou não, os ramos em certo período temporal, devendo indicar a melhor solução para o primeiro, segundo e seguintes períodos. Em função disso irá o Agente de Decisão determinar o que implementar com as ajudas fornecidas - sendo que as hipóteses de escolha não se resumem a saber qual a opção mais barata, ou seja, a considerar apenas o factor custo, o que complica a tarefa de decisão. Se se

considerasse apenas o custo, tratar-se-ia de um simples problema de optimização. No entanto, a prática de planeamento levou que não fosse o custo o único critério considerado.

Utilizando uma das perspectivas possíveis, o presente estudo do planeamento de redes de distribuição engloba, na essência, duas fases. A primeira fase é a criação de soluções e relaciona-se com programas de optimização combinatória e multiobjectivo. O *output* desta primeira fase será constituído por planos que satisfaçam todas as condições. Tais planos traduzir-se-ão numa lista de soluções viáveis, englobando vários atributos (tais como custo e fiabilidade). A segunda fase será a da tomada de uma decisão propriamente dita; nela, o Agente de Decisão, com o auxílio de diferentes técnicas e metodologias, escolherá a melhor ou melhores soluções de entre os referidos planos. É o âmbito desta tese, nos aspectos relacionados com a ajuda à decisão.

Do exposto resulta ser nossa tarefa a constituição de um sistema que permita, supondo que alguém - geralmente engenheiros de planeamento - procedeu à necessária geração de soluções, apresentar alternativas e sugestões, de forma a que o Agente de Decisão possa informadamente decidir o tipo de solução que pretende. Para o efeito, são usadas diferentes técnicas e metodologias.

O tipo de sistema desenvolvido tem relevância industrial, nomeadamente no que se refere à sua construção e preocupação com o respectivo *interface*. O sistema, apesar de dedicado ao problema já referido, pode ser adaptado para outros diferentes problemas, tais como a escolha de candidatos para um emprego, situações de decisão no âmbito industrial, escolha de um modelo de automóvel, ou outro qualquer problema multicritério.

1.2 Estrutura da dissertação

No Capítulo 2 apresenta-se uma síntese do problema do planeamento das redes de distribuição. Essa apresentação é feita de forma sucinta porque, como já foi referido, o âmbito da tese contempla as decisões sobre as redes e não a geração de soluções, trabalho que se supõe efectuado previamente.

Apresenta-se uma revisão de técnicas e metodologias de ajuda à decisão no Capítulo 3. Elas providenciam um auxílio para que o Agente de Decisão possa escolher qual a ou as melhores opções dentro das inicialmente geradas.

No Capítulo 4, debruçamo-nos sobre o problema da usabilidade do Sistema de Suporte à Decisão. Os métodos utilizados necessitam de diferentes parâmetros para poderem funcionar e os seus resultados são apresentados de forma peculiar. Nem sempre o Agente de Decisão é conhecedor das metodologias, o que levanta problemas de entendimento. Neste Capítulo estuda-se, assim, a forma de aquisição desses diferentes parâmetros, tais como pesos e limiares de preferência, e a maneira de receber a informação fornecida pelos métodos para que qualquer Agente de Decisão possa compreendê-la e tirar melhor partido dela.

No Capítulo 5 apresenta-se a estrutura e funcionamento do protótipo desenvolvido como Sistema de Apoio à Decisão, demonstrando-se as várias soluções interactivas encontradas.

No Capítulo 6 é utilizado um exemplo baseado em dados apresentados na dissertação de doutoramento intitulada “Planeamento de Redes de Distribuição com Produção Independente” (Ponce de Leão, 1995), que serve para ilustrar a utilização e potencialidades do sistema desenvolvido.

O Capítulo 7 é dedicado a considerações finais e desenvolvimentos futuros.

2. O Problema Eléctrico e a Decisão

2.1 Introdução

Neste Capítulo faz-se-á uma breve apresentação do problema do planeamento de redes de distribuição. Como já foi referido, o âmbito desta dissertação não é o trabalho do Engenheiro de Planeamento que gera as diferentes soluções, mas sim o apoio à decisão sobre essas soluções.

Estudar-se-ão aqui, assim, as redes eléctricas e os problemas que se põe para decidir qual a melhor forma de alimentar os consumidores construindo, activando ou desactivando pontos de transformação. Para a tomada desse tipo de decisão há que tomar em consideração diferentes factores, que irão ser analisados em seguida.

Neste Capítulo, identificar-se-á o tipo de problema a estudar quanto à área de sistema de ajuda à decisão.

2.2 O problema do planeamento de redes de distribuição

O planeamento de redes de distribuição consiste na tomada de decisões sobre a construção e localização de novas subestações e ramos, por forma a vir a satisfazer adequadamente os consumos.

A escolha do plano está associada à minimização dos custos do investimento e de exploração, e ainda dos custos associados à fiabilidade (energia não fornecida aos consumidores devido a avarias na rede). Estes são os três aspectos mais importantes; no entanto outros poderão ser tomados em consideração. Nesta escolha há que, também, ter em conta as restrições técnicas, nomeadamente as relacionadas com quedas de tensão máxima.

Isto posto, e por forma a iniciar o planeamento, consideraremos pontos de injeção, ou seja subestações existentes e a construir, e produtores independentes. Temos também pontos de consumo. Há, ainda, ramos existentes e a construir.

Desde logo, as decisões a tomar versarão sobre construir, ou não, novos ramos, bem como determinar se devem ser construídas novas subestações ou activar as já existentes, e por fim escolher o melhor caminho, considerando determinado conjunto de condicionantes.

O aparecimento de produtores independentes a injectar potência directamente nas redes de distribuição, introduz mais um factor a tomar em consideração: a concorrência resultante de disponibilização de energia não despachável coloca os distribuidores numa situação complicada (Ponce de Leão, 1995).

O planeamento e projecto de redes de distribuição de electricidade pode, por sua vez, ser dividido em três níveis: o Estratégico, o de Planeamento ou Desenho de Redes e o de Projecto de Construção.

O nível Estratégico é de longo prazo, e envolve geralmente grandes investimentos e configuração de redes principais. É essencial às actividades de planeamento do fornecimento, sendo o seu objectivo principal o de determinar as redes óptimas, que investimentos serão necessários para as formar, e quais os *timings* necessários para a sua execução obtendo-se um máximo de benefícios. Claro que neste nível se torna forçoso tomar em consideração os custos de manutenção e as perdas do sistema; há estudos que demonstram que os erros cometidos ao nível da previsão de nível estratégico são os maiores causadores de maus investimentos neste domínio.

Por outro lado, o Planeamento ou Desenho de Redes situa-se no médio prazo e refere-se a investimentos a efectuar em futuro mais ou menos próximo.

O terceiro nível, o Projecto de Construção, é de curto prazo e inclui o desenho estrutural de cada componente da rede, tendo em conta, entre outros factos, os materiais disponíveis.

Para planear devem tomar-se em consideração os recursos existentes, os efeitos no futuro, os objectivos e os métodos:

É importante tomar em consideração os *recursos existentes*, porque nos países industrializados os sistemas de energia cobrem mesmo certas áreas não habitadas. Nessas áreas, a rede existente é geralmente um bom ponto de partida para planear alterações no sistema: com efeito, é mais barato tornar operacionais linhas existentes do que instalar novos circuitos ou equipamentos para instalar novas linhas ou

subestações. Ora, visto que os países industrializados operam a partir de um passado de uma centena de anos de fornecimento de electricidade, estudos muito aprofundados têm que ser feitos para justificar alterações significativas das políticas existentes nesta matéria.

Deve ter-se em consideração os custos de longo prazo para desenvolver redes. Têm, com efeito, de considerar-se os *efeitos sobre o futuro* de factores como o crescimento da população em diversas áreas, as variações nos níveis de custo dos materiais e da energia, assim como o incremento do uso de inovações técnicas. Muitas vezes, mostra-se mais barato fazer, de antemão, previsões que tornem possível a elaboração de regulamentos mais severos no futuro do que vir a rever, mais tarde, as redes de distribuição e os sistemas auxiliares associados. Deve sempre prever-se a possibilidade de vir a incorporar futuramente possíveis inovações técnicas no sistema, tais como condutores aéreos isolados, novos tipos de disjuntores, uso de esquemas de automação local e de telecontrolo de redes. O planeamento baseia-se, assim, sobretudo em previsões de consumos futuros.

Como *objectivos* ao planear devem, a este nível ter-se em conta a qualidade do serviço, o nível das tarifas e a estabilidade do emprego, satisfazendo as condições técnicas (por exemplo, limites térmicos e queda máxima da tensão admissível) e económicas (menor investimento possível, com ponderação dos custos associados à exploração e fiabilidade). *Métodos*: com a ajuda de modelos matemáticos, analisa-se o problema com vista à optimização, simula-se a realidade, considerando a fiabilidade, a segurança, o impacto ambiental e os níveis de investimento. A partir dos estudos realizados nestes domínios é possível efectuar previsões sobre os investimentos anuais esperados e armazenar fundos para cobrir custos de futuros esquemas técnicos a implementar.

Existem, por outro lado, três tarefas fundamentais a cumprir para conseguir resolver ou atenuar os problemas de projecto de sistemas eventualmente existentes: a primeira consiste em *definir uma solução técnica por fases*. Esta inclui já cálculos para apurar quais os regulamentos apropriados a cumprir, ou seja, o máximo possível de diminuição de tensão com o mínimo de falhas. Segunda: *estimar os custos de cada circuito ou equipamentos*, muitas vezes baseados na unidade de medida do cabo, ou na abertura de valas, ou na avaliação do custo de comprar ou instalar um disjuntor ou

transformador de um circuito particular. E, por fim, *assegurar que diferentes tipos de custos podem ser harmonizados*, por forma a que possam fazer-se comparações. Para tal, convertem-se os custos e os investimentos anuais em anuidades de valores actualizados, de modo a que se obtenham custos comparáveis.

Os planos fazem-se para um determinado número de anos. E, nesses planos, é elaborada uma lista detalhada de investimentos para o próximo ano ou próximos dois anos, dependendo da política de financiamento adoptada.

Porém, não se toma, obviamente, em conta apenas o custo. Elaboram-se, também, estudos custo/benefício, tendo como prioridade o critério básico da satisfação das necessidades dos consumidores.

Os problemas essenciais que podem suscitar-se no planeamento de redes de distribuição de electricidade giram geralmente em torno dos seguintes aspectos (Ponce de Leão, 1995):

Dimensão: um número elevado de variáveis, resultante da existência de um grande número de nós e de ramos para um determinado número de períodos, torna o estudo bastante complexo.

Critérios: Inicialmente, o objectivo visto como único era a minimização do custo, sem a preocupação das restrições técnicas. Com a evolução da Investigação Operacional, outros factores passaram a ser passíveis de análise; questões como a fiabilidade, a qualidade de serviço e o impacto ambiental passaram a ser objecto de modelização.

Incertezas: para planear, é forçoso tomar como base previsões de consumos futuros. Em áreas onde não há consumos não existem referências. E, mesmo em áreas com consumos, as previsões deverão ser feitas por planeadores experientes, sob pena de terem de ser simplesmente considerados valores típicos. Há ainda que tomar em conta o aumento da concorrência, conseqüente ao aparecimento, neste domínio de empresas privadas. De qualquer modo, existindo necessariamente incertezas, usam-se dois conceitos: o risco (isto é, a avaliação da decisão em função de um futuro hipotético que não ocorre como estava previsto, que deve ser medido em função dos atributos; ocasionalmente, existirão situações de risco nulo) e a robustez (que é um factor que mede a qualidade que se atribui a um plano que se adapta a todas as incertezas, ultrapassando-se todas as restrições técnicas).

Existem, em conformidade, três tipos de elementos a considerar num processo de planeamento:

Opções: produção concentrada, novas fontes de energia, incentivos tarifários para redução de consumo.

Incertezas: evoluções demográficas, inovações tecnológicas, preço dos combustíveis, criação de novas empresas produtoras, descoberta de novas fontes de energia, etc...

Atributos: económicos, de qualidade, financeiros, ambientais e sociais.

Considerando as várias opções e incertezas, fazem-se planos para o futuro, simulam-se situações, retiram-se automaticamente as soluções dominadas, de forma que o Agente de Decisão possa tomar a decisão final com base nos atributos e planos. O paradigma da optimalidade foi substituído pela apresentação informada de soluções ao Agente de Decisão.

Os estudos de Alta Tensão podem ser muito complexos, em especial se envolverem a produção energética. O período de projecto e de construção inclui muitas vezes complicadas negociações para obter vias e traçados para linhas suspensas e cabos subterrâneos. Por esse motivo, do planeamento até à efectiva implementação de esquemas de Alta Tensão medeia um período que rondará, em média, os seis anos. Por outro lado, já as redes de Média Tensão podem completar-se em menos tempo.

O aumento e alteração das redes, por circuitos e unidades de grande capacidade, tem de ser combinado com o aparecimento de novas subestações e circuitos.

Se o *timing* e a dimensão do investimento nos projectos de Alta e Média Tensão forem determinados por análises de custo/benefício das várias opções possíveis para cada projecto, os estudos de custo-efeito devem ser inseridos nos estudos de longo prazo. Deve ter-se em conta que este tipo de projectos incorpora uma significativa componente de recursos económicos e humanos.

Para fazer um bom planeamento do sistema e das necessidades de projecto, tem de se possuir um bom conhecimento do sistema eléctrico existente, por forma a dispor de uma boa base nos projectos de desenvolvimento das redes.

Os factores técnicos têm grande influência, mas também é essencial possuir um bom conhecimento dos factores económicos do projecto - por forma a que exista consonância entre as partes técnicas e económica.

O Engenheiro de Planeamento terá de considerar o efeito que a perda de um equipamento tem no fornecimento aos clientes e na própria qualidade desse serviço - trate-se flutuações de tensão, da quantidade de tempo pela qual um cliente fique privado de fornecimento, ou da própria segurança do público e equipa.

2.3 Objectivos a considerar no Planeamento de Redes de Distribuição

A principal preocupação no domínio da distribuição de electricidade consiste em obter boa qualidade a níveis de preços aceitáveis pelo consumidor. É, portanto, necessário, no projecto de redes, considerar não só os aspectos técnicos, mas também os económicos.

Como a maior parte dos consumidores só recebe Baixa Tensão, compreende-se, assim, que uma grande parte do investimento útil anual seja canalizada para a ligação dos consumidores de Baixa Tensão e para a melhoria das redes de Média e Baixa Tensão.

O trabalho necessário exige relativamente pouco tempo de planeamento à administração: geralmente menos de um ano, quando são usados os cabos e equipamento padrão.

Cada escolha de entre várias opções pode basear-se nos custos do capital investido - isto se a capacidade adicional da rede conseguida mediante cada opção considerada for comparável, e se os custos associados à fiabilidade e exploração forem efectivamente os mesmos. Quando estes custos não forem iguais, será necessário efectuar o estudo individual de cada opção.

Vários são os objectivos que podem ser considerados no planeamento. Aqueles que poderemos considerar fundamentais são a minimização do custo de investimento, do custo de exploração e do custo associado à fiabilidade. Outros objectivos podem, ainda porém, ser considerados, como se verá em diante.

2.3.1 Minimização do custo do investimento

O custo do investimento está associado à construção, implantação e expansão dos diferentes elementos da rede (ramos e subestações), ao longo dos diferentes estádios do horizonte em estudo (Ponce de Leão, 1995).

Os custos de investimento reflectem a incerteza dos prazos em análise.

Costuma-se dizer-se que é melhor ter dinheiro hoje do que amanhã - o que se explica sobretudo pela existência dos factores de risco e inflação. Logo, haverá que encontrar o método de se fazer equivaler uma determinada quantia do dinheiro de hoje a outra referente a uma data futura.

Consideremos, assim, o seguinte:

$$S_t = S_0(1+p/100)^t \quad (1)$$

em que S_0 é o capital investido, $p\%$ é a taxa de juro/ano e S_t é o dinheiro produzido em t anos. Ou seja, é indiferente gastar S_0 hoje ou S_t de hoje a t anos.

$$\text{O factor de actualização é: } \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^t} \quad (2)$$

O Valor Actualizado Líquido (VAL) é o somatório dos cash-flows anuais actualizados à taxa escolhida e deduzido o montante actualizado, à mesma taxa, dos investimentos.

$$VAL = C_0 \cdot \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

A TIR é a taxa de actualização que iguala o VAL a zero.

A TIR, isto é, a Taxa Interna de Rentabilidade, está ligada à taxa de juro paga e ao risco do projecto. As empresas estatais geralmente consideram o investimento em sistemas de distribuição como tendo baixo risco, e operam com TIRs que rondam os 5%.

2.3.2 Minimização do custo de exploração (custo das perdas)

Um dos objectivos de um bom planeamento de redes de distribuição é a minimização dos custos de exploração. O custo de exploração está associado a perdas activas na rede, ao longo dos diferentes estádios do período em estudo (Ponce de Leão, 1995). Este custo, tal como o anterior, tem que ser actualizado.

2.3.3 Minimização do custo da energia não fornecida

Na verdade, é cada vez mais importante ter um bom nível económico de fiabilidade, qualidade e segurança. O preço pago pelos consumidores tem uma relação directa com os custos dos sistemas de produção, transporte e distribuição.

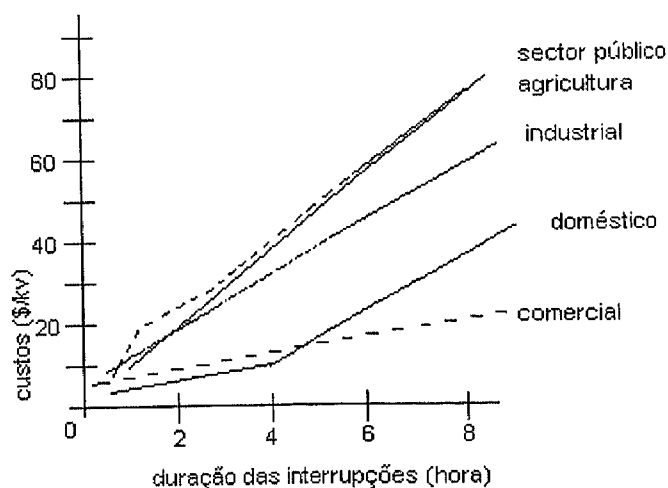


Fig. 1 - Valor dos custos para diferentes grupos de consumidores (Lakervi, 1984)

Em princípio, os consumidores consideram a fiabilidade do fornecimento de electricidade como de importância prioritária, na medida em que ela afecta o seu trabalho, vida doméstica e mesmo os aspectos sociais das suas vidas. Eles esperam um nível elevado de fiabilidade de fornecimento. O valor, para os consumidores, é determinado pelos benefícios que eles tem ao usar a electricidade (produzir bens, ter

luz em casa, nas lojas e escritórios, ter melhor qualidade de vida, poder ir ao cinema e teatro...). A fiabilidade, por isso, é um factor a ter em grande atenção para a qualidade do serviço.

Sendo inegável que a perda do fornecimento de electricidade, mesmo que por breves instantes, pode causar prejuízos consideráveis, pode ser medida como um factor-custo. Os factores que a medem são a frequência das interrupções e o valor que o consumidor coloca no fornecimento de electricidade no momento que sente a falha desse serviço. Estes factores dependem de variáveis como a fiabilidade das configurações dos sistemas individuais, o tamanho e potência do circuito, as configurações da rede, a automatização da distribuição, o nível de potência e a capacidade existente na transferência.

A análise da fiabilidade pode ser usada para avaliar a fiabilidade da configuração de sistemas individuais, não só para comparar níveis de fiabilidade, mas também para calcular os custos de um determinado nível de fiabilidade.

Os estudos custo/benefício ajudam na tomada de decisão quando se tem que adoptar uma configuração específica para resolver um determinado problema. Pode também ser usada para formular políticas de decisões de níveis de fiabilidade para um grupo de consumidores ou para suportar um dado nível de potência.

A fiabilidade pode ser medida pelo custo da energia não fornecida, ou seja, quanto se perde em caso de avaria, quer em energia não facturada, quer em indemnizações a pagar aos consumidores.

2.3.4 Minimização do Impacto Ambiental

Este é um dos objectivos a considerar no planeamento de redes de distribuição. No entanto, não aparece em muita literatura, na medida em que é muito difícil de medir e avaliar. Pode ser medido por um índice que avalia a quantidade de linhas aéreas por unidade de área (Kagan e Adams, 1993).

2.3.5 Maximização da Robustez

Com a incerteza de diferentes parâmetros no estudo do planeamento, aparece a análise do risco para avaliar as consequências da incerteza. Aqui aparece a robustez que avalia a maior ou menor capacidade do plano acomodar as incertezas envolvidas (Ponce de Leão, 1995). A robustez é a qualidade atribuída a um plano que se adapta a todas as incertezas, cumprindo todas as restrições técnicas. O valor da robustez é um valor entre 0 e 1, consoante haja ou não violações da rede.

2.3.6 Minimização da Severidade

Matos e Ponce de Leão (1993) definiram índices de violação às restrições. Esses índices quantificam a gravidade com que um determinado limite é ultrapassado. Permitem distinguir diferentes situações de violação que apresentem a mesma robustez, complementando a informação fornecida por ela. A severidade só tem sentido quando a robustez é menor do que um.

2.4 Identificação do tipo de problema

Após a definição dos diferentes objectivos num problema de decisão de redes de distribuição, podemos, agora, identificar o problema quanto à área de sistema de ajuda à decisão.

Na secção anterior foram definidos os diferentes objectivos: minimização de custo de investimento, exploração, fiabilidade, impacto ambiental e severidade, assim como a maximização do índice de robustez.

Há lugar, agora, para a introdução do modelo formal de um problema de decisão multiatributo. Este pode ser construído a partir de um conjunto Z das alternativas de decisão:

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{na}\} \quad (4)$$

em que z_i , com $i=1 \dots n_a$, representa a alternativa i , descrita por n_c atributos, tal que:

$$z_i = [z_{i,1}, z_{i,2}, \dots, z_{i,n_c}]^T \quad (5)$$

onde $z_{i,j}$, $i=1, \dots, n_a$ e $j=1, \dots, n_c$, representa a avaliação da alternativa i segundo o critério j .

Particularizando para o problema em estudo:

As alternativas, neste caso, são os planos de expansão admissíveis, ou seja, que respeitem as restrições topológicas e técnicas (limites de corrente nos ramos e subestações e limite de queda de tensão admissível nos nós).

E temos os seguintes critérios:

- . custo de investimento
- . custo de exploração (custo das perdas)
- . fiabilidade
- . impacto ambiental
- . robustez
- . severidade.

Uma alternativa (plano) i é caracterizado pelos seus atributos z_i para efeitos de processo de decisão, mas também lhe está associado um vector de variáveis de decisão binárias que o permitirá implantar no caso de ser o seleccionado.

2.5 Conclusões

Procedeu-se, neste Capítulo a uma breve abordagem às redes eléctricas e ao problema das redes de distribuição de energia.

Foram definidos os objectivos a considerar num problema deste tipo.

Introduziu-se o modelo formal de um problema de decisão multiatributo, particularizando-o no tipo de estudo desenvolvido.

3. Métodos e Técnicas

3.1 Introdução

Neste Capítulo descrevem-se alguns dos métodos e técnicas que podem ser usados num processo de ajuda à decisão multicritério. Em seguida, iremos debruçar-nos essencialmente sobre os métodos que tem relevância para o problema a estudar na presente dissertação; outros métodos serão também referidos, sem no entanto se fazer deles uma descrição pormenorizada por não serem os que mais se adequam ao objectivo proposto.

Abordam-se cinco diferentes tipos de métodos: de análise preliminar, categóricos, baseados em funções de valor aditivas, baseados em relações de subordinação e baseados em julgamentos.

No caso da presente dissertação decidiu-se optar por utilizar apenas dois tipos: as técnicas de análise preliminar e as metodologias da escola francesa. Outras técnicas são abordadas com vista a um enquadramento geral, na medida em que, posteriormente irão ser apresentados diferentes processos inovadores que utilizam, certos conceitos baseados em aproximações não utilizadas de forma directa nesta dissertação.

No primeiro caso, as técnicas de análise preliminar têm como objectivo simplificar o problema de forma a que o Agente de Decisão possa, de uma forma mais simples, decidir sobre a resolução final do problema. Esta técnica pode ordenar os atributos de uma determinada forma ou diminuir o número de alternativas, excluindo as que se tornam irrelevantes para o problema por serem nitidamente piores do que outras.

As metodologias da escola francesa, por outro lado, são usadas na formulação do processo de decisão. Usam-se parâmetros de forma a, através de relações de subordinação, chegar, finalmente, a pré-ordens de alternativas.

Considera-se, a nível temporal, os dois tipos de situações terem lugar em fases diversas do problema. As técnicas de análise preliminar são de uso optativo e têm são utilizadas numa fase inicial do problema. As metodologias baseadas em relações de

subordinação são usadas numa fase final e, ao contrário das primeiras, servem para indicar ao Agente de Decisão uma pré-ordem de alternativas.

3.2 Técnicas de Análise Preliminar

3.2.1 Introdução

Estas técnicas permitem reduzir o número de alternativas a considerar para um estudo posterior mais aprofundado. Ao diminuir o número de opções apresentadas, possibilita-se uma simplificação do problema e uma mais fácil retenção, por parte de Agente de Decisão, das várias alternativas, por forma a que estas possam mais facilmente ser analisadas.

O uso deste tipo de técnicas prende-se com o facto de ser dispensável arrastar para o processo de decisão final alternativas que são, à partida, piores do que outras.

Foi incluída a ordenação neste tipo de técnicas porque, apesar de a mesma não ter como objectivo diminuir o número de alternativas, mas porque tem como função facilitar a visualização de alternativas por parte do Agente de Decisão, tal como as outras técnicas em seguida apresentadas.

Relativamente ao problema a estudar, as técnicas de análise preliminar podem, em princípio, ser usadas. Releva-se o em princípio, porque nem sempre podem, na verdade, ser usadas, já que há situações em que se exige uma completa ordenação de alternativas, não se podendo, portanto, eliminar previamente algumas delas. E também porque pode não ser correcto eliminar uma alternativa que, apesar de dominada pela preferida, seja a segunda preferida. No entanto, poderemos considerar este tipo de técnicas aplicável ao problema em questão, já que é uma forma de diminuir o número de alternativas propostas, reduzindo a quantidade de informação a reter pelo Agente de Decisão. Este deve, contudo, ter presente que a análise preliminar é feita com o intuito não da decisão propriamente dita, mas como uma fase anterior ao dos métodos de decisão em seguida apresentados. Ou seja, como um processo que pode ser usado no início da selecção de alternativas e antes do uso de metodologias que visam a

ordenação de alternativas por ordem de importância com vista à selecção da ou das alternativas preferidas.

3.2.2 Ordenação

Como já foi referido na introdução das técnicas de análise preliminar, a ordenação foi introduzida neste tipo de classificação por ter como objectivo simplificar a visualização de alternativas por parte do Agente de Decisão. Com a ordenação, as alternativas são mostradas seguindo uma ou mais chaves de forma ascendente ou descendente.

3.2.3 Dominação

A dominação é uma técnica que consiste na eliminação de todas as alternativas dominadas, após a comparação de cada par de alternativas.

Supondo maximização, uma solução ou alternativa Z_d é dominada (ou inferior) por Z_D sse

$$Z_{dj} \leq Z_{Dj} \text{ para } j = 1, \dots, nc \wedge Z_d \neq Z_D \quad (6)$$

ou seja, $Z_D \text{ dom } Z_d$ se os valores dos atributos de Z_d são menores ou iguais aos valores correspondentes de Z_D , devendo um deles ser obrigatoriamente ser menor.

As soluções não dominadas chamam-se também soluções eficientes, não inferiores ou óptimas de Pareto.

Na pior das hipóteses - todas as alternativas serem iguais - haverá $(1+2+\dots+nc)$ comparações, o que poderá ser um número elevado.

Este método não toma em consideração a diferença de importância dos critérios, tratando-os a todos como iguais.

3.2.4 Dominação com tolerância

A dominação com tolerância é uma técnica semelhante à dominação; consiste, também, na eliminação de todas as alternativas dominadas, após a comparação de cada par de alternativas. Há, por vezes alternativas que não são consideradas dominadas apenas por pequenas diferenças, o que pode ser ultrapassado introduzindo-se um parâmetro de tolerância considerado para determinar alternativas dominadas.

Supondo maximização, uma solução ou alternativa Z_d é dominada (ou inferior) por Z_D sse

$$Z_{dj} + q_j \leq Z_{Dj} \text{ para } j = 1, \dots, nc \wedge Z_d \neq Z_D \quad (7)$$

ou seja, Z_D dom Z_d se os valores dos atributos de Z_d , acrescidos do parâmetro de tolerância para cada critério, são menores ou iguais aos valores correspondentes de Z_D , devendo um deles ser obrigatoriamente menor. Na fórmula, o referido parâmetro de tolerância é considerado em valor absoluto, no entanto poderá ser introduzido sob a forma de percentagem.

O número de comparações é o mesmo da dominação.

3.2.5 Método Conjuntivo

Esta técnica é usada para eliminar alternativas que tenham pelo menos um valor de atributo pior que determinados limiares pré-definidos para o respectivo atributo, sem se ter em consideração os restantes atributos.

Supondo maximização, uma solução ou alternativa Z_d é eliminada sse

$$\exists Z_{dj} \leq v_j \text{ para } j = 1, \dots, nc \quad (8)$$

ou seja, Z_d é eliminada quando, há pelo menos, um critério j que apresenta um atributo menor ou igual ao do correspondente valor de corte v_j .

3.2.6 Método Conjuntivo Impreciso

Método apresentado por Germano (1995). É uma extensão do método conjuntivo. O método conjuntivo substitui a lógica clássica pela imprecisa. Usa-se em problemas multicritério com um grande número de alternativas. Sugere-se uma transição entre a aceitação e a não aceitação, e evita a eliminação de alternativas por pequenas diferenças num só critério.

O método conjuntivo, como já foi visto, usa limiares pré-definidos pelo Agente de Decisão. Este pode hesitar nos limiares de aceitação. Uma alternativa pode ser eliminada devido a uma diferença irrelevante num critério, o que pode ser grave. O método conjuntivo impreciso visa ultrapassar estas dificuldades, de forma sistemática, em que a transição entre aceitação e não aceitação é feita de forma gradual.

Os limiares do método conjuntivo são rígidos, e as alternativas são eliminadas a partir do valor de corte. O que corresponde a, supondo maximização:

$$a_i(j) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_{ij} < z(j), j = 1..nc \\ 1 & \text{se } z_{ij} \geq z(j) \end{cases} \quad (9)$$

onde $a_i(j)$ é a aceitação da alternativa z_i no critério j , tomando apenas os valores de zero e um.

Neste método considera-se um limiar vago ou impreciso. Correspondendo a:

$$\tilde{a}_i(j) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_{ij} < z_n(j) \\ \in [0,1] & \text{se } z_n(j) \leq z_{ij} < z_s(j) \\ 1 & \text{se } z_s(j) \leq z_{ij} \end{cases} \quad (10)$$

Pode, ainda, definir-se uma função em rampa, supondo que o aumento da aceitação por parte do Agente de Decisão, entre dois limiares, é proporcional ao valor do atributo. Neste caso, o grau de aceitação pode ser definido por:

$$\bar{a}_i(j) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_{ij} < z_n(j) \\ \frac{z_{ij} - z_n(j)}{z_s(j) - z_n(j)} & \text{se } z_n(j) \leq z_{ij} < z_s(j) \\ 1 & \text{se } z_s(j) \leq z_{ij} \end{cases} \quad (11)$$

Ou seja, as alternativas podem ser aceites, no critério j , a partir do limiar $z_n(j)$ e são aceites certamente a partir do limiar $z_s(j)$.

É esta função em rampa a usada neste método. Faz-se, neste caso, uma comparação entre duas entidades imprecisas.

No caso do Agente de Decisão não definir o valor de $z_n(j)$ poderá usar-se, por omissão e supondo maximização:

$$z_n(j) = \min_j z_{i,j} \quad (12)$$

esta fórmula não é utilizada nesta dissertação.

Depois de se obter para cada alternativa o grau de aceitação para cada critério, tem que se atribuir a cada alternativa um valor representativo da aceitação global por agregação de valores parciais. Este é calculado através do valor mínimo entre os vários graus de aceitação parciais da alternativa, como se pode verificar em seguida:

$$\tilde{a}(z_i) = \bigwedge_{j=1}^{nc} \tilde{a}_j(z_i) = \min_{i \leq j \leq nc} \tilde{a}_j(z_i) \quad (13)$$

onde $\tilde{a}(z_i)$ é o grau de aceitação global da alternativa z_i e $\tilde{a}_j(z_i)$ é o grau de aceitação da alternativa z_i para o critério j , sendo que $\tilde{a}(z_i)$ e $\tilde{a}_j(z_i) \in [0,1]$.

Neste método aparece uma situação diferente do método conjuntivo, a possibilidade de uma alternativa ser aceite ou não quando o seu grau de aceitação pertence ao intervalo $[0,1]$. Se se aceitar apenas as alternativas com grau de aceitação um, o resultado obtido seria o mesmo do método conjuntivo. O interesse do método é permitir ao Agente de Decisão aceitar ou excluir alternativas que não sejam logo classificadas por aceites ou não.

Este método fornece uma sugestão ao Agente de Decisão para este apenas excluir alternativas com grau de aceitação inferior a determinado valor. A separação é quantificada através do índice CS (compactação e separação) proposto por Dunn (1973) para validação de partições através de processos de aglomeração e que neste caso toma a seguinte forma:

$$CS = \frac{\min_{l \leq x \leq ng} \min_{\substack{l \leq y \leq ng \\ y \neq x}} dist(G_x, G_y)}{\max_{l \leq z \leq ng} comp(G_z)} \quad (14)$$

em que G_g é o grupo de ordem g , n_g é o número de grupos, $dist(G_x, G_y)$ é a distância entre G_x e G_y , definida como a menor diferença de aceitação entre dois elementos, um de cada grupo e $comp(G_z)$ é o comprimento do grupo G_z definido como a gama de variação $\tilde{a}(\cdot)$ nesse grupo.

Desta forma, CS toma o valor da divisão da menor distância distmin entre dois quaisquer grupos da partição e o comprimento compmax do maior desses grupos. Se considerarmos as seguintes cinco alternativas e respectivos graus de aceitação imprecisa:

Alternativa	Grau de aceitação imprecisa	Grupo
A1	0.2	G ₁
A2	0.3	G ₁
A3	0.5	G ₂
A4	0.8	G ₂
A5	0.9	G ₂

Neste caso $CS = \frac{0.5 - 0.3}{0.4} = 0.5$, ou seja a diferença entre os extremos mais próximos de cada um dos grupos sobre o comprimento do maior deles.

Para se encontrar a distribuição dos dois grupos tem que se repetir o cálculo de CS para todas as combinações possíveis:

G ₁	G ₂	CS
A1	A2, A3, A4, A5	$\frac{0.3 - 0.2}{0.6} = 0.16$
A1, A2	A3, A4, A5	$\frac{0.5 - 0.3}{0.4} = 0.5$
A1, A2, A3	A4, A5	$\frac{0.8 - 0.5}{0.3} = 1$
A1, A2, A3, A4	A5	$\frac{0.9 - 0.8}{0.6} = 0.16$

Podemos verificar que, para o caso do exemplo apresentado em cima, a melhor partição é a que corresponde a G₁ = {A1, A2, A3} e G₂ = {A4, A5}, já que é que tem um índice melhor. A partição óptima é aquela que tem um índice CS (compactação e separação) maior que um.

3.3 Métodos Categóricos

3.3.1 Introdução

Estes métodos estabelecem de forma categórica os procedimentos de agregação, sem qualquer intervenção do Agente de Decisão.

Este tipo de métodos ignora as preferências do Agente de Decisão. Apesar de poderem ser usados como as técnicas de análise preliminar podem ter um uso pouco correcto. Não são usadas no protótipo.

3.3.2 MaxiMin e MaxiMax

Nestas técnicas, as alternativas são apresentadas pelos seus piores atributos - no caso do MaxiMin - ou melhores atributos - MaxiMax. Eliminam-se as alternativas que não tenham melhor pior atributo ou melhor melhor atributo, respectivamente. Não são os mais adequados para problemas multicritério, já que apenas um dos atributos é considerado, podendo por vezes rejeitar erradamente determinadas alternativas. Não é pedido qualquer tipo de informação ao Agente de Decisão.

3.3.3 Método Lexicográfico

Neste método, o Agente de Decisão necessita fornecer uma ordem de preferências para cada um dos critérios. É objectivo do método a escolha da alternativa que seja mais favorável no critério mais importante, sendo os restantes usados apenas para desempate, quando necessário; e só é escolhida uma alternativa, podendo-se rejeitar outras que, apesar de insignificamente piores no critério mais importante, sejam significativamente melhores em todos os outros critérios. Na essência, a técnica de ordenações já referida, corresponde à utilização informal deste método. Não usa toda a informação das alternativas, chegando mesmo ao limite de apenas necessitar de um dos atributos.

3.3.4 Semiordem Lexicográfica

Este método funciona de forma similar ao anterior; no entanto, são utilizados zonas de indiferença para pequenas diferenças nos atributos mais importantes. O resultado final é, assim, mais transparente do que o anterior quanto à comparação

entre alternativas, por a diferença insignificante entre alternativas ser tomada em consideração. Este método pode colocar problemas em situações de intransitividade. É usado, tal como o método anterior, quando há uma hierarquia de critérios bem definida.

3.3.5 Método de Atribuição Linear

O funcionamento do método de atribuição linear baseia-se num campeonato de várias competições por critério. Por posto em cada uma delas é atribuída uma pontuação sequencial decrescente por posição. A ordenação final é feita a partir da soma das pontuações parciais e é apresentada de forma decrescente de pontuação. Há variações deste método com a incorporação de pesos de importância relativa. Este método não dá importância a diferenças significativas entre atributos: se duas alternativas tem diferenças de valores insignificantes tem a mesma pontuação do que duas alternativas com grandes diferenças. Desta forma os resultados do método não são satisfatórios em termos de informação fornecida.

3.4 Métodos Baseados em Funções de Valor Aditivas

3.4.1 Introdução

Neste tipo de métodos, avalia-se cada alternativa a partir dos valores individuais dos seus atributos. Utilizam o conceito de função de valor simples satisfazendo a condição de aditividade. A função de valor é definida com base no conceito de ideal. Geralmente, nestes métodos, os pesos são aplicados com grande arbitrariedade, tornando o resultado muito discutível por introduzir distorções no problema. Consideramos que, para o problema em estudo, nenhum destes métodos deve servir como referência.

3.4.2 Funções de Valor

É o método mais frequente de agregação. Conduz a uma ordem total de alternativas, baseando-se na construção de uma função multiatributo que faz corresponder a cada alternativa z_i um número real de forma que:

$$z_i \geq z_k \Leftrightarrow V(z_i) \geq V(z_k) \quad (15)$$

em que $V(z_i) = V(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{inc})$

Se forem verificadas as condições de independência em relação às preferências e de aditividade, pode usar-se:

$$V(z_i) = \sum_{k=1}^{nc} w_k \cdot V(z_{i,k}) \quad (16)$$

em que w_k são pesos de importância relativa dos critérios ou

$$V(z_i) = \sum_{k=1}^{nc} \alpha_k \cdot V(z_{i,k}) \quad (17)$$

em que $\alpha_k = w_k + \lambda_k$ se houver necessidade de normalizar escalas.

Os pesos de importância relativa pode ser pedidos directamente ao Agente de Decisão ou, em alternativa, seguir determinadas regras (Keeney e Raiffa, 1976).

3.4.3 Método Aditivo Simples

É um método que se baseia na agregação dos valores dos atributos de cada alternativa por uma fórmula linear, sendo o valor de cada um dos atributos pesado de acordo com a preferência do Agente de Decisão, usando o conceito das funções de valor. Podem ser usados valores de compensação.

Este método é baseado nos pesos, o que leva a que qualquer alteração destes últimos altere o resultado final.

É um método fácil de ser entendido, no entanto pode excluir alternativas que apesar de serem dominadas convexamente podem representar boas soluções.

3.4.4 Método Topsis

Este método usa técnicas de comparação entre alternativas com o ideal e o anti-ideal, constrói funções de valor a partir da distância ao ideal. A solução ideal (Zeleny, 1982) é a alternativa fictícia fornecida pelos valores óptimos para cada atributo individual da Matriz de Decisão.

Neste método (Hwang e Yoon, 1981), classifica-se as alternativas de acordo com a referência dos pontos de ideal e anti-ideal. A satisfação e insatisfação, respectivamente, é a distância a eles. É um método aplicável a dados quantitativos. O Agente de Decisão necessita fornecer pesos, não interferindo no restante processo. Pode haver situações de conflito por uma mesma alternativa se encontrar, ao mesmo tempo, como a mais próxima do ideal e do anti-ideal. No final, cria-se uma ordem completa de alternativas.

3.5 Métodos Baseados em Relações de Subordinação

3.5.1 Introdução

É o tipo de métodos da escola francesa. Há comparações que incluem limiares de indiferença, limites de preferência forte e limites de veto. Por vezes necessitam pesos.

3.5.2 Electre I

Este método e o seguinte são as versões mais usadas do Electre.

No Electre I, inicialmente é feita a normalização da Matriz de Decisão e a ponderação dos atributos. São depois calculadas duas matrizes, a de concordância e a de discordância, cujos elementos resultam de comparações entre todos os pares de alternativas. Essas comparações resultam em somas de pesos concordantes, para a primeira matriz, e de diferenças entre valores dos atributos, para a segunda. As matrizes são posteriormente modificadas, polarizando-se os seus elementos em 1 ou 0, de acordo com um determinado nível de concordância. Este índice é uma indicação do

valor a partir do qual a alternativa correspondente à linha da matriz subordina a correspondente à coluna. A agregação consiste somente na conjugação dos elementos com a mesma posição dentro das duas matrizes. O resultado é uma matriz com zeros e uns. Essa matriz corresponde a um grafo, em que cada seta indica subordinação da alternativa destino por parte da alternativa origem.

A diferentes fases do método Electre I para uma matriz inicial X_{ij} , com $i=1..na$ e $j=1..nc$, sendo na o número de alternativas e nc o número de critérios, são as seguintes:

Preparação da Matriz de Decisão

Nesta fase convertem-se os descritores qualitativos em quantitativos, obtendo uma matriz de valores numéricos. $D= [x_{ij}]$.

Por exemplo:

Qualitativo x_{ij}	Quantitativo d_{ij}
Muito alto	9
Alto	7
Médio	5
Baixo	3
Muito Baixo	1

Neste exemplo usa-se uma escala aproximada à proposta por Saaty e à qual nos referiremos quando abordarmos o método AHP.

Normalização da Matriz de Decisão

Nesta fase obtém-se a matriz R , tal que $R = [r_{ij}]$ onde

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_i d_{ij}^2}} \tag{18}$$

Ponderação dos Atributos

Nesta fase, o Agente de Decisão fornece pesos de importância relativa do critérios. Obtendo-se a matriz W :

$$\begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_n \end{bmatrix}$$

Cálculo da Matriz de Decisão Normalizada e Pesada

Nesta fase obtém-se a matriz V, tal que

$$V=R \cdot W. \tag{19}$$

Cálculo dos Conjuntos de Concordância

Os seus elementos resultam de comparações entre todos os pares de alternativas. Nesta fase encontram-se os conjuntos que “concordam” com $A_k \geq A_j$ (no caso de maximização) e $A_k \leq A_j$ (no caso de minimização), ou seja, $C_{kj} = \{i | x_{ki} \geq x_{ji}\}$ e $C_{kj} = \{i | x_{ki} \leq x_{ji}\}$ respectivamente.

Cálculo dos Conjuntos de Discordância

Os seus elementos resultam de comparações entre todos os pares de alternativas. Nesta fase encontram-se os conjuntos que “discordam” com $A_k \geq A_j$ (no caso de maximização) e $A_k \leq A_j$ (no caso de minimização), ou seja, $D_{kj} = \{i | x_{ki} < x_{ji}\}$ e $D_{kj} = \{i | x_{ki} > x_{ji}\}$ respectivamente.

Cálculo da Matriz de Concordância

Para se obter a matriz de concordância, utilizam-se os conjuntos de concordância, resultando em somas de pesos concordantes; $C=[C_{ik}]$ onde

$$C_{ik} = \sum_{j \in C_{ik}} w_j \tag{20}$$

Cálculo da Matriz de Discordância

Para se obter a matriz de discordância, utilizam-se os conjuntos de discordância, resultando em diferenças entre valores dos atributos divididas pela maior diferença no atributo; $D=[D_{ik}]$ onde

$$D_{ik} = \frac{\max_{j \in D_{ik}} |v_{ij} - v_{kj}|}{\max_j |v_{ij} - v_{kj}|} \quad (21)$$

Cálculo da Matriz de Concordância - Dominação

Com o auxílio da matriz de concordância, polarizam-se os seus elementos em 1 ou 0, de acordo com um determinado nível de concordância. Este limiar de concordância pode ser escolhido pelo Agente de Decisão ou em alternativa ser obtido como

$$\bar{C} = \frac{\sum_i \sum_k C_{ik}}{nc^2}, \quad (22)$$

com $i \neq k$. Considera-se que se $c_{ik} \geq \bar{C}$ então $f_{ij}=1$ senão $f_{ij}=0$.

Cálculo da Matriz de Discordância - Dominação

Com o auxílio da matriz de discordância, polarizam-se os seus elementos em 1 ou 0, de acordo com um determinado nível de discordância. Este limiar de discordância pode ser escolhido pelo Agente de Decisão ou em alternativa ser obtido por

$$\bar{D} = \frac{\sum_i \sum_k D_{ik}}{nc^2}, \quad (23)$$

com $i \neq k$. Considera-se que se $d_{ik} \leq \bar{D}$ então $g_{ij}=1$ senão $g_{ij}=0$.

Cálculo da Matriz Agregada

A agregação final consiste somente na conjugação dos elementos com a mesma posição dentro das matrizes de concordância - dominação e discordância - dominação, tal que $E=[e_{ik}]$ onde

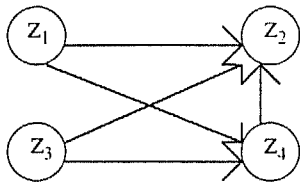
$$e_{ik} = f_{ik} \cdot g_{ik} \quad (24).$$

O resultado é uma matriz com o seguinte aspecto (Roy, 1985):

$$\begin{bmatrix} - & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 1 \\ 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}$$

Conclusões Finais

Para tirar as conclusões finais pode ser útil a construção de um grafo a partir da Matriz Agregada. Neste grafo, cada seta indica subordinação da alternativa destino por parte da alternativa origem. O grafo correspondente à matriz anterior é o seguinte:



Da matriz e do grafo anteriores conclui-se que as alternativas z_1 e z_2 podem ser eliminadas, visto serem sempre subordinadas por z_1 e z_3 . Em relação a estas últimas, surge uma situação de incomparabilidade, pelo que se pode verificar que o método não fornece uma ordem total de alternativas.

Conclusões do método Electre I

Este método é usado em situações onde se pretenda eliminar algumas alternativas ou obter um leque restrito das melhores alternativas, as quais poderão passar por uma fase posterior de refinação dos resultados. Não pode ser usado como método “definitivo”, por não produzir uma ordem total.

Não é difícil perceber as várias fases do método, embora seja necessária uma certa abstracção, nomeadamente na fase de escolha dos índices de concordância e discordância. No entanto, o facto da aplicação do método conduzir a um grafo, correspondente a uma pré-ordem, levanta algumas dificuldades.

No método Electre I, nem sempre se fornece uma ordem total, o que obriga a decisões posteriores para obter um resultado útil. Por outro lado, este método permite

representar situações de incomparabilidade, como é o caso das alternativas z_1 e z_3 da grafo anterior. Utiliza ainda toda a informação contida na matriz de decisão.

Os resultados podem ser alterados se houver mudanças dos pesos e dos índices de concordância e discordância. Em relação aos pesos, embora o método Electre III os mantenha como dados, a versão IV do método eliminou essa necessidade, como se verá na secção seguinte. No caso dos índices, da escolha destes podem resultar todas as alternativas eliminadas ou nenhuma delas. A sensibilidade a estes parâmetros foi melhorada por Van Delft e Nijkamp (cf. Hwang e Yoon, 1981) que introduziram uma análise complementar. Esta consiste em verificar se o resultado final para cada alternativa é confirmada pelos elementos das matrizes intermédias correspondentes a essa alternativa.

É recomendável usar regras pré-definidas para os índices de concordância (como proposta dos autores) para evitar contestação neste aspecto. A dependência de pesos leva a preocupações já referidas.

3.5.3 Electre IV

O método Electre (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) IV é uma evolução das suas versões anteriores e baseia-se na comparação entre cada par de alternativas em dois limiares por atributo:

- a) indiferença ($a I b$) - considerando q_i como limite de indiferença;
- b) preferência estrita ($a P b$) - considerando p_i como limite de preferência.

Os limiares q_i e p_i podem ser fixos ou proporcionais a um dos valores dos atributos a comparar.

São estabelecidas três relações de preferência. Se o módulo da diferença entre dois valores for:

- a) menor que q_j , então as alternativas são indiferentes do ponto de vista desse atributo (ou seja $a I_i b$ sse $|a_i - b_i| \leq q_i$);
- b) se se situar entre q_j e p_j , então uma das alternativas é preferida francamente à outra (ou seja $a Q_i b$ sse $q_i < |a_i - b_i| \leq p_i$);

c) se for superior a p_j , então é fortemente preferida à outra (ou seja a P_i b sse $s_i < |a_i - b_i|$).

Estas relações de preferência são as “razões de preferência” e que pode ser fortes, fracas ou inexistentes a favor de uma ou outra alternativa.

Supondo que os limiares q_j e p_j não dependem do valor do atributo, as referidas relações podem ser visualizadas na figura seguinte, para as duas alternativas genéricas z_a e z_b :

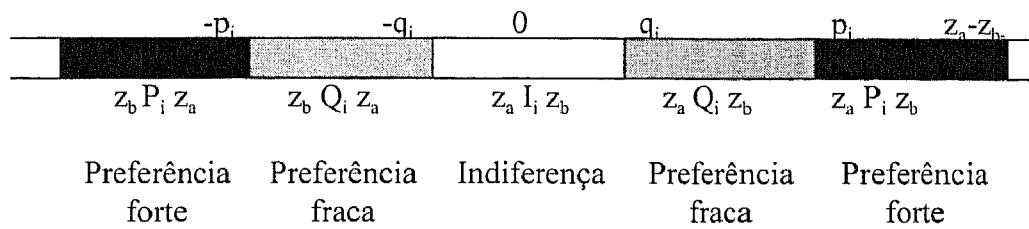


Fig. 2 - Relações de preferência no Electre IV.

A relação fundamental entre os métodos Electre é a Subordinação, definida como a S_i b sse $a_i \geq b_i - q_i$, e globalmente, a S_i b $\forall i \Rightarrow a S b$.

Esta relação pode ser interpretada como “a não é pior do que b”, ou melhor, “não há argumentos suficientemente fortes para apoiar a afirmação a não é pior do que b”. A relação de subordinação é reflexiva ($a S a \forall a$) e não é obrigatoriamente transitiva. É mais fraca que a dominação visto que se uma alternativa domina outra, então também a subordina.

A agregação é realizada por regras, conduzindo ao estabelecimento de relações globais entre alternativas, de subordinação forte ou fraca. A subordinação forte corresponde a não haver “razões” forte parcial em contrário e que o número de preferências fracas serem compensadas por fortes. Formalmente:

$$Z_a SF Z_b \text{ sse: } (25)$$

$$(\sim z_{b,i} P z_{a,i}, \forall i) \wedge [\# (i: z_{b,i} Q z_{a,i}) \leq \# (j: z_{a,j} P z_{b,j} \vee z_{a,j} Q z_{b,j})]$$

A subordinação fraca é um relaxamento da subordinação forte, admitindo “razões” fortes em contrário, desde que limitadas a determinados valores, para o que são utilizados limites de veto:

$$Z_a Sf Z_b \text{ sse:}$$

$$[(\sim z_{b,i} Pz_{a,i}, \forall i) \wedge (\sim z_a SF z_b) \vee \quad (26)$$

$$\vee \{[(\exists i: z_{b,i} Pz_{a,i}) \wedge (z_{b,i} - z_{a,i} \leq \upsilon)] \wedge [\#(j: z_{a,j} Pz_{b,j} \geq \frac{nc}{2})]\}]$$

onde υ é um limite de veto.

A última parte deste método estabelece duas destilações das alternativas, uma por ordem crescente da sua qualificação e outra por ordem decrescente. A qualificação de uma alternativa está directamente relacionada com o número de alternativas que ela subordina fortemente e com o número de alternativas que a subordinam fortemente a ela. A subordinação fraca serve para desempate de alternativas com iguais razões de subordinação forte. As destilações consistem em escolhas sucessivas da melhor qualificação de entre as alternativas ainda não escolhidas, sendo a escolha para a destilação descendente por razão de subordinação forte superior e a ascendente por inferior. As destilações podem ser combinadas num grafo. Este método não define uma ordem total de alternativas, mas apenas as já referidas destilações.

Conclusões de Electre IV

Cabem aqui considerações semelhantes às obtidas a propósito de método Electre I. Não é necessário que o Agente de Decisão forneça informação sobre os pesos; contudo, são-lhe agora pedidos limites de preferência e indiferença, cuja variação pode ter impacto nos resultados finais obtidos. A utilização relativamente complexa pode ser obstáculo à percepção dos resultados. Os limiares p , q e υ deverão, sempre que possível, ser definidos antes de serem conhecidas as alternativas, embora seja útil ao defini-los ter informação sobre a gama de variação dos atributos.

3.5.4 Promethée

O método Promethée (Preference Ranking Organization Method for Enrichment) parte do mesmo princípio do Electre IV.

Ao comparar duas alternativas e com vista a exprimir o resultado dessa comparação, considera-se a função de preferência P representando a intensidade da preferência da alternativa a em relação à b :

1. $P(a, b)=0$, indica que não há preferência de a sobre b, isto é, há uma relação de Indiferença.
2. $P(a, b) \simeq 0$, indica que existe uma Preferência Fraca de a sobre b.
3. $P(a, b) \simeq 1$, indica que existe uma Preferência Forte de a sobre b.
4. $P(a, b)=1$, indica Preferência Estrita de a sobre b.

Na prática a função de preferência é uma função de diferença entre duas avaliações, isto é, $P(a, b) = P(d)$, tal que $d = f(a) - f(b)$. Esta função é não decrescente, igual a zero para valores negativos de d.

Existem seis tipos de relações intra-atributos, também chamados critérios de generalização. Estes são suficientes para a maior parte dos casos, permitindo, para cada critério escolher um critério generalizado. Diferenciam-se uns dos outros pela sua forma e pelo número de limiares que apresentam (0, 1 ou 2), para a indiferença e para a preferência. Os parâmetros p e q são definidos pelo Agente de Decisão para cada um dos critérios. O valor de p corresponde ao maior valor da diferença entre as duas avaliações, acima do qual o Agente de Decisão considera que existe preferência estrita de uma das alternativas. O parâmetro q corresponde ao menor valor da diferença entre as duas avaliações, abaixo do qual o Agente de Decisão considera duas acções indiferentes.

Os critérios de generalização a considerar são:

a) *critério usual*. Neste caso, só há indiferença entre a e b se $f(a)=f(b)$. Desde que as duas avaliações sejam diferentes, o Agente de Decisão tem preferência estrita sobre a maior avaliação, correspondendo a:

$$\begin{aligned} H(d)=0 \text{ sse } d = 0 \\ \text{e} \\ H(d)=1 \text{ sse } d \neq 0. \end{aligned} \tag{27}$$

b) *critério quasi*. As duas acções são indiferentes para o Agente de Decisão, desde que a indiferença entre as suas avaliações não exceda o valor do parâmetro q, caso contrário existe preferência estrita, tal que:

$$\begin{aligned} H(d)=0 \text{ sse } -q \leq d \leq q \\ \text{e} \\ H(d)=1 \text{ sse } d < -q \vee d > q. \end{aligned} \tag{28}$$

c) *critério de preferência linear*. Enquanto a diferença for menor do que o parâmetro p , a preferência do Agente de Decisão aumenta linearmente com essa diferença; no entanto se exceder o valor do parâmetro p , temos uma situação de preferência estrita. Correspondendo a:

$$H(d) = \frac{d}{p} \text{ sse } -p \leq d \leq p$$

e

$$H(d) = 1 \text{ sse } d < -p \vee d > p. \quad (29)$$

d) *critério de nível*. Se a diferença entre as duas avaliações, d , está entre os parâmetros p e q , existe uma situação de preferência fraca, de forma que:

$$H(d) = 0 \text{ sse } |d| \leq q$$

e

$$H(d) = 0,5 \text{ sse } q < |d| \leq p \quad (30)$$

e

$$H(d) = 1 \text{ sse } p < |d|.$$

e) *critério de preferência linear com zona de indiferença*. Neste caso, o Agente de Decisão considera que a sua preferência cresce linearmente da indiferença para a preferência estrita na área entre os dois parâmetros, tal que:

$$H(d) = 0 \text{ sse } |d| \leq q$$

e

$$H(d) = (|d| - q) / (p - q) \text{ sse } q < |d| \leq p \quad (31)$$

e

$$H(d) = 1 \text{ sse } p < |d|.$$

f) *critério gaussiano*. Esta função requer a determinação do parâmetro σ , o que pode ser feito através da experiência obtida com a Distribuição Normal. Como não tem descontinuidades e garante a estabilidade dos resultados:

$$H(d) = 1 - \exp(-d^2 / 2\sigma^2). \quad (32)$$

As relações inter-alternativas são calculadas pela soma ponderada das preferências para todos os atributos, usando pesos fornecidos pelo Agente de Decisão. Estas relações correspondem a uma indicação numérica da superioridade de uma alternativa relativamente à outra.

Suponhamos que o Agente de Decisão especificou uma função de preferência P_i e um peso π_i para cada critério $f_i (i=1, \dots, k)$ para o problema multicritério considerado.

O peso π_i é uma medida de importância relativa do critério f_i . Se todos os critérios tiverem a mesma importância para o Agente de Decisão, todos os pesos serão iguais.

O índice de preferência multicritério Π é definido como a média pesada das funções de preferência P_i , dada pela seguinte equação:

$$\Pi(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^k \pi_i P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^k \pi_i}, \quad (33)$$

e representa a intensidade da preferência do Agente de Decisão na acção a em relação à acção b , quando considerando simultaneamente todos os critérios. Este número varia entre 0 e 1:

$\Pi(a,b) \simeq 0$ - indica a preferência fraca de a sobre b para todos os critérios.

$\Pi(a,b) \simeq 1$ - indica a preferência forte de a sobre b para todos os critérios.

O índice de preferência determina uma relação de subordinação no conjunto de alternativas. Esta relação pode ser representada por um grafo em que os nós as representam.

Entre dois nós (alternativas), a e b , temos dois arcos com os valores $\Pi(a,b)$ e $\Pi(b,a)$, não havendo nenhuma relação entre estes dois valores.

A partir daqui são calculados dois valores para cada alternativa:

- a) *o fluxo de saída*, que é a soma das preferências da alternativa em relação a todas as outras alternativas;
- b) *o fluxo de entrada*, que é a soma das preferências para todos os atributos, usando pesos fornecidos pelo Agente de Decisão.

Para cada nó do grafo, podemos definir o fluxo de saída por

$$\phi^+(a) = \sum_{b \in K} \Pi(a,b), \text{ isto é a soma dos valores dos arcos que saem do nó } a.$$

Para cada nó do grafo, podemos definir o fluxo de entrada por

$$\phi^-(a) = \sum_{b \in K} \Pi(b,a), \text{ isto é a soma dos valores dos arcos que entram no nó } a.$$

A partir da diferença entre estes fluxos é calculada uma pré-ordem completa, incluindo relações de subordinação e indiferença, através do fluxo de rede. Este é calculado pela subtração do fluxo de entrada ao fluxo de saída, da forma:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a).$$

Conclusões

O método Promethée é usado para o mesmo tipo de situações dos métodos Electre I e IV. Os cálculos deste método são de tal forma complicados que necessitam uso de máquinas, pelo que os seus resultados podem ser passíveis de discussão.

3.6 Métodos Baseados em Julgamentos

3.6.1 Introdução

Nestes métodos são usados julgamentos directos do Agente de Decisão sobre preferências entre alternativas ou critérios. Não são usados nos cálculos os valores dos atributos.

3.6.1 AHP

O Analytical Hierarchical Process modeliza as preferências do Agente de Decisão através dos seus julgamentos par-a-par. Esta metodologia é usada quando há possibilidade de estruturas hierarquicamente as alternativas a usar no problema. A

contribuição deste método torna-se importante por ser intuitiva a forma de o Agente de Decisão julgar par-a-par as alternativas de um mesmo nível hierárquico.

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) consiste numa técnica de análise de decisão e planeamento de critérios múltiplos desenvolvida por Thomas L. Saaty (1986). A metodologia utilizada valoriza a experiência e o conhecimento do Agente de Decisão, tornando-os num instrumento importante com vista à tomada de decisões; caracteriza-se pela capacidade de analisar um problema de tomada de decisão mediante a construção de níveis hierárquicos. O problema é, para o efeito, decomposto em factores que, por sua vez, serão decompostos noutros factores até determinado nível. O método em si permite estruturar hierarquicamente qualquer problema complexo; é um processo flexível, que apela à lógica e, ao mesmo tempo, utiliza a intuição.

As fases do método AHP poderão ser divididas em: estruturar a situação numa hierarquia, estabelecer as preferências comparando por nível, determinar o vector de pesos para cada nível de preferências, verificar a consistência das preferências e avaliar cada alternativa relativamente ao objectivo maior.

A primeira tarefa deste método consiste em encontrar os factores relevantes para a tomada da decisão e em situar esses factores de acordo com determinada hierarquia, cuja construção requer, naturalmente, experiência e conhecimento da área do problema; pessoas diferentes podem hierarquizar diversamente os mesmos factores de um mesmo problema.

Nesta abordagem têm, é certo, sido utilizadas escalas de medidas relativas e absolutas. Em ambos os tipos de medidas, as comparações são executadas com vista a determinar a prioridade das alternativas com vista ao objectivo principal.

A hierarquia do AHP representa as conclusões obtidas acerca dos elementos mais importantes da situação e das suas relações. Porém, não constitui um auxílio significativo no processo de planeamento ou de tomada de decisão; é necessário, ainda, um método apto a determinar a força com que cada um dos elementos influencia os outros, e ao mesmo tempo potenciador do cálculo da força relativa de cada um dos elementos sobre o objectivo geral.

Neste método, os julgamentos sobre os elementos são dados na forma de par de comparação. O Agente de Decisão transforma a informação avaliável em pares de

comparação respondendo à seguinte questão: “dado um critério e duas alternativas, qual é, de entre elas, a que mais satisfaz, e quanto mais satisfaz que a outra em relação ao critério considerado?”.

Os números quantificadores da satisfação cabem num determinado intervalo de valores. Deve existir homogeneidade das preferências, ou seja, a escala a considerar terá que ser limitada e, como ficou dito, permitir estruturar hierárquica e flexivelmente qualquer problema complexo. Pode usar-se a escala de Saaty (1986), que considera, para o efeito, números de um a nove associados aos julgamentos (ver tabela seguinte).

Tabela 1. Escala de comparação de pares de julgamentos (Saaty, 1986).

	Definição	Explicação
1	Igual importância entre critérios	Os dois critérios contribuem igualmente para a propriedade
3	Alguma preponderância de um critério sobre o outro	Experiência de julgamentos sensivelmente favorável a um critério sobre o outro
5	Forte ou essencial preponderância de um critério sobre o outro	Experiência de julgamentos fortemente favorável a um critério sobre o outro
7	Importância comprovada de um critério sobre o outro	Um critério é fortemente favorável em relação ao outro e o seu domínio é demonstrado na prática
9	Importância absoluta de um critério sobre o outro	Um critério é fortemente favorável ao outro ao mais alto nível
2, 4, 6 e 8	Valores intermédios entre dois níveis de intensidade	Solução de compromisso entre dois níveis

A experiência confirma que esta escala de nove unidades é razoável e reflecte o nível no qual podem discriminar-se a intensidade das relações entre critérios. Saaty

efectuou experiências com várias escalas (3,5,7,9,20), tendo concluído que a escala de nove valores proporciona flexibilidade suficiente para diferenciar dois elementos; no entanto, podem, como é óbvio, ser usadas outras escalas de julgamento.

Os resultados obtidos com os julgamentos através da comparação par-a-par, os números, são colocados numa matriz A quadrada n x n. Este procedimento repete-se para todos os elementos do nível, com respeito a todos os elementos de um nível acima.

A matriz de julgamentos terá o seguinte aspecto:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1nc} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2nc} \\ a_{12} & \vdots & & \vdots \\ \frac{1}{a_{1nc}} & \frac{1}{a_{2nc}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Sendo a_{ik} , a relação de importância da alternativa i relativamente à alternativa k.

Para preencher a matriz, poder-se-á começar por colocar 1 (um) na diagonal principal, ou seja, $a_{ii} = 1$.

Como condições de consistência, deverá a intensidade das preferências deve satisfazer a condição de simetria, ou seja,

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (34)$$

Na verdade, a intensidade de um julgamento da alternativa i relativamente à alternativa j será simétrica à intensidade do julgamento do alternativa j relativamente à alternativa i.

Por outro lado, cada elemento da matriz deve ser considerado como uma estimativa da relação de importância entre a alternativa i e a alternativa j, isto é,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (35)$$

E finalmente, atente-se em que a matriz deve, o mais possível, respeitar a condição de consistência

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \quad (36)$$

Para verificar o nível de consistência de uma matriz de julgamento há necessidade de obter pesos. Começando por calcular t_j :

$$t_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (37)$$

em que t_j é a soma dos elementos da coluna j .

Faz-se, em seguida, a normalização da matriz:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{t_j} \quad (38)$$

ou seja, através da multiplicação de cada elemento da matriz de julgamento pelo total da respectiva coluna. O peso de cada alternativa é calculado pela fórmula:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (39)$$

Para verificar a consistência da matriz de julgamentos, começamos por multiplicar cada elemento da matriz de decisão pelo seu peso relativo, ou seja,

$$c_{ij} = w_i \cdot a_{ij} \quad (40)$$

Em seguida, somam-se as linhas da matriz depois de pesados os seus elementos:

$$d_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (41)$$

Depois determina-se a medida de inconsistência $\lambda_{i \max}$:

$$\lambda_{i \max} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i} \quad (42)$$

Por fim, determina-se o nível de consistência através da fórmula:

$$NI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{i \max} - n}{2} \quad (43)$$

Para determinar o Rácio de Inconsistência ou incompatibilidade, divide-se o nível de consistência pelo valor de consistência aleatória:

$$RI = \frac{NI}{VCA} \quad (44)$$

O valor de consistência aleatória, e para julgamentos numéricos em escala de 1 a 9, é determinado tomando em consideração a tabela sugerida por Saaty (1986), seguidamente apresentada, com consistência média por matrizes de diferentes ordens.

Tabela 2. Consistência média por número de alternativas, Saaty (1986)

Nº de Alternativas	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistência aleatória	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Por fim alia-se cada alternativa relativamente ao objectivo maior. Devido à sua complexidade, problemas de vectores próprios e valores próprios só podem ser resolvidos, de forma geral, por meio de matemática computacional. Dada uma matriz quadrada A de ordem n , com a_{ij} pertencente a \mathbb{R} , um valor próprio, ou valor característico de A , é qualquer constante λ pertencente a \mathbb{C} , que satisfaz a equação $Aw = \lambda w$, denominada de equação característica, onde w é um vector coluna de ordem n , denominado vector próprio (ou vector característico) de A .

Da equação matricial $Aw = \lambda w$ resulta que $(A - \lambda)X = 0$, que é um sistema de equações lineares quadradas. Para que este sistema tenha uma solução não-trivial, terá que ocorrer que $\det(A - \lambda I) = 0$, resultando, após a aplicação da determinante numa equação polinomial de grau n $p(\lambda) = 0$, denominada equação característica (ou polinómio característico) da matriz A . As raízes do polinómio característico são justamente os valores próprios de A .

Saaty (1986), apresenta quatro métodos simplificados para a determinação do vector próprio e valor próprio: No primeiro método, multiplicam-se os n elementos em cada linha e tomando-se a raiz n -ésima. Seguidamente, normaliza-se a coluna dividindo-se cada número da matriz pela soma de todos os números. No segundo, divide-se os elementos de cada coluna pela soma daquela coluna e, depois, somam-se os elementos em cada linha resultante e divide-se esta soma pelo número de elementos na linha. Este é um processo destinado a apurar a média das colunas normalizadas. No

terceiro método, toma-se a soma dos elementos em cada coluna e forma-se os recíprocos desta soma. Para normalizar-se de modo a que estes números dêem como soma a unidade, divide-se cada recíproco pela soma dos recíprocos. O quarto método consiste em somar os elementos em cada linha. Normaliza-se o resultado, dividindo-se cada soma pelo total de todas as somas, de modo a que dos resultados somados se obtenha a unidade. O primeiro valor do vector resultante é a prioridade da primeira actividade; o segundo, a prioridade da segunda actividade; e assim por diante.

Apesar de não serem métodos exactos, pode-se mesmo assim, obter boas estimativas através deles. Os cálculos efectuados tem como base o segundo método.

Desta abordagem, retiraremos apenas o seu mecanismo de obtenção de pesos.

3.6.2 Outros Métodos

O método Macbeth (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique, proposto por Bana e Costa e Vansnick (1994), é usado para auxiliar o Agente de Decisão a elaborar julgamentos cardinais de acordo com a condição se $a > b$ e $c > d$, então $[v(a)-v(b)]/[v(c)-v(d)]$ reflectindo a diferença de atracção de a e b , assim como c e d .

O Agente de Decisão pode ordenar os elementos de forma decrescente de preferência. Neste método introduz-se uma escala com três categorias de definição de preferência (fraca, forte e extrema), e outras três intermédias (muito fraca, moderada e forte). Esta escala define diferenças de preferência, permitindo, assim, a existência de valores numéricos negativos, tornando-se uma escala bipolar possibilitando a modelização de conceitos opostos. Os julgamentos do Agente de Decisão devem basear-se nesta escala de seis categorias.

A inconsistência de julgamentos pode ser verificada, na medida em que as diferenças de atracção diminuem à medida que se desce na matriz construída. Introduce-se, também, um índice de incoerência com sugestões para alterar julgamentos incoerentes.

O objectivo é encontrar os limites numéricos de cada uma das seis categorias referidas, não fornecendo qualquer tipo de resultado final em relação às alternativas.

Neste método, o Agente de Decisão desempenha um papel importante, visto estar envolvido em todas as fases.

3.7 Conclusões

Dos métodos abordados, e pelas razões apresentadas aquando da abordagem a cada um deles, consideramos que aqueles que tem interesse para o nosso trabalho são as técnicas de análise preliminar e os métodos da escola francesa, nomeadamente o Electre I, Electre IV e Promethée.

Ressalva-se o facto destes dois tipos de métodos terem lugar em níveis temporais e objectivos diversos: as técnicas de análise usadas num momento inicial e com o objectivo de visualizar as alternativas ordenadas por determinados critérios, ou a exclusão de alternativas que não contribuem de forma relevante para o desfecho da decisão. Os métodos da escola francesa são usados num momento final e tem o objectivo de ajudar o Agente de Decisão na solução final, apesar de nem sempre fornecerem uma ordem total.

4. O Interface com o Agente de Decisão

4.1 Introdução

Constituem, como inicialmente se disse, objectivo da presente dissertação a criação e o desenvolvimento de uma particular relação de proximidade com o Agente de Decisão.

Na verdade, deve conceder-se que os métodos aplicados são, em si mesmos e quanto à sua codificação linguística e formal, dotados de características e exigências que se mostram dificilmente perceptíveis para quem com eles não esteja familiarizado. Assim, foi nossa preocupação, por um lado, a busca de modos de conversão da designação de parâmetros para linguagem comum e, por outro, a procura de um meio de efectuar os correspondentes pedidos em termos que permitam ao utilizador movimentar-se no sistema com algum à-vontade.

Por estas razões, e muito embora na descrição dos métodos se utilize, naturalmente, uma terminologia apropriadamente académica, verificar-se-á que o protótipo faz, ao invés, uso de uma linguagem perceptível para o Agente de Decisão. De outro modo, apenas poderia perspectivar-se nele utilidade para um Agente de Decisão hipoteticamente conhecedor dos métodos e do sentido funcional dos parâmetros - o que, há que admitir, a tornaria de aplicabilidade indesejavelmente restrita ou excessivamente custosa.

Um *interface* amigável com o Agente de Decisão deve permitir a este concentrar-se no trabalho sem esforço significativo; assim, e para além de ser utilizada linguagem comum, inteligível por qualquer pessoa, deverá ser também usada assistência em linha.

Como se verificou no Capítulo anterior, os métodos Electre I e Prométhée carecem, normalmente, de pesos de importância relativa. Neste Capítulo, apresentar-se-á um algoritmo de aquisição de tais pesos, já que liminarmente se verifica o problema de os obter de forma compreensível pelo Agente de Decisão.

Dentro das metodologias e técnicas apresentadas, algumas há que necessitam de diversos limiares, sendo a questão da sua unificação um problema fulcral na sua

aquisição. No presente Capítulo, desenvolver-se-á um processo de aquisição indirecta de tais parâmetros.

Os métodos em causa revestem, por outro lado, formas particulares de fornecer os resultados; e neste Capítulo iremos, também, debruçar-nos sobre o problema da apresentação de resultados, por forma a que eles venham a revestir a maior utilidade possível para o Agente de Decisão.

4.2 Aquisição de Parâmetros

Para conseguir os seus objectivos, o Agente de Decisão carece de fornecer determinados parâmetros requeridos pelos métodos - os pesos de importância relativa, limiares de preferência, indiferença, tolerância e veto.

Ao adquirir os parâmetros, é necessário evitar toda e qualquer confusão, que poderia ser causada pelo desconhecimento completo do significado dos parâmetros, ou por erro de introdução do Agente de Decisão. Neste Capítulo tratar-se-á da melhor forma de evitar problemas na aquisição dos pesos e diferentes limiares.

4.2.1. Pesos de importância relativa

4.2.1.1 Introdução

Os já referidos pesos requeridos pelos métodos são, justamente, vistos como indicadores das prioridades de cada critério.

Para fornecer os pesos, o Agente de Decisão indica as prioridades para cada critério através de valores numéricos. Tradicionalmente, o Agente de Decisão terá de responder à questão: “Qual o peso do critério ... no total?” tantas vezes quanto o número de critérios estabelecidos, certo sendo que cada peso pode ser fornecido em termos numéricos absolutos ou sob forma de percentagem

Repare-se, no entanto, que, a menos que as escalas sejam previamente normalizadas ou que seja usada uma função de valor individual para cada atributo, os valores numéricos dos pesos estão ligados aos das escalas.

O exemplo dado por Scharling (1996) é elucidativo: Se um critério de duração, com escala em meses, recebe um peso 4, mas se o Agente de Decisão muda de ideias e afinal acha preferível exprimir o seu critério em dias, o peso deverá passar para $4 \times 30 = 120$ para que a alteração de escalas não tenha efeito no resultado.

Geralmente, na questão dos pesos existiu com frequência certa confusão entre pesos propriamente ditos, respeitantes à importância relativa dos critérios, e o seu produto por factores de escala necessários para compatibilizar valores numéricos muito diferentes.

Muitas vezes designam-se, impropriamente, por pesos de importância relativa como o produto do peso pelo valor do atributo, na fórmula já referida no Capítulo anterior quando se abordou as funções de valor.

Impropriamente, porque há que tomar em consideração as escalas de cada critério, à partida significativamente diferentes entre si, e a possibilidade do valor do atributo nem sequer ser linear com o valor deste. Desta forma, encontra-se o *trade-off* (valor de compensação) entre atributos: os valores de compensação são vistos como a relação entre o que é preciso perder de um atributo para ganhar uma unidade noutro sem sair da curva de indiferença, ou seja, alinhando soluções a que o Agente de Decisão atribui o mesmo valor global. Quer dizer, estas compensações traduzem-se no aumento de satisfação associada a algum atributo à custa da diminuição da satisfação associada a outro, mantendo-se inalterado o nível de satisfação global do Agente de Decisão, já que a este se mostra indiferente a opção entre as duas alternativas.

No presente trabalho, não consideraremos a referida fórmula, que apesar de ser um modelo bastante popular, não é por nós vista como uma abordagem verdadeiramente interessante, na medida em que os diversos métodos não pretendem, normalmente, valores de compensação, mas sim pesos de importância relativa dos atributos. Roy (1985) e Roy e Bouyssou (1993) utilizam a designação “coeficientes de importância” em vez de pesos, evitando assim o risco de confusão com taxas de substituição.

Tradicionalmente pesos e valores de compensação eram utilizados para transformar problemas multi-critério em problemas de um só critério, normalmente económico. Por exemplo, 1 USD/kWh para valorizar a energia não fornecida foi utilizado sistematicamente no passado para avaliar os benefícios do investimento em qualidade de serviço por forma a torná-los directamente comparáveis com o custo do investimento; ou seja, os pesos eram agregados como um índice de preço.

Se, em determinado problema de planeamento, tivermos como critérios de avaliação de planos, por exemplo, a Robustez (max) e o Custo de Investimento (min)

e duas alternativas consideradas indiferentes, sendo que na 1ª Alternativa, Robustez=0,9 e Custo de Investimento=3000, e sendo, numa 2ª Alternativa, Robustez=0,8 e Custo de Investimento=2500, isto não quer dizer que, apesar de $w_1 \cdot 0,9 - w_2 \cdot 3000 = w_1 \cdot 0,8 - w_2 \cdot 2500$, signifique que Custo de Investimento seja 5000 vezes mais importante que a Robustez.

Esta relação não é verdadeira, já que, para além da importância relativa dos critérios, os pesos reflectem, também, a adequação de escalas, que são, como se disse, muito diferentes entre si; neste caso, o valor de $\frac{w_1}{w_2}$ é o *trade-off* (valor de compensação) entre atributos, supondo que esta relação é constante em toda a gama de atributos.

Ao ser-lhe solicitada a indicação de pesos, o Agente de Decisão tem, geralmente, tendência a fornecer números que sejam relativos à relação de importância e não das escalas. Posteriormente, com vista à normalização de atributos, pode usar-se $\frac{w_i}{\sum_i w_i}$; esta normalização surge em virtude da necessidade de relacionar escalas com diferentes limites, unidades de valor ou objectivos diferentes.

Um jogo foi uma forma de fornecer pesos aos critérios encontrada por Simos (1990): dá-se ao Agente de Decisão tantas cartas quantas o número de critérios. Cada uma dessas cartas tem escrito o nome de um critério. Como material do jogo distribuíram-se, ainda, algumas cartas em branco. Em seguida, pede-se ao Agente de Decisão que disponha, de forma decrescente de importância, as cartas sobre uma mesa; pode o Agente de Decisão colocar juntas duas cartas que estime terem a mesma importância, bem como colocar cartas em branco entre dois critérios, de forma a representar a “distância” entre dois critérios. Assim, se há três cartas em branco entre dois critérios, é sinal que o primeiro é mais importante quatro vezes que o segundo, dando peso quatro ao primeiro e um ao segundo.

O “jogo” de Simos pode ser encarado como uma forma menos fastidiosa e mais simples de fornecer pesos aos critérios do que atribuir directamente valores aos pesos. No entanto não será uma maneira muito prática de o fazer.

As prioridades ou pesos dos critérios podem ser estabelecidos tomando como base pares de critérios e as suas relações, no que constitui um tipo de julgamento que

combina o pensamento lógico com a sensibilidade e a experiência do Agente de Decisão. Para estabelecer prioridades de critérios num problema de decisão, trata-se aqui de fazer comparações par-a-par, em lugar de quantificar percentualmente os critérios; para os comparar, questiona-se “Quanto mais forte é (ou quanto contribui, domina, influencia ou satisfaz) um critério relativamente ao outro?”. O número de julgamentos par-a-par poderá oscilar dentro do intervalo $[nc-1, nc(nc-1)]$, onde nc é o número de critérios. A oscilação do número de julgamento dentro do referido intervalo variará consoante a preocupação com a inconsistência dos julgamentos, conforme será visto adiante. É este tipo de julgamento o introduzido pelo método AHP.

Neste método, os julgamentos sobre os elementos são dados na forma de par de comparação. O Agente de Decisão transforma a informação avaliável em pares de comparação respondendo à seguinte questão: “dado um critério e duas alternativas, qual é, de entre elas, a que mais satisfaz, e quanto mais satisfaz que a outra em relação ao critério considerado?”. Da mesma forma, poderá utilizar-se a questão relativamente a dois critérios, ou seja, “dados dois critérios, qual é, de entre eles, o que mais satisfaz, e quanto mais satisfaz que o outro?”.

Para determinar os pesos de cada critério é, por outro lado, utilizada uma matriz de julgamentos com número de elementos igual ao quadrado do número de critérios. Esta matriz é uma ferramenta simples que irá conter os julgamentos das comparações par-a-par, sendo utilizada para testar a consistência e fazer a análise da sensibilidade das prioridades.

Ora, o Agente de Decisão pode, genericamente, fornecer esses pesos por uma de duas formas - *directa* ou *indirectamente*.

Directamente: o Agente de Decisão terá de quantificar o peso de um critério relativamente ao total por tantas vezes quantas o número de critérios estabelecidos. Este peso pode ser fornecido em termos absolutos ou em forma de percentagem, exigindo-se, neste ultimo caso, que se encontrem normalizados à partida. Desta forma, o seu somatório terá que ser igual a 100%, ou seja $\sum_{i=1}^{nc} w_i = 100\%$, sendo nc o número de critérios, e w_i o peso relativo ao critério i .

Trata-se de uma forma fácil de atribuir importância aos critérios, visto ser rápida e directa. No entanto, pode mostrar-se difícil e duvidoso quantificar essa importância sob a forma de percentagens, assim como distribuir os 100% totais pelos vários critérios em confronto.

Indirectamente: Utilizando os princípios dos julgamentos do método AHP; na verdade, pode o Agente de Decisão não compreender bem o problema, ou julgá-lo de forma arbitrária. O método AHP é apto ao controlo desse tipo de julgamentos, fazendo-o através de uma medida de inconsistência.

Efectivamente, na tomada de decisões é fundamental obter um bom nível de consistência, por forma a não tomar decisões com base em julgamentos praticamente arbitrários; Contudo, não há necessidade de obter uma consistência demasiado rígida, já que existem aspectos que podem condicionar os julgamentos. Mas a questão pode colocar-se, também, deste modo: qual a importância da consistência? Com efeito, nem sempre qualquer um de nós se encontra suficientemente seguro dos seus próprios julgamentos ao ponto de forçar a consistência nos julgamentos par-a-par. A opção deverá ir no sentido de obter um bom nível de inconsistência - talvez até 10%, sem demasiada rigidez. Saaty (1986) recomenda que com um nível de inconsistência superior a 10%, os julgamentos devam ser revistos.

4.2.1.2 Aquisição dos Pesos dos Critérios

Na aquisição dos pesos dos critérios pela forma indirecta, ou seja, baseando-a no método AHP, a matriz de julgamentos terá o seguinte aspecto:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1nc} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2nc} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1nc}} & \frac{1}{a_{2nc}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Sendo a_{ik} , a relação de importância do critério i relativamente ao critério k .

A matriz de julgamentos é preenchida com os pares de comparações, usando-se, para tanto, números que representam a importância de cada critério relativamente

ao outro. Para tal iremos utilizar a escala de Saaty (1986) já referida quando da abordagem ao método AHP.

Nesta secção iremos debruçar-nos na consistência da matriz de julgamentos, considerando-a o ponto fulcral do problema.

Se, em determinado problema de planeamento, tivermos como critérios de avaliação de planos, por exemplo, a Robustez (max), o Custo (min) e as Perdas (min); se se julga a importância da Robustez como uma intensidade forte sobre o Custo (nível 5, na escala de Saaty), e a Robustez relativamente às Perdas seja igualmente 5, então, o Custo terá que ser de igual importância às Perdas.

Um exemplo elucidativo de matriz de julgamentos inconsistente:

	A	B	C	
A	1	2	1/3]
B	1/2	1	2	
C	3	1/2	1	
Total das colunas	4,5	3,5	3,(3)	

Esta última matriz não é consistente, já que viola a condição de consistência:

$$\begin{cases} A = 2 \times B \\ A = (1/3) \times C \end{cases} \Leftrightarrow 2 \times B = (1/3) \times C, \text{ mas no entanto } B \neq (1/6) \times C; \text{ é sim,}$$

$B = 2 \times C$, o que é totalmente diferente, revelando-nos, desde já, estarmos perante um caso de inconsistência.

Aplicando o processo descrito no método AHP, obteremos, então, a seguinte matriz normalizada:

	A	B	C	
A	0,2222	0,5714	0,1]
B	0,1111	0,2857	0,6	
C	0,6666	0,1428	0,3	

E, a seguinte média da soma das linhas,

$$\frac{0,2222 + 0,5714 + 0,1}{3} = 0,29788$$

$$\frac{0,1111 + 0,2857 + 0,6}{3} = 0,33227$$

$$\frac{0,6666 + 0,1428 + 0,3}{3} = 0,36984$$

	A - 0,29788	B - 0,33227	C - 0,36984		
A	0,29788	0,66455	0,12328] =	
B	0,14894	0,33227	0,73968] =
C	0,89365	0,16613	0,36984] =
				1,08571	
				1,22089	
				1,42963	

$$\begin{array}{rcl}
 1,08571 \div 0,29788 & = & 3,64476 \\
 1,22089 \div 0,33227 & = & 3,67436 \\
 1,42963 \div 0,36984 & = & 3,86552 \\
 \hline
 & & 11,1846
 \end{array}$$

$$\frac{\frac{11,1846}{3} - 3}{2} = \frac{0,7282}{2} = 0,3641$$

Rácio de inconsistência $\Rightarrow 0,3641 \div 0,58 = 0,62777$; o que mostra que nos encontramos perante uma matriz muito inconsistente, já que o rácio é superior a 10% sugerido por Saaty para limite de inconsistência aceitável.

Ao solicitar os julgamentos par-a-par ao Agente de Decisão, encontramos três situações possíveis de preocupação com a inconsistência: a preocupação absoluta, moderada ou nenhuma, que irão ser estudadas em seguida e tomando como base o exemplo apresentado anteriormente.

a) *Preocupação Absoluta;*

A consistência assume uma prioridade máxima no *preenchimento* da matriz. Para uma matriz de julgamentos de dimensão $n_c \times n_c$, iriam ser pedidos $n_c - 1$ julgamentos, evitando, a todo custo, qualquer possível inconsistência. São usadas, para o efeito, simultaneamente, as condições de simetria e de consistência.

Correspondentemente, para um problema com 3 critérios (A, B e C), ou seja, uma matriz de julgamentos 3×3 ,

1º, na diagonal principal seriam colocadas relações de igualdade;

2º, seriam apenas pedidos dois pares de julgamentos (A/B e A/C, por exemplo). Se o julgamento de A relativamente a B = 2, e o de A relativamente a C = 1/3, os restantes julgamentos seriam calculados de forma automática;

3º, pela consistência, B relativamente a C,

$$\begin{cases} A = 2B \\ A = (1/3)C \end{cases} \Leftrightarrow 2B = (1/3)C \Leftrightarrow B = (1/6)C.$$

4º, pela simetria, B relativamente a A = 1/2, C relativamente a A = 3 e C relativamente a B=6.

1º Relação de igualdade na diagonal principal

$$\begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

2º Julgamentos par-a-par dados pelo Agente de Decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

3º Consistência

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ & 1 & 1/6 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

4º Simetria

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 1/6 \\ 3 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

	A	B	C	
A	1	2	1/3]
B	1/2	1	1/6	
C	3	6	1	
Total das colunas	9/2	9	9/6	

Obteremos, então, a seguinte matriz normalizada:

	A	B	C	
A	2/9	2/9	2/9]
B	1/9	1/9	1/9	
C	6/9	6/9	6/9	

E, os seguintes pesos,

$$\frac{2/9 + 2/9 + 2/9}{3} = \frac{6}{27} = 0,2222, \text{ ou seja peso do critério A} = 22,22\%$$

$$\frac{1/9 + 1/9 + 1/9}{3} = \frac{3}{27} = 0,1111, \text{ ou seja peso do critério B} = 11,11\%$$

$$\frac{6/9 + 6/9 + 6/9}{3} = \frac{18}{27} = 0,6666, \text{ ou seja peso do critério C} = 66,66\%$$

	A - 0,2222	B - 0,1111	C - 0,6666	
A	0,2222	0,2222	0,2222]=
B	0,1111	0,1111	0,1111	
C	0,6666	0,6666	0,6666	
]=
]=
]=
]=
]=
]=

$$\begin{array}{rcl}
 0,6666 \div 0,2222 & = & 3 \\
 0,3333 \div 0,1111 & = & 3 \\
 2 \div 0,6666 & = & 3 \\
 \hline
 & & 9
 \end{array}$$

$$\frac{\frac{9}{3} - 3}{2} = \frac{3 - 3}{2} = 0$$

Rácio de inconsistência $\Rightarrow 0 \div 0,58 = 0$; o que demonstra que nos encontramos perante uma matriz completamente consistente.

No entanto, consistência não é tudo: repare-se que se a ordem pela qual são fornecidos os julgamentos par-a-par for alterada poderá ocorrer uma grande alteração na matriz. Se os julgamentos pedidos forem A-B e B-C, e não A-B e A-C, poderemos ter:

1º Relação de igualdade na diagonal principal

$$\begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

2º Julgamentos par-a-par dados pelo Agente de Decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

3º Consistência

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

4º Simetria

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

	A	B	C	
A	1	2	4]
B	1/2	1	2	
C	1/4	1/2	1	
Total das colunas	7/4	7/2	7	

Obteremos, então, a seguinte matriz normalizada:

$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ & 1 & 1/6 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 1/6 & 1/3 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$
---	---	---

Peso A	22,22%	10%	57,14%
Peso B	11,11%	60%	28,57%
Peso C	66,66%	30%	14,28%

A matriz da esquerda obtida a partir dos julgamentos A-B e A-C. A matriz do meio através de A-C e B-C. E a da esquerda pelos julgamentos A-B e B-C. Todas elas muito diferentes da matriz que seria sugerida pelo Agente de Decisão. Muito diferentes são, também, os seus pesos.

b) *Preocupação Moderada:*

Neste caso, a consistência é uma prioridade moderada no preenchimento da matriz. Geralmente, considera-se um determinado nível do índice de inconsistência, por exemplo até 10% como sugerido por Saaty; para uma matriz de julgamentos de dimensão nc , iriam ser pedidos $\frac{nc \cdot (nc - 1)}{2}$ pares de julgamentos, ou seja, tantos quantos os que se encontram à direita da diagonal principal.

Neste caso, e tal como no anterior, é forçada a simetria das relações. No entanto, e para que os pesos dos critérios sejam aceites, é calculado o nível de inconsistência; se este não for considerado razoável, o Agente de Decisão deverá, em princípio, refazer os seus julgamentos.

Para um problema com 3 critérios (A, B e C), ou seja, uma matriz de julgamentos 3 x 3, observar-se-á o seguinte:

1º, na diagonal principal seriam colocadas relações de igualdade;

2º, seriam pedidos três pares de julgamentos (A/B, A/C e B/C, por exemplo). Se o julgamento de A relativamente a B = 2, de A relativamente a C = 1/3, e de B relativamente a C = 1/6 os restantes julgamentos seriam calculados de forma automática;

3º, pela simetria, B relativamente a A = 1/2, C relativamente a A = 1/3 e C relativamente a B = 1/6.

1º Relação de igualdade na diagonal principal

$$\begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

2º Julgamentos par-a-par dados pelo Agente de Decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

3º Simetria

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

Neste caso, e como já foi visto inicialmente, temos uma matriz inconsistente. Como o nível de inconsistência (66,77%) não é considerado razoável, o Agente de Decisão teria, em face dela, de reformular ao seus julgamentos.

c) *Nenhuma Preocupação;*

A consistência não constitui uma prioridade no preenchimento da matriz. Para uma matriz de julgamentos de dimensão nc , iriam ser pedidos $nc(nc-1)$ julgamentos, ou seja, tantos quantos os que não se encontrem na diagonal principal; quer dizer, não se considera a simetria, sendo aceites incoerências e inconsistências, mesmo que devidas eventualmente à introdução dos dados.

Para um problema com 3 critérios (A, B e C), ou seja, uma matriz de julgamentos 3×3 , implica que:

1º, na diagonal principal seriam colocadas relações de igualdade;

2º, seriam pedidos seis pares de julgamentos (A/B, A/C, B/A, B/C, C/A e C/B).

1º Relação de igualdade na diagonal principal

$$\begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

2º Julgamentos par-a-par dados pelo Agente de Decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 4 & 1 & 1/6 \\ 2 & 6 & 1 \end{bmatrix}$$

	A	B	C	
A	1	2	1/3]
B	4	1	1/6	
C	2	6	1	
Total das colunas	7	9	3/2	

Obteremos, então, com a seguinte matriz normalizada:

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ A & 1/7 & 2/9 & 2/9 \\ B & 4/7 & 1/9 & 1/9 \\ C & 2/7 & 6/9 & 2/3 \end{bmatrix}$$

E com os seguintes pesos:

$$\frac{1/7 + 2/9 + 2/9}{3} = 0,1957, \text{ ou seja peso do critério A} = 19,57\%$$

$$\frac{4/7 + 1/9 + 1/9}{3} = 0,2645, \text{ ou seja peso do critério B} = 26,47\%$$

$$\frac{2/7 + 6/9 + 2/3}{3} = 0,5396, \text{ ou seja peso do critério C} = 53,96\%$$

Estes seriam os valores usados para os pesos.

No entanto, e para medir o nível de inconsistência:

$$\begin{bmatrix} A - 0,1957 & B - 0,2647 & C - 0,5396 \\ A & 0,1957 & 0,5291 & 0,1798 \\ B & 0,7830 & 0,2645 & 0,0899 \\ C & 0,3915 & 1,5873 & 0,5396 \end{bmatrix} \begin{matrix} = 0,9047 \\ = 1,1375 \\ = 2,5185 \end{matrix}$$

$$0,9047 \div 0,1957 = 4,6216$$

$$1,1375 \div 0,2647 = 4,3$$

$$2,5185 \div 0,5396 = 4,6666$$

$$\hline 13,5883$$

$$\frac{\frac{13,5883}{3} - 3}{2} = \frac{1,5294 - 3}{2} = 0,7647$$

Rácio de inconsistência $\Rightarrow 0,7647 \div 0,58 = 1,318474$; o que mostra que nos encontramos perante uma matriz muito inconsistente.

4.2.1.3 *Perspectiva adoptada*

Cotejadas as hipóteses em referência, adoptou-se a perspectiva moderada, por parecer um bom compromisso entre a consistência e a operacionalidade. São pedidos ao utilizador julgamentos par-a-par, baseando-nos nos princípios do método AHP, sem que, no entanto, este seja efectivamente usado. No nosso entender, pedir indirectamente ao Agente de Decisão para fornecer os pesos dos critérios é mais razoável do que fazer-lhe directamente tal pedido, já que é, naturalmente, muito difícil dizer qual a importância de um critérios em termos absolutos. A presente dissertação pressupõe um nível considerado razoável - menos de 10% - para o índice de inconsistência. O Agente de Decisão realiza julgamentos par-a-par pelo menos $\frac{nc \cdot (nc - 1)}{2}$ vezes; no entanto, se ele não preencher um julgamento, será considerada, por omissão, a indiferença entre critérios.

Utiliza-se a simetria, ou seja, não há necessidade de preencher todos os julgamentos, encontrando-se automaticamente os simétricos a cada um deles.

Além disso, prevalece um julgamento posterior relativamente a um anterior simétrico, ou seja, a propriedade reflectiva é sempre usada, mesmo que não coincida com um julgamento anterior. Se o Agente de Decisão, em primeiro lugar, afirma que o critério A tem alguma preponderância sobre o critério B (nível 3 da escala de Saaty), logo daí se retira que o B tem uma importância inferior, com alguma preponderância sobre o A (1/3); mas se, em seguida, o Agente de Decisão opina que o critério B é pior com uma importância comprovada que o A (1/7), é redefinido que a relação entre o critério A e o B é 7 pela escala de Saaty. Essa opção é tomada na sequência da possibilidade de alteração de cada julgamento par-a-par por parte do Agente de Decisão, já que este pode, após um julgamento efectuado errar e pretender alterar o julgamento inicial.

Após completada a matriz, é calculado o correspondente nível de inconsistência. Se este não se mostrar satisfatório (inferior a 10%), o Agente de

Decisão é informado do facto; pergunta-se-lhe se aceita alterar os seus julgamentos com vista à formação de uma matriz de julgamentos consistente, sendo que a cada matriz correspondem nc matrizes consistentes possíveis. A pergunta que se faz ao Agente de Decisão é se ele aceita uma das matrizes consistentes encontradas.

Em princípio, existem tantas matrizes consistentes quantas o número de critérios.

Tomando como base o critério número x , sendo $x \in [1, nc]$, chegaremos à seguinte matriz consistente:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & c_{1,2} & \dots & a_{1,x} & \dots & c_{1,nc} \\ \frac{1}{c_{1,2}} & 1 & \dots & a_{2,x} & \dots & c_{2,nc} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \frac{1}{c_{1,x}} & \frac{1}{a_{2,x}} & \dots & 1 & \dots & a_{x,nc} \\ c_{1,x} & a_{2,x} & \dots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & & \vdots \\ \frac{1}{c_{1,nc}} & \frac{1}{c_{2,nc}} & \dots & \frac{1}{a_{x,nc}} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

onde c_{ij} são os julgamentos par-a-par, transformados através da fórmula:

$$c_{ij} = \frac{a_{kj}}{a_{ki}} \quad (45)$$

com $k = 1..nc$ (critério base), $i = 1..nc-1 \wedge i \neq k$, $j = i+1..nc \wedge j \neq k$.

Para que esta matriz possa tornar-se consistente, é necessário que sejam alterados $1+2+\dots+n-2$ julgamentos par-a-par, assim como os respectivos simétricos, ou seja, há, no máximo, $\sum_{p=1}^{nc-1} p$ julgamentos par-a-par, assim como os respectivos simétricos a alterar, ou seja, tantos quantos não se encontrem na diagonal principal, nem na “cruz” formada pelos julgamentos em que um dos pares seja o critério base.

Este processo seria eficaz se não tivéssemos de considerar os julgamentos par-a-par tomando como base uma determinada escala restrita, neste caso, a escala de Saaty (1986), com valores $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ e seus recíprocos.

Tomando como exemplo a matriz 3x3 (com uma inconsistência de 23%):

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

Base	Combinação	Matrizes Consistentes Possíveis
A	ABC	$\begin{cases} A = 4B \\ A = 2C \end{cases} \Leftrightarrow B = (1/2)C$ $\begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 \\ & 1 & 1/2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$
B	BAC	$\begin{cases} B = (1/4)A \\ B = 2C \end{cases} \Leftrightarrow A = 8C$ $\begin{bmatrix} 1 & 4 & 8 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$
C	CAB	$\begin{cases} C = (1/2)A \\ C = (1/2)B \end{cases} \Leftrightarrow A = B$ $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ & 1 & 2 \\ & & 1 \end{bmatrix}$

Para uma matriz 3x3 inconsistente, temos 3 diferentes matrizes consistentes possíveis, tantas quantos os números de critérios. E aqui não se nos deparam problemas relativamente a escalas.

No entanto, se considerarmos como exemplo a matriz 3x3 (com uma inconsistência de 54%):

$$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 9 \\ & 1 & 9 \\ & & 1 \end{bmatrix}$$

Base	Combinação	Matrizes Consistentes Possíveis
A	ABC	$\begin{cases} A = 9B \\ A = 9C \end{cases} \Leftrightarrow B = C$ $\begin{bmatrix} 1 & 9 & 9 \\ & 1 & 1 \\ & & 1 \end{bmatrix}$
B	BAC	$\begin{cases} B = (1/9)A \\ B = 9C \end{cases} \Leftrightarrow A = 81C$ $\begin{bmatrix} 1 & 9 & 81 \\ & 1 & 9 \\ & & 1 \end{bmatrix}$
C	CAB	$\begin{cases} C = (1/9)A \\ C = (1/9)B \end{cases} \Leftrightarrow A = B$ $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 9 \\ & 1 & 9 \\ & & 1 \end{bmatrix}$

Verifica-se que, para uma matriz 3x3 inconsistente, temos 3 diferentes matrizes consistentes possíveis, tantas quantos os números de critérios. No entanto, encontramos aqui um problema de escalas: tomando como base o critério B, a relação entre A e C teria que ser 81, o que transcende os limites da escala inicialmente considerada - Saaty (1 a 9).

Consideramos que todos os números que saiam fora da escala serão colocados no valor de escala mais próximo. Neste caso, seria colocado 9 como relação entre A e

C - o que não seria satisfatório para a resolução do problema, já que a inconsistência se manteria e não havia lugar a modificações. Esta solução não seria fornecida ao Agente de Decisão. Ou seja, pode não haver tantas matrizes quantos os critérios a sugerir ao Agente de Decisão.

Outra situação que pode ocorrer de valores de substituição exteriores à escala pode ser demonstrada tomando em consideração a matriz 5x5 (com uma inconsistência de 16%):

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 8 & 4 \\ & 1 & 2 & 6 & 2 \\ & & 1 & 3 & 3 \\ & & & 1 & 2 \\ & & & & 1 \end{bmatrix}, \text{ e tomando como base o critério D:}$$

D	DAB	$\begin{cases} D = (1/8)A \\ D = (1/6)B \end{cases} \Leftrightarrow A = (4/3)B$	$\begin{bmatrix} 1 & 4/3 & 8/3 & 8 & 16 \\ & 1 & 2 & 6 & 12 \\ & & 1 & 3 & 6 \\ & & & 1 & 2 \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$
	DAC	$\begin{cases} D = (1/8)A \\ D = (1/3)C \end{cases} \Leftrightarrow A = (8/3)C$	
	DAE	$\begin{cases} D = (1/8)A \\ D = 2E \end{cases} \Leftrightarrow A = 16E$	
	DBC	$\begin{cases} D = (1/6)B \\ D = (1/3)C \end{cases} \Leftrightarrow B = 2C$	
	DBE	$\begin{cases} D = (1/6)B \\ D = 2E \end{cases} \Leftrightarrow B = 12E$	
	DCE	$\begin{cases} D = (1/3)C \\ D = 2E \end{cases} \Leftrightarrow C = 6E$	

Neste caso, a matriz encontrada tem elementos que não pertencem à escala acordada: a relação entre o critério A e B, por exemplo. Neste caso, o julgamento sugerido passaria a ser 1, em vez de 4/3, ou seja 1.333, por pertencer ao intervalo [0, 1.5]. Se o julgamento sugerido fosse 5/3, ou seja 1.666, passaria a 2, por pertencer ao intervalo [1.5, 2.5].

O Agente de Decisão terá de aceitar os julgamentos par-a-par sugeridos e gerados pela consistência de pelo menos uma das matrizes consistentes encontrada, no caso de serem encontradas matrizes integradas na escala previamente considerada; caso nenhuma das matrizes seja aceite, por não concordar com nenhuma das matrizes sugeridas pelo sistema de apoio à decisão, este continuará por vontade do Agente de Decisão, podendo este, posteriormente, rever os seus julgamentos, eventualmente de acordo com as matrizes sugeridas.

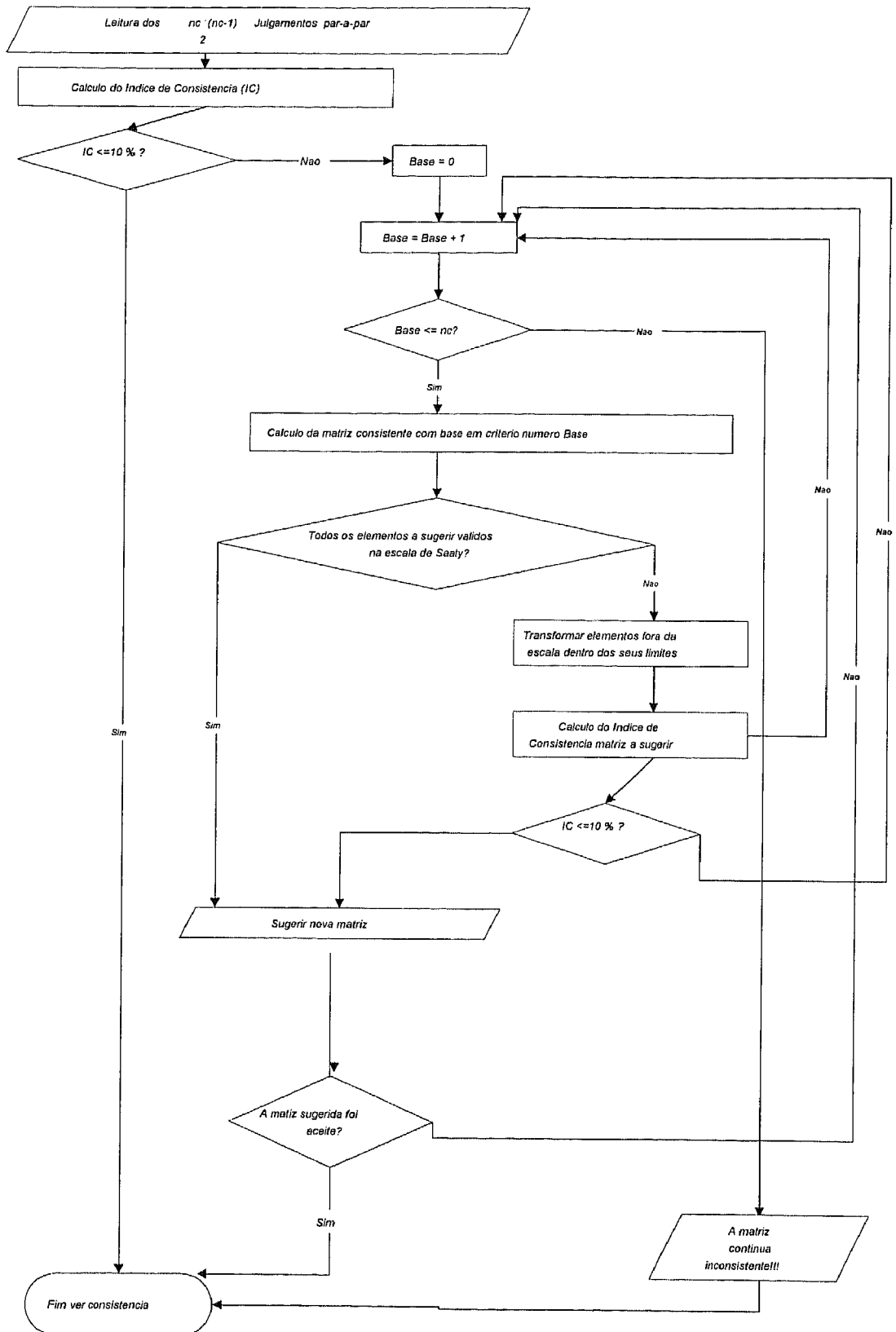


Fig. 3 - Fluxograma demonstrativo do método elaborado para aquisição de pesos dos critérios.

4.2.2 Caracterização dos Critérios

4.2.2.1 Introdução

Os métodos, tal como foi visto no Capítulo anterior, necessitam de diversos limiares para comparação entre cada par de alternativas, que podem ser fixos ou proporcionais a um dos valores dos atributos, ou seja, expressos em valor absoluto ou percentual; consideramos revestirem eles maior realismo quando os limiares se encontram expressos sob a forma de percentagem.

Tal como foi já visto no Capítulo 3, o método Promethée considera seis tipos de relações intra-atributos - critérios de generalização -, que se diferenciam uns dos outros pela sua forma e pelo número de limiares que apresentam (0, 1 ou 2) para a indiferença e para a preferência. Consideramos que o único critério de generalização que se adequa ao problema estudado é o *critério de preferência linear com zona de indiferença*, no qual o Agente de Decisão considera que a sua preferência cresce linearmente da indiferença para a preferência estrita na área entre os dois parâmetros q e p .

O Electre IV usa três relações de preferência, que são consideradas a partir do módulo da diferença entre dois atributos a e b :

- *indiferença*, quando $|a_i - b_i| \leq q_i$, ou seja, quando essa diferença se encontrar até ao limite de indiferença;
- *preferência fraca*, quando uma das alternativas é preferida francamente à outra, quando $q_i < |a_i - b_i| \leq p_i$, ou seja, quando essa diferença se encontrar acima do limite de indiferença e até ao limite de preferência;
- *preferência forte*, quando uma alternativa é fortemente preferida à outra, quando $q_i < |a_i - b_i|$, ou seja, quando essa diferença se encontrar acima do limite de preferência.

Para a subordinação forte, são utilizados os conceitos de preferências fraca e forte. Na subordinação fraca são utilizados a preferência forte e o limite de veto.

O método conjuntivo impreciso é usado para eliminar alternativas que tenham pelo menos um valor de atributo pior que determinados limiares pré-definidos para o

respectivo atributo, sem se ter em consideração os restantes atributos. No método conjuntivo introduz-se um parâmetro de tolerância ao método conjuntivo simples.

A dominação com tolerância introduz um parâmetro não existente na dominação tradicional. Este é tomado em conta para determinar alternativas dominadas.

Com vista à caracterização de critérios, e unificando as necessidades dos métodos apresentados, podem considerar-se três tipos de parâmetros: tolerância para a indiferença, tolerância para a preferência forte e limite de veto.

4.2.2.2 Tolerância para a indiferença

A Tolerância para a indiferença (q) é um parâmetro que delimita o ponto em que se passa de preferência “irrelevante” para fraca.

O método Electre IV usa este limiar para relacionar duas alternativas que são indiferentes; é ainda o limite inferior da preferência fraca.

No método Prométhée, o limiar de tolerância para a indiferença pode ser considerado como o inferior dos dois parâmetros considerados no *critério de preferência linear com zona de indiferença*. É a partir deste valor que o Agente de Decisão considera que a sua preferência cresce linearmente.

No método conjuntivo, este limiar pode ser considerado como a tolerância na aceitação ou rejeição de alternativas.

A dominação de tolerância utiliza este limiar como tolerância a considerar em alternativas dominadas.

4.2.2.3 Tolerância para a preferência forte

A tolerância para a preferência forte (p) ilustra o ponto a partir do qual se passa de preferência fraca para forte.

O método Electre IV utiliza este limiar, quer para a preferência fraca, quer para a preferência forte.

O método Promethée, no *critério de preferência linear com zona de indiferença*, utiliza o limiar para a preferência forte para o superior dos dois parâmetros.

4.2.2.4 Limite de Veto

O Limite de Veto (v) é o valor a partir do qual se passa de preferência substancial para decisiva.

Este limiar é utilizado no método Electre IV para o conceito de subordinação fraca, que é um relaxamento da subordinação forte. É visto como tendo o significado de se admitirem razões fortes em contrário. Roy e Hugonnard (1982) consideram este limite como o dobro do limite de preferência forte, recomendação que foi seguida no presente trabalho para facilitar o trabalho ao Agente de Decisão de forma a que este nem saiba que o limite de veto existe.

4.2.2.5 *Perspectiva Adoptada*

Constitui nosso objectivo adequar os parâmetros requeridos pelos métodos ao conhecimento e compreensão do Agente de Decisão, por forma a que este facilmente os possa indicar sem que para isso necessite de possuir um exaustivo conhecimento das metodologias.

Pedir ao Agente de Decisão a indicação dos diferentes limiares para cada um dos critérios não será uma perspectiva correcta, visto mostrar-se difícil para qualquer pessoa delimitar a zona de indiferença, preferência e veto.

Por estas razões, e de forma a obter-se indirectamente os parâmetros, optou-se por perguntar ao Agente de Decisão qual a sua sensibilidade para determinadas diferenças de valores. Inicialmente são gerados aleatoriamente dois valores dentro da gama de possíveis para cada um dos critérios. A sensibilidade as diferenças pode ser classificada como “Irrelevante”, “Apreciável” ou “Substancial”. Através de um método de bissecções calculam-se novos valores, de acordo com a resposta do Agente de Decisão, até se obter os valores aproximados dos limiares. Este processo é efectuado duas vezes para um maior realismo dos parâmetros.

Para cada critério toma-se, assim, em conta os seus Máximo e Mínimo valores possíveis. Este valores, no caso de ainda não terem sido introduzidos os diferentes planos, serão o dos valores por omissão para cada critério (por exemplo para a robustez, respectivamente um e zero); caso tenham já sido introduzidos, o Máximo e Mínimo valores dados para o critério nas várias alternativas, a menos que não haja uma distância mínima razoável entre os dois extremos, sendo que, neste caso, se consideram os valores por omissão.

Tal como já foi dito, optou-se por fazer este tipo de pedidos de sensibilidade em relação a dois tipos de valores, o que na prática corresponde a dois processos sucessivos, sendo considerados como os valores dos limiares os seus valores médios.

Na primeira vez, gera-se um número aleatório situado em $\frac{1}{2}(\text{Máximo} - \text{Mínimo})$ e $\frac{3}{2}(\text{Máximo} - \text{Mínimo})$, tal como se pode ver na figura seguinte:

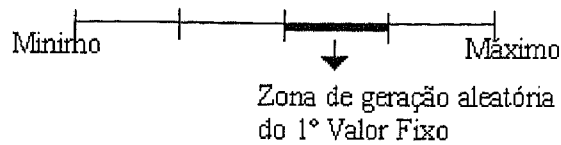


Fig. 4 - Primeira geração aleatória de valor fixo.

Na segunda vez que é feita o processo de obtenção indirecta de limiares, o número fixo gerado irá situar-se entre o primeiro quarto e a metade do eixo entre o valor Mínimo e o valor Máximo, como se pode ver-se na figura seguinte:

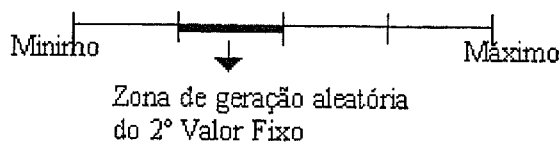


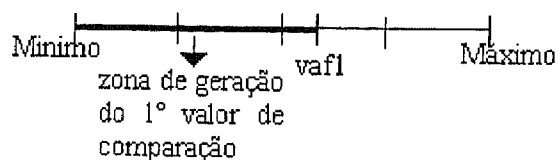
Fig. 5 - Segunda geração aleatória de valor fixo.

Podemos sintetizar este processo através de português estruturado, como se pode ver em seguida:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1º Gerar 1º Valor Fixo 2º Executar pela 1ª vez o processo de obtenção de limiares 3º Gerar 2º Valor Fixo 4º Executar pela 2ª vez o processo de obtenção de limiares 5º Calculo do limiar de indiferença pela média dos adquiridos nos dois processos 6º Calculo do limiar de preferência forte pela média dos adquiridos nos dois processos. |
|---|

O processo de obtenção dos limiares inicia-se com a geração aleatória de um valor de comparação inicial, cuja zona de geração se situa entre o valor Mínimo e o

valor gerado anteriormente, o valor fixo de geração aleatória, tal como se pode ver na figura que se segue; este valor tem de ter uma diferença razoável relativamente do valor fixo gerado inicialmente, e ser razoavelmente superior ao valor Mínimo.

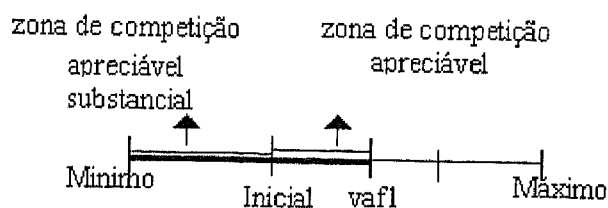


vaf1 - 1º Valor fixo gerado aleatoriamente

Fig. 6 - Geração aleatória do 1º valor de comparação com valor fixo no primeiro processo de obtenção indirecta dos limiares.

Aqui questiona-se o Agente de Decisão se a diferença entre os dois valores é “irrelevante”, “apreciável” ou “substancial”.

Se a resposta for “apreciável”, existirá uma competição, por um lado, entre “irrelevante” e “apreciável”, e posteriormente entre “apreciável” e “substancial”. Essas duas competições não são mais do que processos de adquirir indirectamente os limiares e são feitas através dos pedidos de relação entre o primeiro número fixo gerado e sucessivos números encontrados por um método de bissecções. Toma-se como ponto inicial, para a competição entre “irrelevante” e “apreciável”, o primeiro ponto de comparação e o valor fixo gerado; para a competição entre diferença “apreciável” e “substancial”, o ponto de partida será o primeiro ponto de comparação e o valor mínimo, tal como se pode ver na figura seguinte.



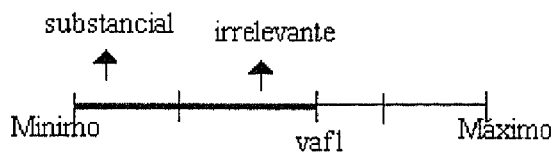
vaf1 - 1º Valor fixo gerado aleatoriamente

Inicial - 1º Valor de comparação (apreciável)

Fig. 7 - Ponto de partida para os processos de distinção de irrelevante - apreciável e de apreciável - substancial.

A competição termina quando for pedido o décimo julgamento, quando haja uma relação de proximidade razoável entre cada um dos limiares em competição, ou haja uma pequena diferença relativamente ao valor Mínimo.

Se a resposta não for “apreciável”, mas sim “irrelevante” ou “substancial”, haverá uma competição de valores, encontrados pelo método já referido, até encontrar uma diferença “apreciável”, e aí fazer a competição entre “irrelevante” e “apreciável” e posteriormente entre “apreciável” e “substancial”. Ou seja, força-se uma diferença que seja “apreciável” para ter um ponto intermédio de partida para as duas competições em cima referidas. Poderá, no entanto, haver situações em que diferenças apreciáveis não existam, como por exemplo na figura seguinte, ou seja, situações em que a competição inicial se dará entre “irrelevante” e substancial, não havendo necessidade das duas competições posteriores.



vaf1 - 1º Valor fixo gerado aleatoriamente

Fig. 8 - Ponto de partida para os processos de distinção de irrelevante - substancial.

O processo de obtenção indirecta dos limiares pode ser sintetizado através de português estruturado, como se pode ver em seguida:

1. Gerar e Validar 1º Valor de comparação
2. Se o julgamento para 1º diferença é de apreciável
 - 2.1 Então
 - 2.1.1 os limites iniciais para os processos de distinção são os de valor fixo para o irrelevante e o 1º valor de comparação para a substancial.

2.1.2 estabelecer processo, por um método de bissecção, de distinção de irrelevante e substancial, possibilitando apreciável.

2.1.3 se uma das diferenças se revelou como sendo apreciável
Então

2.1.3.1 estabelecer processo de distinção de irrelevante e apreciável, por um método de bissecções.

2.1.3.2 estabelecer, por um método de bissecções, um processo de distinção de apreciável e substancial.

2.2 Senão

2.2.1 os limites iniciais para os processos de distinção são os de valor para irrelevante, 1º valor de comparação para apreciável e Mínimo valor possível para substancial.

2.2.2 estabelecer processo de distinção de irrelevante e apreciável, por um método de bissecções.

2.2.3 estabelecer, por método de bissecções, um processo de distinção de apreciável e substancial.

Para melhor se elucidar o problema, poderemos tomar em consideração um exemplo, usando como critério a robustez, com limites mínimos e máximos de 0 e 1.

Começa-se por gerar um número aleatório entre $\frac{1}{2}(1-0)$ e $\frac{3}{2}(1-0)$, por exemplo, 0.8, sendo este considerado o primeiro valor fixo.

Em seguida, gera-se um outro número (o primeiro valor de comparação), entre 0 e 0.8, ou seja, entre o valor Mínimo e o 1º valor gerado aleatoriamente, por exemplo 0.4.

Se o Agente de Decisão responder que a diferença entre 0.8 e 0.4 corresponde a “apreciável”, estabelece-se uma competição entre a “apreciável” e a “irrelevante”, tomando como pontos de partida 0.8 e 0.4 para “irrelevante” e “apreciável”, respectivamente.

Por um método de bissecções é encontrado o valor 0.6. Se o Agente de Decisão disser que há diferença “apreciável” entre estes valores, pelo método de bissecções encontra-se um outro valor de comparação, neste caso 0.7. Se aqui houver diferença “irrelevante”, o próximo valor será 0.65; persistindo, o próximo valor de

comparação será 0.625, ou seja, o valor médio entre 0.65 e 0.6, valores até agora encontrados como as suas diferenças para o valor fixo gerado inicialmente ser “irrelevante” e “apreciável”, respectivamente. Se ainda aqui persistir a irrelevância, o próximo valor será 0.6125. Sendo “irrelevante” para o Agente de Decisão, a diferença entre o valor fixo inicial e este último, mais valores não irão ser pedidos porque a diferença entre 0.60625 e 0.6125, assim como entre 0.6025 e 0.6 é inferior a 1% do valor fixo gerado inicialmente. Pelo que termina a competição entre a diferença “apreciável” e “irrelevante”.

Como pontos de partida para a competição entre “apreciável” e “substancial” temos 0 e 0.4, respectivamente o valor Mínimo para o critério Robustez e o primeiro valor de comparação gerado - e assumido como tendo uma diferença “apreciável”. O valor seguinte de comparação será então de 0.2. Assumindo que o Agente de Decisão julga ser “substancial” a diferença entre 0.8 e 0.2, o próximo valor será 0.3. Continuando a diferença “substancial”, compara-se com 0.35, que o Agente de Decisão julga ser “substancial”. O próximo valor de comparação será de 0.375 - “apreciável”. O seguinte seria 0.3625 - “substancial”. A competição terminaria aqui, porque entre o próximo valor 0.36875 e os valores encontrados para “apreciável” e “substancial”, 0.375 e 0.3625, respectivamente, é inferior a 1% do valor fixo inicial, ou seja, 0.008.

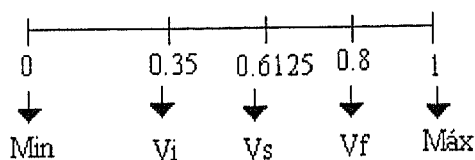


Fig. 9 - Limites de indiferença e preferência substancial encontrados no exemplo 1.

Na figura seguinte poderemos observar uma representação do exemplo apresentado.

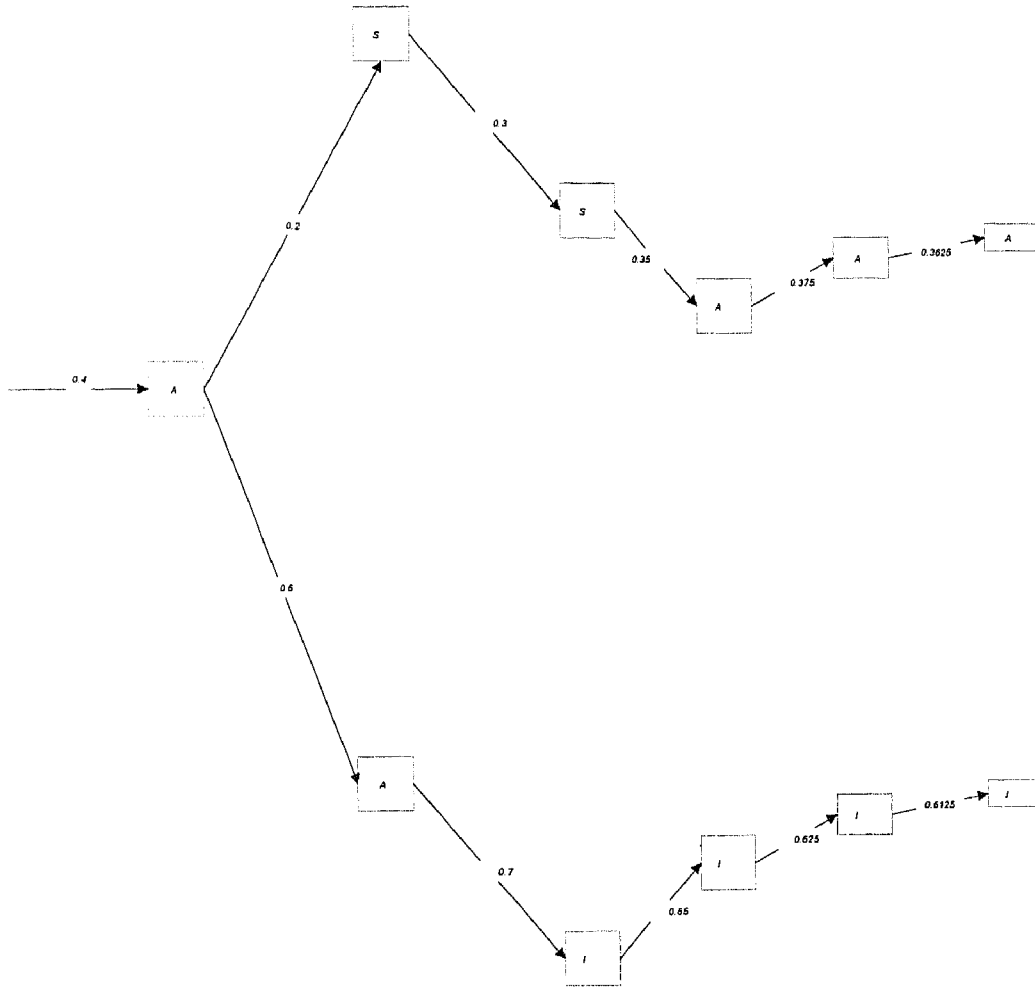


Fig. 10 - Esquematização do exemplo 1 no processo de aquisição indirecta de limiares de indiferença e preferência forte.

Neste caso, ficaríamos com $(0.8-0.6125) / 0.8 \cdot 100 \% = 23,44 \%$ como limite de indiferença e com $(0.8-0.35) / 0.8 \cdot 100 \% = 56,25 \%$ como limiar de preferência “substantial”, tal como se pode ver no gráfico seguinte:

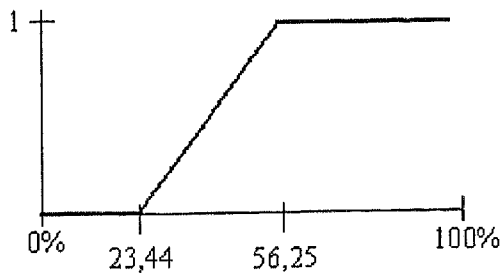


Fig. 11 - Esquema dos limites de indiferença e preferência substantial encontrados no exemplo 1.

O processo seria repetido, ou seja, para além dos pedidos feitos até aqui seria efectuada uma nova competição, com a qual se faria média. Como por exemplo:

VF2	Incr	Julga	Vs	Vp	Vi
0,4000	0,0400	S	0,0400		0,4000
	0,2200	A		0,2200	
	0,3100	A		0,3100	
	0,3550	A		0,3550	
	0,3775	A		0,3775	
	0,3888	I			0,3888
	0,3831	I			0,3831
	0,3803	A		0,3803	
	0,1300	A		0,1300	
	0,0850	S	0,0850		
	0,1075	A		0,1075	
	0,0963	S	0,0963		
	0,1019	A		0,1019	
	0,0991	S	0,0991		

Neste caso, ficaríamos com $(0.4-0.3831) / 0.4 \cdot 100 \% = 4,225 \%$ como limite de indiferença e com $(0.4-0.0991) / 0.4 \cdot 100 \% = 75,225 \%$ como limiar de preferência forte.

Para completar o exemplo, faz-se a média das duas competições:

$$Indiferença = \frac{23,44 + 4,225}{2} = \frac{27,665}{2} = 13,83\%$$

$$PForte = \frac{56,25 + 75,225}{2} = \frac{131,475}{2} = 65,74\%$$

O conjunto de algoritmo e subalgoritmos do processo de aquisição indirecta de limiares podem ser visto no anexo A.

4.3 Apresentação de Resultados

4.3.1 Introdução

Tal como na aquisição dos parâmetros, na apresentação dos resultados fornecidos pelos métodos há uma preocupação de adequar os mesmos a qualquer Agente de Decisão, esteja este familiarizado ou não com os conceitos vistos no Capítulo 3.

Ao apresentar os resultados é, portanto, necessário evitar toda e qualquer ambiguidade com o seu significado, de maneira a que o Agente de Decisão possa, da melhor forma, retirar as suas conclusões. Neste Capítulo iremos tratar da melhor forma de evitar essa confusão.

4.3.2 Electre I

Como já foi visto no Capítulo anterior, no método Electre I o resultado é uma matriz de zeros e uns que para tirar as conclusões finais é vista sob a forma de um grafo. Não pode ser usado como método definitivo, já que não produz uma ordem total; e a condução de resultados a um grafo levanta muitas dificuldades, já que corresponde a uma pré-ordem, podendo surgir situações de incomparabilidade.

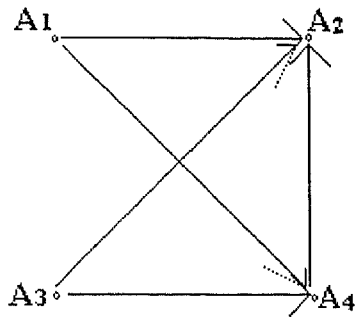
Por exemplo:

Obtendo-se a matriz agregada E:

$$E = \begin{bmatrix} - & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 1 \\ 0 & 1 & 0 & - \end{bmatrix}$$

↑ A2 é “subordinada” às outras.

O grafo correspondente será:



As conclusões a tirar são:

A2 é subordinada a todas as outras, logo A2 é eliminada.

A4 está subordinada a A1 e A3, logo também é eliminada.

Não é definida a posição relativa a A1 e A3; em relação a estas últimas, surge uma situação de incomparabilidade.

Ou seja, não há uma classificação final das alternativas, pelo que poderá não revestir de grande utilidade para um Agente de Decisão que não esteja familiarizado com este tipo de representações, ou mesmo que pretenda uma sugestão de classificação de alternativas.

4.3.3 Electre IV

Este método não define uma ordem total de alternativas, mas apenas duas destilações. A última parte do método Electre IV estabelece duas destilações das alternativas, uma por ordem crescente da sua qualificação e outra por ordem decrescente. A qualificação de uma alternativa está directamente relacionada com o número de alternativas que ela subordina e com o número de alternativas que a subordinam a elas. As destilações consistem em escolhas sucessivas da melhor qualificação de entre as alternativas ainda não escolhidas. As alternativas vão sendo escolhidas para a destilação descendente por razão de subordinação forte superior, sendo que na destilação ascendente são escolhida por inferior diferença entre subordinar e ser subordinada.

Por exemplo:

Sendo R a matriz de preferências:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & C & D & E & F & G & H & I & J & K & L \end{matrix} \\ \begin{matrix} - \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & - & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & - & 1 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & - & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Sabendo que se $r_{ij}=2$, A_i subordina fortemente A_j , que se $r_{ij}=1$, há subordinação fraca de A_i relativamente A_j e que se $r_{ij}=0$, não há qualquer tipo de subordinação de A_i relativamente A_j

As duas destilações seguintes dependem do número de vezes que as alternativas subordinam e são subordinadas fortemente, actuando o subordinar e ser subordinadas de forma fraca em caso de desempate.

Ascendente		Descendente	
1º	A, K, L	1º	K
2º	I	2º	G
3º	E	3º	I
4º	C, G	4º	C
5º	H	5º	H
6º	B	6º	L
7º	F	7º	A
8º	D	8º	E
9º	J	9º	B, D F, J

Neste caso, temos dois tipos de classificação final de alternativas.

4.3.4 Prométhée

No método Prométhée, temos o fluxo da rede ($\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) = c(a,x) - c(x,a)$), sendo x todas as outras acções que não a acção a), composto pelo fluxo de saída menos o fluxo de entrada, correspondendo à preferência menos a indiferença. Desta forma, temos as acções são niveladas numa ordem final. As regras para esta ordenação final podem ser vistas no quadro seguinte (Scharling, 1996):

Tabela 3. Regras de ordenação final do método Prométhée.

a P b	se	$\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ e $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$ ou $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ e $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$ ou $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ e $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
a I b	se	$\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ e $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$
a R b	se	senão

As acções com igual qualificação são classificadas *exaequo*.

Por exemplo:

sendo C a matriz de índices de concordância:

$$C = \begin{bmatrix} - & 0.296 & 0.250 & 0.269 & 0.100 & 0.185 \\ 0.463 & - & 0.389 & 0.333 & 0.296 & 0.500 \\ 0.235 & 0.180 & - & 0.333 & 0.056 & 0.429 \\ 0.399 & 0.506 & 0.305 & - & 0.224 & 0.212 \\ 0.444 & 0.515 & 0.487 & 0.380 & - & 0.448 \\ 0.287 & 0.399 & 0.250 & 0.431 & 0.133 & - \end{bmatrix}$$

$$\Phi^+ = \begin{bmatrix} & A & B & C & D & E & F \\ 1.099 & 1.981 & 1.233 & 1.646 & 2.274 & 1.500 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} & A & B & C & D & E & F \\ 1.828 & 1.896 & 1.681 & 1.746 & 0.809 & 1.775 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} & A & B & C & D & E & F \\ -0.728 & 0.086 & -0.448 & -1.00 & 1.464 & -0.274 \end{bmatrix}$$

Conseguimos, então obter a qualificação final:

1°	E	1.464
2°	B	0.086
3°	D	-0.100
4°	F	-0.274
5°	C	-0.448
6°	A	-0.728

4.3.5 Perspectiva adoptada

O Agente de Decisão pretende que os métodos lhe forneçam, como conclusões, uma sugestão de classificação de alternativas.

O método Prométhée estabelece ordenações de alternativas segundo o fluxo de rede que pode funcionar como uma pontuação para alternativas. Não há que rever conhecimentos relativamente a este método na medida em que ele fornece ao Agente de Decisão uma sugestão bastante completa.

No entanto, e como se pode constatar, no método Electre I, usam-se grafos para representar relações entre alternativas, não fazendo uma classificação final. Para o caso de o Agente de Decisão não estar familiarizado com esse tipo de representação, e para que o mesmo disponha de uma classificação de alternativas por importância, optou-se por utilizar contribuições do método Electre IV para melhor receber os resultados do método Electre I.

Para uma classificação de alternativas, podemos fazer duas destilações, uma destilação ascendente e outra descendente. Excluindo as alternativas que tem, respectivamente, menores e maiores relações entre subordinar e ser subordinadas.

por exemplo:

$$E1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} A1 & A2 & A3 & A4 & A5 & A6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & - & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & - \end{bmatrix} & \begin{matrix} 3 & 3 \\ 4 & 4 \\ 0 & -5 \\ 1 & -2 \\ 1 & 0 \\ 2 & 0 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 5 & 3 & 1 & 2 \end{matrix}$$

Começando pela destilação ascendente, exclui-se a alternativa A3, porque é aquela que tem pior relação entre subordinar e ser subordinada.

$$E1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccc} A1 & A2 & A4 & A5 & A6 \end{array} \\ \left[\begin{array}{ccccc} - & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & - & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & - \end{array} \right] & \begin{array}{cc} 2 & 2 \\ 3 & 3 \\ 0 & -3 \\ 0 & -1 \\ 1 & -1 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} 0 & 0 & 3 & 1 & 2 \end{array}$$

Retiramos, agora a alternativa A4.

$$E1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} A1 & A2 & A5 & A6 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccc} - & 0 & 0 & 1 \\ 0 & - & 1 & 1 \\ 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & - \end{array} \right] & \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 0 & -1 \\ 0 & -2 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} 0 & 0 & 1 & 2 \end{array}$$

Excluimos agora a alternativa A6.

$$E1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} A1 & A2 & A5 \end{array} \\ \left[\begin{array}{ccc} - & 0 & 0 \\ 0 & - & 1 \\ 0 & 0 & - \end{array} \right] & \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Agora, excluimos a alternativa A5, e ficamos apenas com A1 e A2, que ficam ambas em primeiro lugar *exaequo*.

$$E1 = \begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} A1 & A2 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cc} - & 0 \\ 0 & - \end{array} \right] & \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} 0 & 0 \end{array}$$

Ficamos com a classificação Ascendente:

1º	A1 e A2
2º	A5
3º	A6
4º	A4
5º	A3

Na destilação descendente, começa-se por se excluir a alternativa A2, porque ter a melhor relação entre subordinar e ser subordinada.

$$E1 = \begin{array}{ccccc|cc} & A1 & A3 & A4 & A5 & A6 & & \\ \hline & - & 1 & 1 & 0 & 1 & 3 & 3 \\ & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 \\ & 0 & 1 & - & 0 & 0 & 1 & -1 \\ & 0 & 1 & 0 & - & 0 & 1 & 0 \\ & 0 & 1 & 1 & 0 & - & 2 & 1 \\ \hline & 0 & 4 & 2 & 0 & 1 & & \end{array}$$

Em seguida retira-se a alternativa A1:

$$E1 = \begin{array}{cccc|cc} & A3 & A4 & A5 & A6 & & \\ \hline & - & 0 & 0 & 0 & 0 & -3 \\ & 1 & - & 0 & 0 & 1 & 0 \\ & 1 & 0 & - & 0 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 & 0 & - & 2 & 2 \\ \hline & 3 & 1 & 0 & 0 & & \end{array}$$

Em seguida, exclui-se a alternativa A6.

$$E1 = \begin{array}{ccc|cc} & A3 & A4 & A5 & & \\ \hline & - & 0 & 0 & 0 & -2 \\ & 1 & - & 0 & 1 & 1 \\ & 1 & 0 & - & 1 & 1 \\ \hline & 2 & 0 & 0 & & \end{array}$$

Agora retira-se as alternativas A4 e A5, ficando apenas com a alternativa A3.

Ficamos com a classificação Descendente:

1º	A2
2º	A1
3º	A6
4º	A4 e A5
5º	A3

Podemos, com este processo, apresentar, de forma compreensível para o Agente de Decisão, os resultados fornecidos pelo método Electre I.

No método Electre IV estabelecem-se duas destilações de alternativas uma ascendente e outra descendente, não fornecendo uma classificação final. Para uma classificação final poderia fazer-se a média de posição de cada alternativa nas duas destilações, no entanto não nos satisfaz este tipo de técnica, já que não é considerada a intensidade da diferenças entre alternativas mas apenas a sua posição sequencial.

4.4 Conclusões

Foi objectivo deste Capítulo adequar os métodos à sua aplicação por um Agente de Decisão possivelmente desconhecedor dos mesmos.

Para a aquisição de parâmetros foram estudados formas de permitir não introduzir pesos e limiares de indiferença, preferência e veto. Na aquisição dos pesos foi elaborado uma técnica que através de julgamentos de critérios par-a-par e preocupando-se moderadamente com a consistência, evita confusões na sua atribuição. A técnica estudada para adquirir limiares baseou-se na comparação de diferenças de valores gerados aleatoriamente usando ainda uma técnica de bissecções.

Para a aquisição de resultados, desenvolveu-se uma técnica para transformar os resultados do método Electre I em destilações de alternativas, de forma a que o Agente de Decisão consiga compreender os resultados e evitar toda e qualquer confusão com os mesmos.

5. Descrição do Protótipo

5.1 Introdução

O presente Capítulo destina-se a descrever, de forma sistemática, as funcionalidades do protótipo desenvolvido, reservando-se o Capítulo seguinte para demonstrar a sua utilização através de um exemplo.

O objectivo que sempre nos guiou na elaboração deste protótipo foi, recorde-se, a criação de um *interface* amigável, com funcionalidade e simplicidade de utilização bastantes para vir a conseguir servir com facilidade o Agente de Decisão nos seus propósitos.

Foi utilizado um sistema de selecção por *menu*, com hierarquização de escolhas; este tipo de selecção é dos mais fáceis de usar auxiliando a orientação do Agente de Decisão na sua sequência de acções.

A consistência dos *écrans* foi um dos objectivos, de forma a evitar imprevistos que pudessem ocorrer na sua utilização e a conseguir familiarizar com eles quem os utiliza. O sistema pretendeu-se interactivo e de manipulação directa, posto que “a manipulação directa apresenta visualmente as tarefas, sendo mais fácil de aprender, de reter; pode evitar erros, encoraja explorações e provoca alta satisfação subjectiva” (Reis Lima e Barbosa, 1996).

Para todos os quadros, foi criado um guião em linha destinado a ajudar e esclarecer dúvidas a um utilizador ocasional.

Proporcionam-se facilidades a utilizadores frequentes, por forma a que notem mais rapidez de laboração.

5.2 Estrutura do protótipo

O protótipo utiliza um sistema de *menus* hierárquico estruturado da seguinte forma:

Ficheiro	Novo Abrir Gravar Gravar Como Imprimir Ver Antes Sair	
Critérios	Critérios Activos Relação entre critérios Caracterização de atributos	Par-a-par Global Aprendizagem Limites directos
Planos	Editar Visualizar	
Técnicas	Ordenações Dominações Filtragem	Simple Com tolerância Simple Com tolerância
Métodos	Electre I Electre IV Promethée	
Ajuda	Índice Acerca	

Para familiarizar o Agente de Decisão com o protótipo, manteve-se a coerência de comandos, nomeadamente:

- a saída para o *menu* principal (premindo o botão “Sair” ou a tecla “Esc”);
- o acesso ao guião em linha (premindo o botão “Ajuda” ou a tecla “F1”);
- a confirmação das execuções (premindo o botão “Confirmar”);
- a exclusão de planos (premindo o botão “Excluir”);
- o desfazer de exclusões (premindo o botão “Desfazer”);
- o uso de uma barra de deslocamento para visualizar mais de seis planos;
- a forma de aceder às opções no *menu*.

Foram utilizadas cores sóbrias, exceptuando aquelas que são utilizadas para distinguir alternativas a excluir (amarelas sobre fundo vermelho), e em número limitado.

A existência de atalhos para Agentes de Decisão experientes foi igualmente prevista - nomeadamente pela aquisição de limiares de forma directa e a disponibilidade de uma matriz de julgamentos para aquisição da relação entre critérios, proporcionando interesse e gosto por parte de quem utiliza o protótipo.

5.3 Aquisição de dados

A aquisição de dados é, geralmente, feita a partir de um ficheiro de texto com a extensão *ssd*. A estrutura deste tipo de ficheiro são apresentados no anexo C.

Como recurso, permite-se a edição de dados através das virtualidades do protótipo.

Para definição de critérios existe um ficheiro de texto *crit.dat*, que inclui os critérios a considerar; assim, o protótipo pode servir diferentes objectivos consoante o conteúdo desse ficheiro de dados. A sua estrutura e conteúdo inicial podem ser vistos no anexo B.

É a partir do *menu* “Ficheiro” que são efectuados procedimentos para criar novos documentos, gravar o trabalho e proceder à abertura de documentos existentes.



Fig. 12 - Menu “Ficheiro”

Novo documento

Em qualquer momento da execução, pode criar-se um novo documento.

Abrir um documento

Para abrir um documento já existente, escolhe-se na caixa de diálogo “Abrir” um documento já existente.

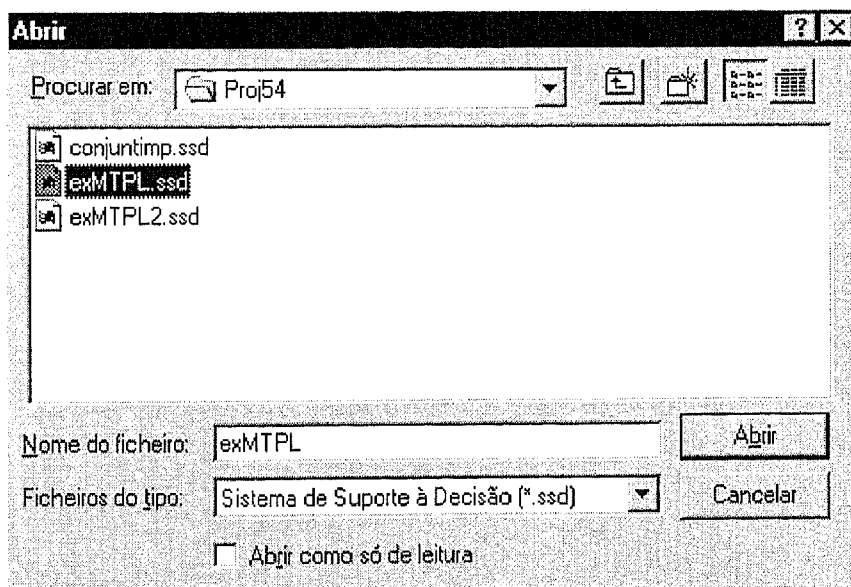


Fig. 13 - Caixa de diálogo “Abrir”

Gravar um documento

Em qualquer momento da execução do protótipo, pode-se gravar o ficheiro que se está a utilizar. Ao guardar um ficheiro pela primeira vez, o protótipo apresenta a caixa de diálogo **Gravar Como**, em que se permite a escolha de um nome para o documento; o nome do ficheiro deve apresentar as normas habituais, ou seja, ter no

máximo oito caracteres, sendo estes alfanuméricos com a excepção, opcional, do ponto que separar o nome do ficheiro da extensão *ssd*.

Fechar o documento e sair do protótipo

A saída do protótipo é levada a cabo mediante a opção “Sair”. No entanto, e no caso de se pretender trabalhar com um outro documento, cria-se um novo ou abre-se um documento já existente. Em qualquer caso, se o trabalho inicial não foi gravado é perguntado se não se pretende gravar o trabalho feito.

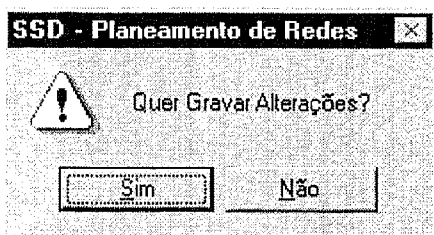


Fig. 14 - Questão sobre se se pretende ou não gravar as alteração ao trabalho.

Critérios Activos

Os critérios activos são aqueles que, dentro do conjunto global de critérios, se tomam em consideração em determinado momento da execução.

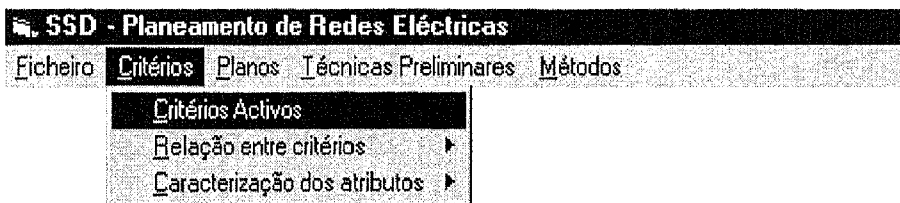


Fig. 15 - Menu “Critérios”

Um critério pode ser activado ou desactivado em qualquer ocasião, no entanto pelo menos dois deles tem de estar permanentemente activos em qualquer momento.

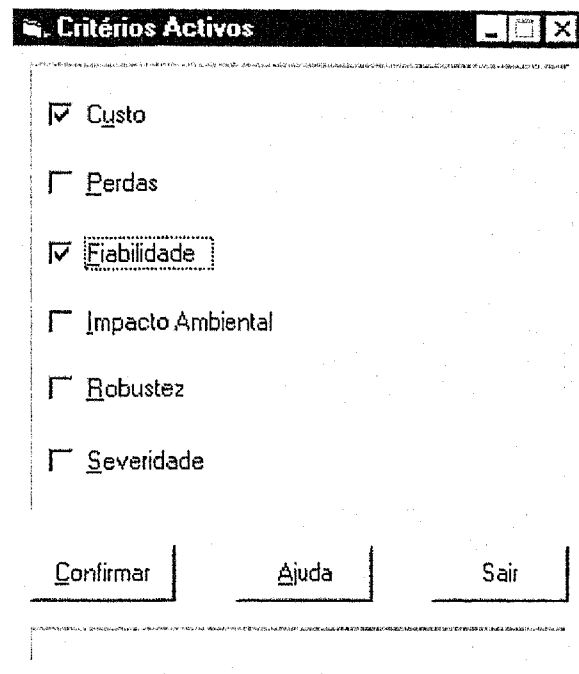


Fig. 16 - Escolha de critérios activos

Relação entre critérios

Como já foi visto no Capítulo anterior, a aquisição de pesos pode ser feita através de julgamentos entre pares de critérios usando a escala de Saaty (1986). No protótipo, possibilitam-se dois tipos de aquisição de pesos: par-a-par e Global.

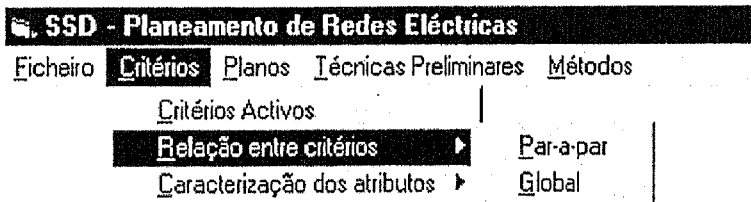


Fig. 17 - Submenu "Relação entre critérios"

Relação entre critérios: Par-a-par

A relação entre critérios, opção par-a-par, possibilita a definição dos julgamentos de cada um dos critérios relativamente a todos os outros critérios activos.

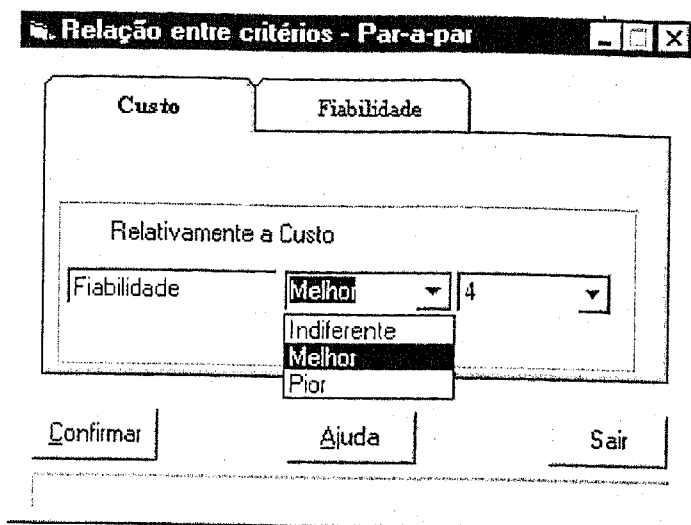


Fig. 18 - Relação entre critérios "Par-a-par"

Esse julgamento pode ser "Melhor", "Pior" ou "Indiferente". Nos dois primeiros casos, pode ainda definir-se a intensidade do julgamento através da escala de Saaty; sendo que, no caso da "Indiferença", a intensidade é sempre um.

Relação entre critérios: Global

A "Relação entre critérios: Global" é uma opção que permite uma definição ampla dos julgamentos do Agente de Decisão para cada um dos critérios activos relativamente aos outros. Esta opção permite introduzir os julgamentos sob a forma de matriz. É mais rápida que a anterior, visando ser utilizada essencialmente por conhecedores de matrizes de julgamentos.

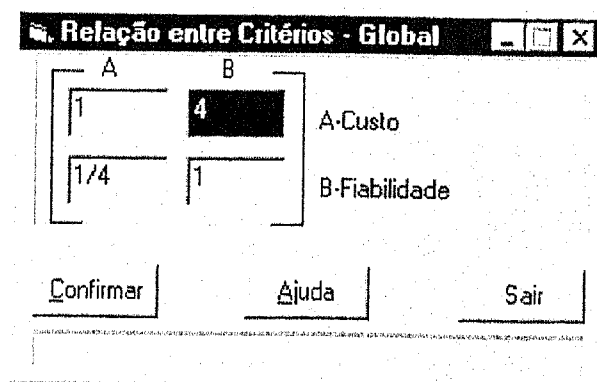


Fig. 19 - Relação entre critérios "Global"

A introdução dos julgamentos é feita apenas na diagonal superior direita da matriz, estabelecendo-se, assim, automaticamente o valor dos seus simétricos.

Consistência na “Relação entre critérios”

Ao sair do estabelecimento de relações entre critérios, quer para a sub-opção “Par-a-par”, quer para a “Global”, o protótipo verifica automaticamente se os julgamentos introduzidos são consistentes. Caso o não sejam, são sugeridas alterações aos julgamentos por forma a que estes adquiram essa consistência. Por exemplo, a matriz da figura seguinte é inconsistente.

	A	B	C	
	1	8	8	A-Custo
	1/8	1	4	B-Perdas
	1/8	1/4	1	C-Fiabilidade

Fig. 20 - Matriz de julgamentos inconsistente

Neste caso, o Agente de Decisão é avisado do nível de inconsistência, como se pode verificar na figura seguinte.

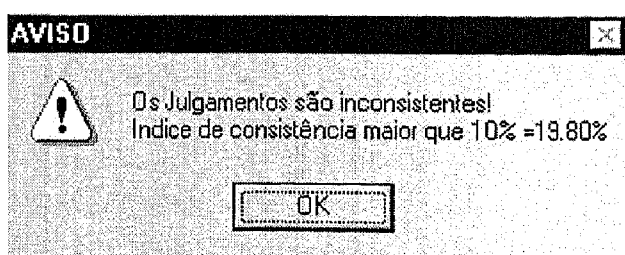


Fig. 21 - Aviso do nível de inconsistência dos julgamentos introduzidos

Em seguida, o protótipo sugere alterações de julgamentos que são aceites ou não.

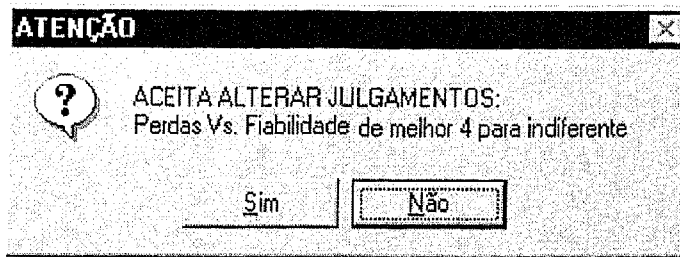


Fig. 22 - Primeira sugestão de alteração de julgamentos

Caso a primeira sugestão não seja aceite, outras sugestões poderão ser indicadas ao Agente de Decisão.

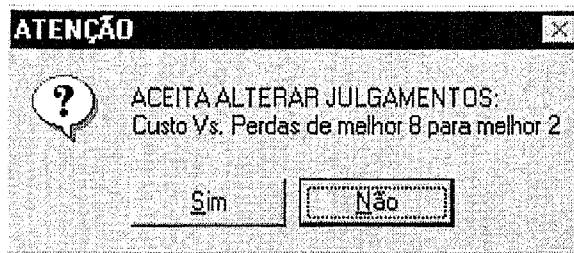


Fig. 23 - Segunda sugestão de alteração de julgamentos

Se alguma das sugestões for aceite, os julgamentos são automaticamente alterados de acordo com as propostas; no entanto caso nenhuma das sugestões propostas seja aceite, questiona-se o Agente de Decisão se é sua vontade continuar com a matriz escolhida.

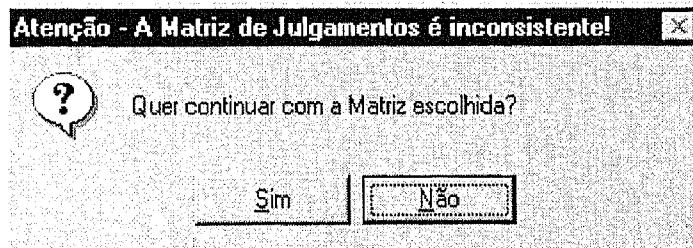


Fig. 24 - Perguntar se se pretende continuar ou não com uma matriz inconsistente

Caracterização dos atributos

Tal como foi visto no Capítulo anterior, algumas técnicas e métodos apresentados necessitam de diversos parâmetros, tendo-se definido como sendo necessários o limite de indiferença e o limiar de preferência forte. O protótipo prevê duas formas de aquisição desses limiares: “aprendizagem” e “limites directos”. Estas

são utilizáveis por dois tipos diferentes de utilizadores: a primeira por um Agente de Decisão desconhecedor dos métodos, e a segunda por um especialista que pretende rapidez de execução.

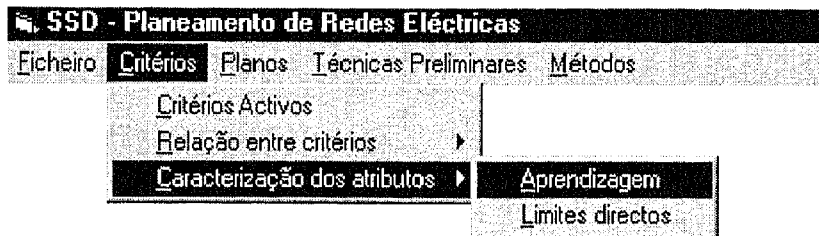


Fig. 25 - Submenu “Caracterização dos atributos”

Caracterização dos atributos: Aprendizagem

A primeira das referidas formas de aquisição de limiares funciona de acordo com o processo idealizado no Capítulo 3. A definição destes limiares é feita através de sensibilidades para diferenças, podendo estas ser classificadas como “Irrelevante”, “Apreciável” e “Substancial”.

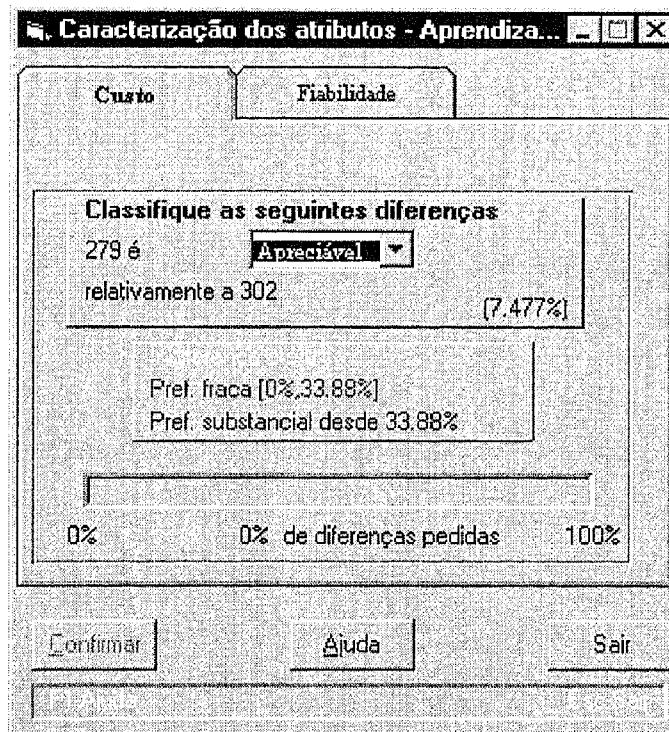


Fig. 26 - Caracterização dos atributos: Aprendizagem

A informação fornecida é complementada com a indicação da percentagem relativa às diferenças entre os dois valores apresentados.

Para controlo da evolução do processo, o Agente de Decisão pode visualizar a percentagem de pedidos que ainda lhe restam para completar os julgamentos, terminando quando completar os 100 por cento.

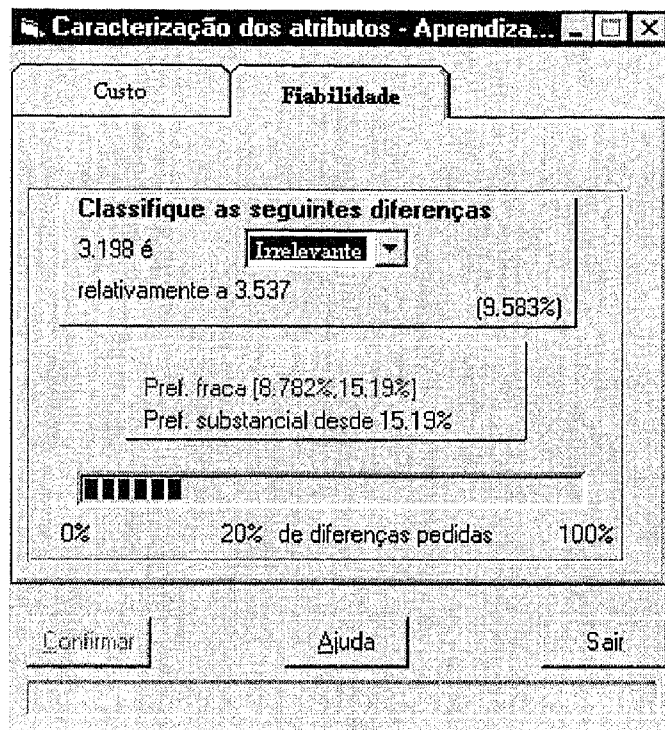


Fig. 27 - Percentagem de diferenças pedidas para a caracterização dos atributos: Aprendizagem

Caracterização dos atributos: Limites directos

Esta opção é usada para definir directamente, e em percentagem, o limite de indiferença e o limiar de preferência forte para cada critério activo. Desta forma, consegue-se introduzir mais rapidamente os limiares do que na “Caracterização de atributos: Aprendizagem”; no entanto fornecer directamente os limites de cada critério implica que se conheça com profundidade o significado de cada um dos limiares.

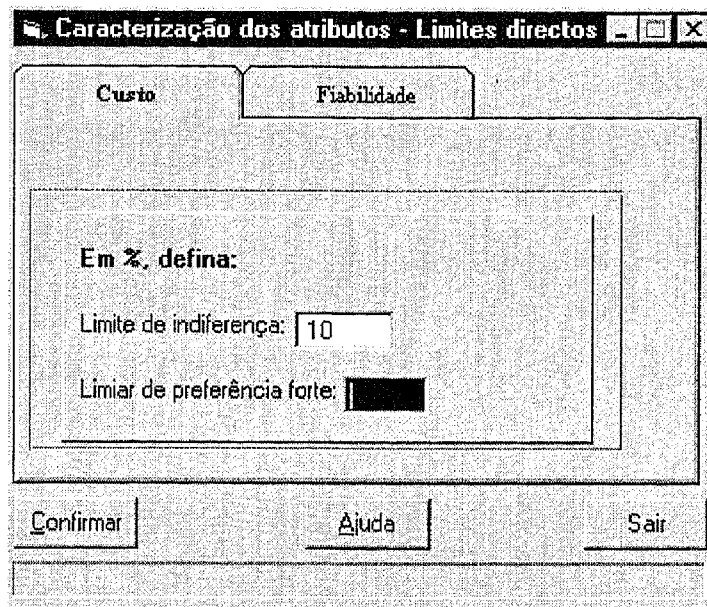


Fig. 28 - Caracterização dos atributos: Limites directos

Editar Planos

O protótipo permite introduzir novos planos e alterar planos já existentes.

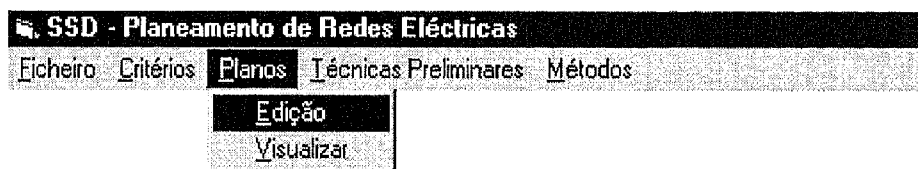


Fig. 29 - Menu "Planos"

Os diferentes planos são numerados sequencial e automaticamente.

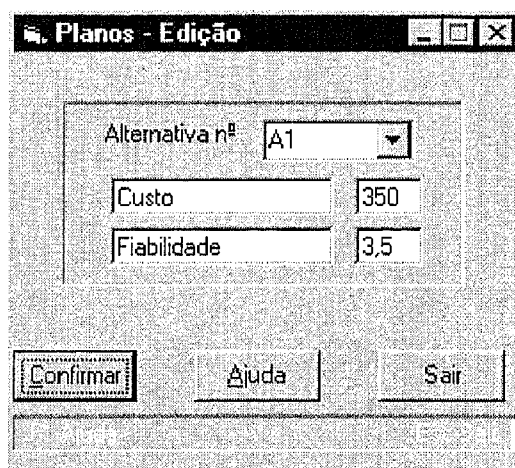


Fig. 30 - Edição de Planos

Visualização de Planos

A qualquer momento da execução, o Agente de Decisão pode visualizar os valores dos planos em cada um dos critérios activos.

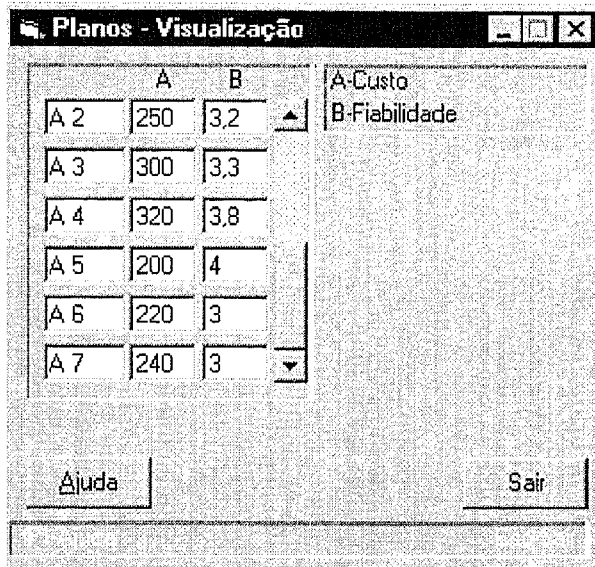


Fig. 31 - Visualizar planos - número superior a seis.

Quando o número de planos é superior a seis, utiliza-se uma barra de deslocamento para visualizar uma nova página. A referida barra não é visível quando o número de planos introduzidos for inferior a seis.

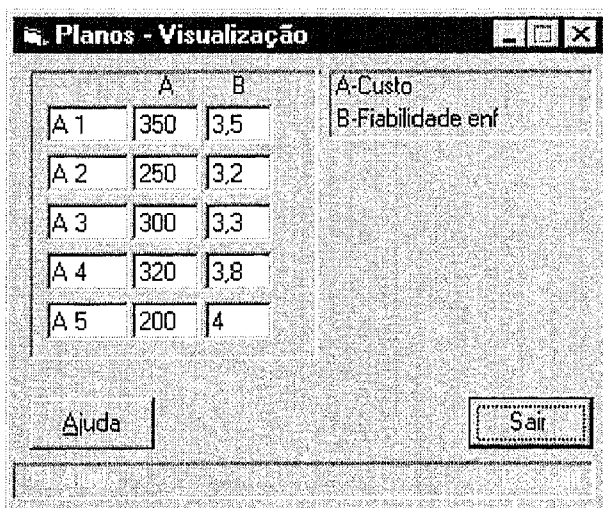


Fig. 32 - Visualizar planos - número igual ou inferior a seis.

5.4 Técnicas preliminares

Os planos introduzidos podem ser manipulados através das técnicas preliminares abordadas no Capítulo 2.

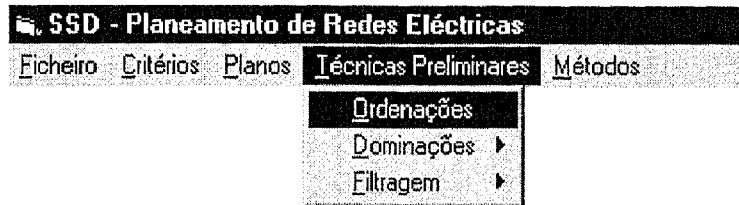


Fig. 33 - Menu “Técnicas Preliminares”

Ordenações

A ordenação permite visualizar os vários planos ordenados, após escolha de uma ou mais chaves de ordenação, podendo estas estar definidas ascendente ou descendente.

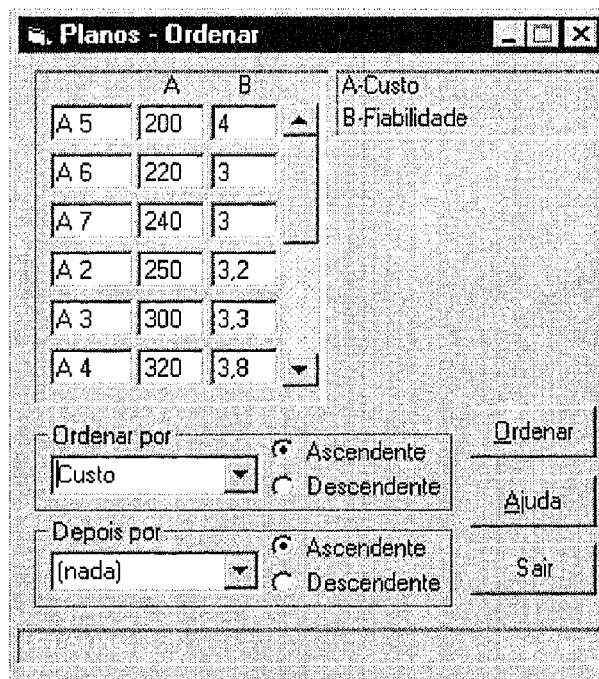


Fig. 34 - Opção “Ordenar” planos

Dominações

A dominação permite visualizar e excluir os planos dominados; a dominação pode ser Simples ou Com Tolerância.

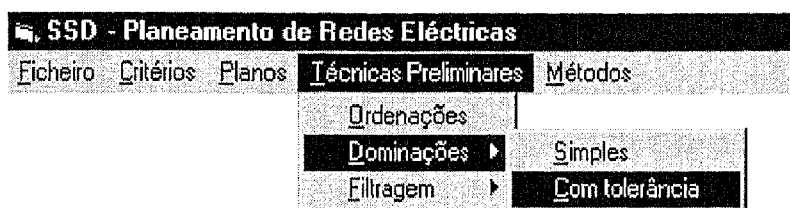


Fig. 35 - Submenu “Dominações”

Dominações: Simples

Aos critério activos são atribuídas letras de forma sequencial para legenda. Os critérios não activos aparecem em cinzento claro, por forma a alertar o Agente de Decisão quanto ao facto de as alternativas serem dominadas ou não, tendo em conta apenas os critérios activos.

Os planos dominados aparecem com fundo vermelho e letras amarelas, por forma a poderem distinguir-se dos não dominados.

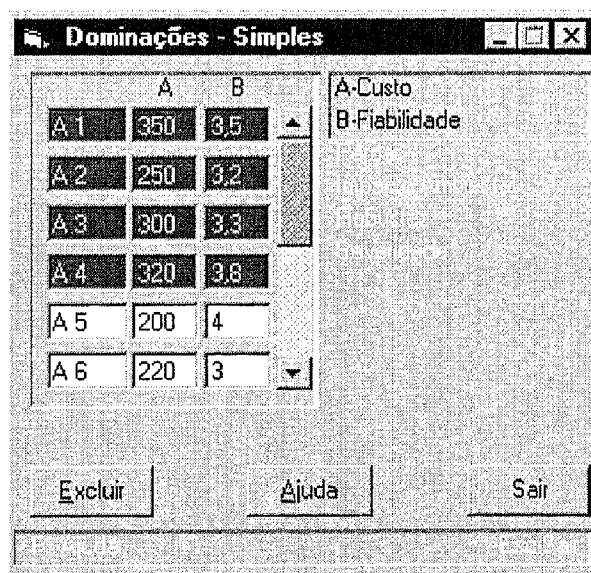


Fig. 36 - Opção “Dominações: Simples”

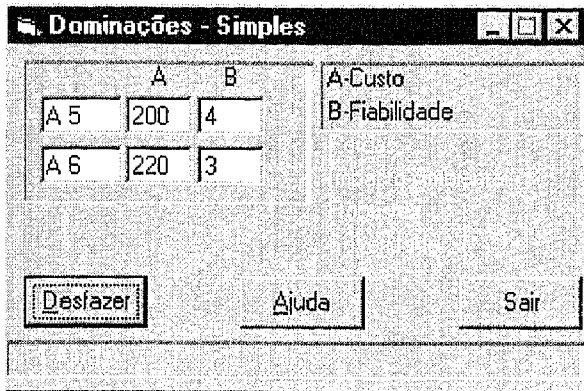


Fig. 37 - Opção “Dominações: Simples”, após excluir planos dominados.

Existe sempre a possibilidade de desfazer a exclusão de planos., já que o Agente de Decisão pode vir a reconsiderar a exclusão dos planos dominados.

Dominações: Com tolerância

Tal como na dominação simples, os planos dominados, tendo em conta a tolerância, aparecem com fundo vermelho e letras amarelas por forma a serem diferenciáveis dos não dominados.

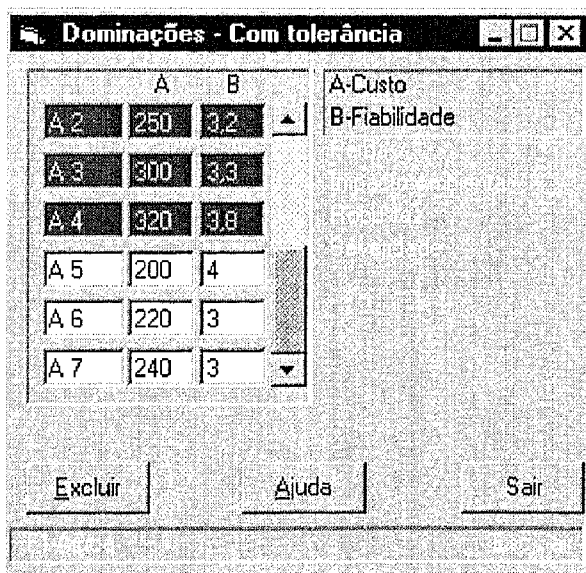


Fig. 38 - Opção “Dominações: Com tolerância”

Após a exclusão de planos, existe a possibilidade de inverter essa exclusão.

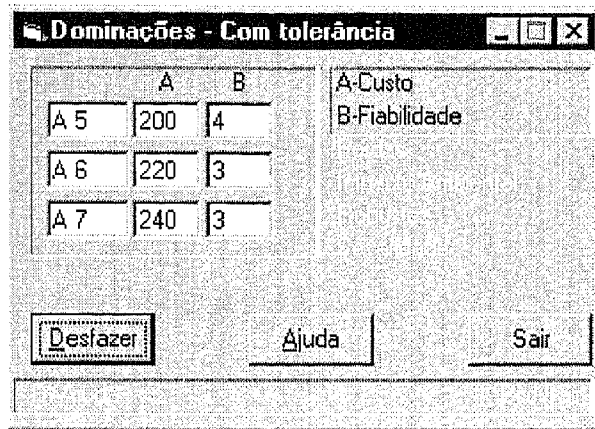


Fig. 39 - Opção “Dominações: Com tolerância”, após excluir planos dominados.

Tal como na dominação simples, existe aqui a possibilidade de inverter a exclusão anterior, através do botão “Desfazer”.

Filtragem

A filtragem pode ser Simples ou Com Tolerância.

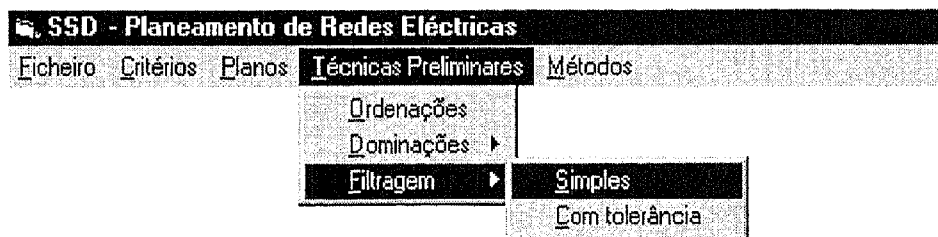


Fig. 40 - Submenu “Filtragem”

Filtragem: Simples

A filtragem simples é usada para excluir planos, empregando o método conjuntivo.

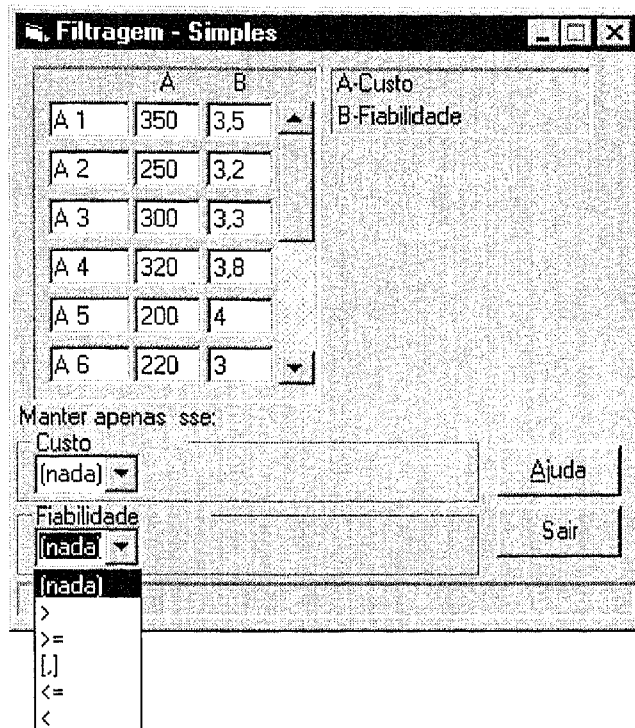
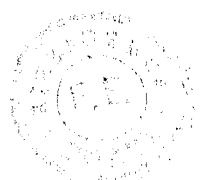


Fig. 41 - Opção “Filtragem: Simples”

Nesta opção, podem excluir-se planos que não respeitem determinadas metas definidas pelo Agente de Decisão.

Para escolher esses limites, escolhe-se o tipo de relação a estabelecer na filtragem (>, ≥, [], < ou ≤, respectivamente maior, maior ou igual, entre, menor ou menor ou igual), definindo-se posteriormente os limites a considerar para a filtragem.

Neste caso, e tal como nos casos de Dominação, os planos a excluir surgem assinalados com letras amarelas sobre fundo vermelho.



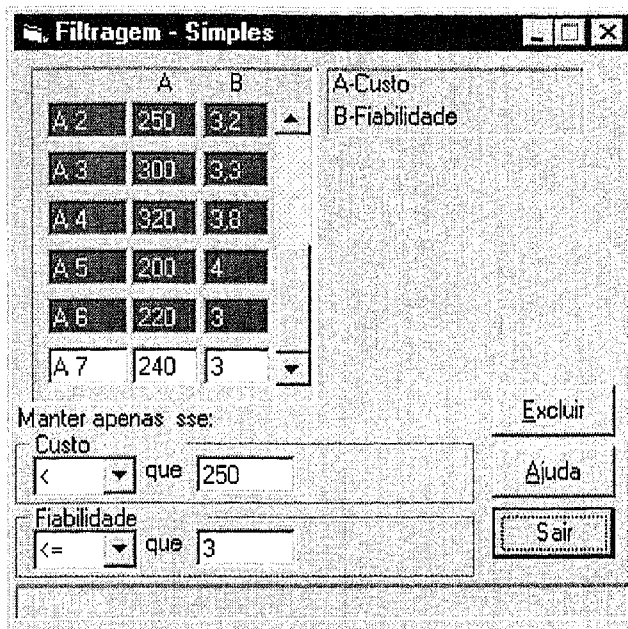


Fig. 42 - Opção "Filtragem: Simples" excluindo determinados planos

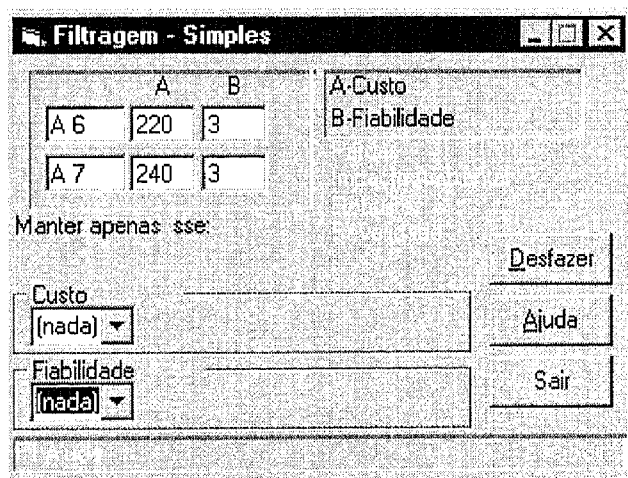


Fig. 43 - Opção "Filtragem: Simples" após exclusão

Filtragem: Com tolerância

A exclusão e visualização de planos pelo método conjuntivo impreciso é permitida através da opção "Filtragem: Com Tolerância".

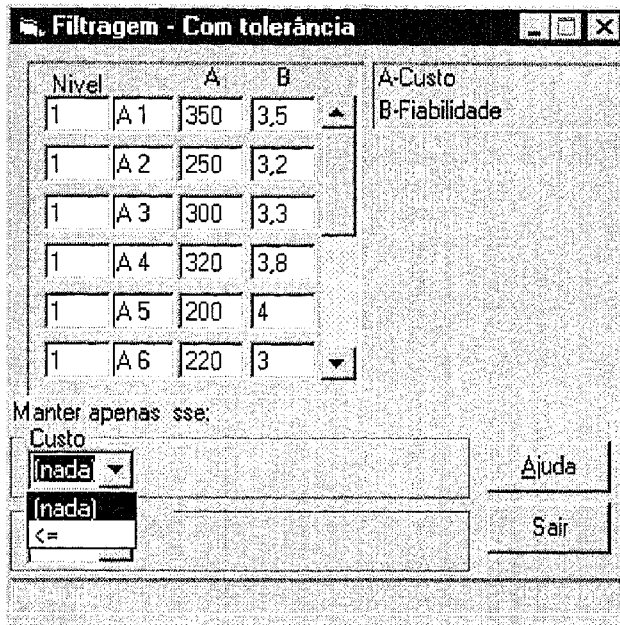


Fig. 44 - Opção “Filtragem: Com Tolerância”

Nesta opção, podem excluir-se planos que não respeitem determinadas metas, sendo sempre considerado o limite de indiferença como tolerância. Os limiares, neste caso, são sempre estabelecidos de acordo com os objectivos dos critérios, ou seja, maximização e minimização.

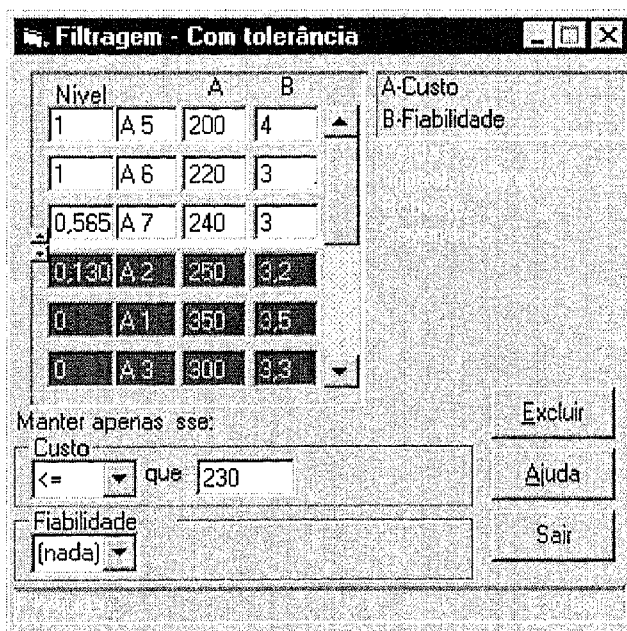


Fig. 45 - Barra de deslocação da “Filtragem: Com Tolerância”

Uma barra de deslocamento sugere a distinção entre os planos a manter e a excluir; no entanto ela pode ser movimentada até aos extremos superior e ao inferior

dos planos que se encontrem em dúvida para serem rejeitados ou não, ou seja, aqueles que têm o seu nível entre zero e um, exclusivé.

No início e após uma exclusão, todos os planos serão aceites, já que nenhum limite foi estabelecido, sendo o nível de um para todos os planos.

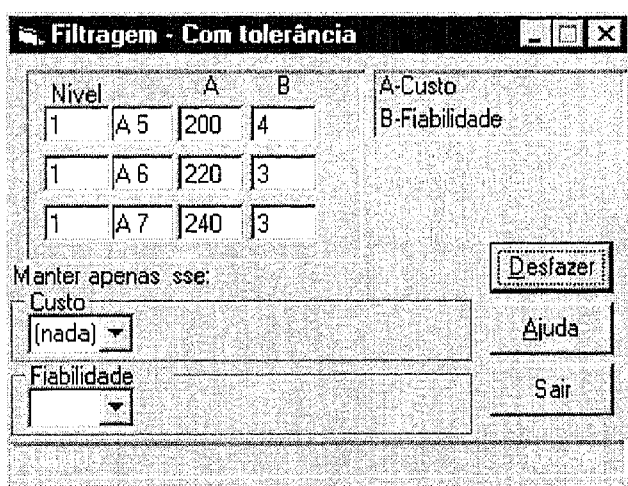


Fig. 46 - Opção “Filtragem: Com tolerância” após exclusão

Tal como nas opções anteriores, permite-se desfazer uma exclusão.

5.5 Métodos

É a partir do *menu* “Métodos” que são visualizados os resultados obtidos através das metodologias Electre I, Electre IV e Promethée.

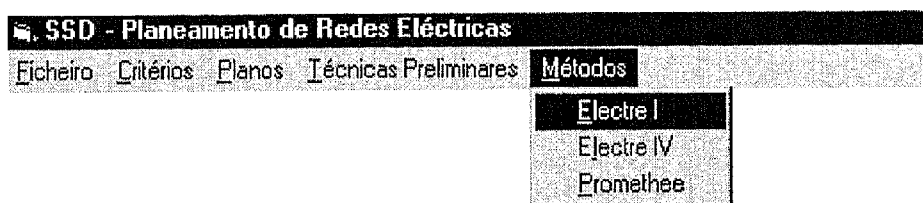


Fig. 47 - Menu “Métodos”

Electre I

Para visualizar os resultados através do método Electre I:

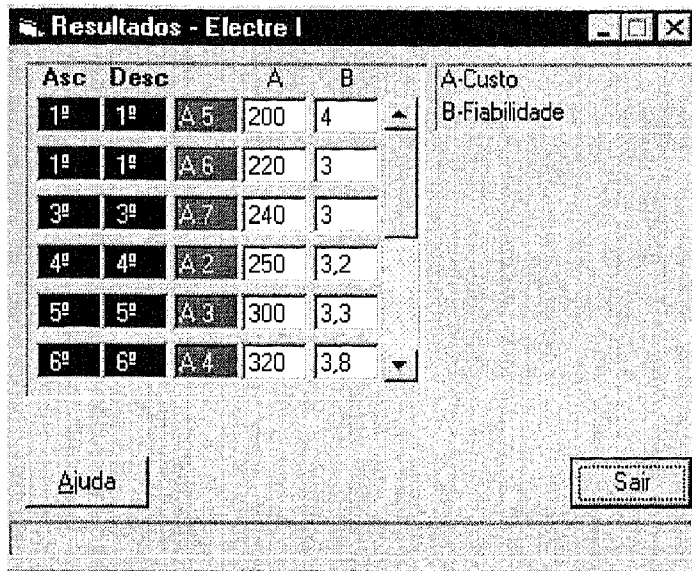


Fig. 48 - Opção “Método Electre I”

Neste ponto, pode visualizar-se a posição de cada plano, quer pela destilação ascendente, quer pela descendente.

Electre IV

Para visualizar os resultados através do método Electre IV:

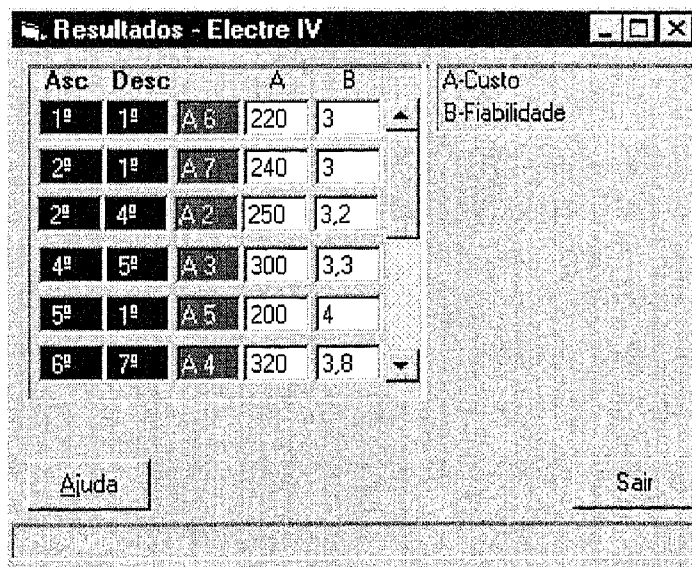


Fig. 49 - Opção “Método Electre IV”

Neste quadro, podem visualizar-se a destilação ascendente e descendente efectuada através dos planos.

Promethée

Para visualizar os resultados através do método Promethée:

	Pontos		A	B
1ª	1.850	A 5	200	4
2ª	1.455	A 6	220	3
3ª	0.918	A 7	240	3
4ª	0.536	A 2	250	3,2
5ª	-0.93	A 3	300	3,3
6ª	-1.67	A 4	320	3,8

A-Custo
 B-Fiabilidade

Ajuda Sair

Fig. 50 - Opção “Método Promethée”

Aqui, pode visualizar-se a posição de cada plano, assim como a pontuação relativa a cada alternativa.

5.6 Conclusões

O protótipo foi criado com o intuito de poder ser utilizado por um qualquer Agente de Decisão desconhecedor das técnicas e métodos da ajuda à decisão. Para o que contribuíram os processos e algoritmos abordados no Capítulo anterior.

Os atalhos, para utilizadores frequentes ou conhecedores das metodologias, a disposição das opções no menu, similaridade nos diversos quadros - com correspondentes comandos, cores e simplicidade da forma de actuar - leva a que seja facilitado o trabalho de familiarização do utilizador com o protótipo.

A facilidade com que se alteram parâmetros, se exclui e se desfaz exclusões, se activa ou desactiva critérios e se classificam determinados planos utilizando diferentes métodos, torna este protótipo um instrumento útil a quem tem a missão de decidir.

6. Exemplo

6.1 Introdução

Apresenta-se, no presente Capítulo um exemplo de utilização do protótipo desenvolvido e apresentado no Capítulo anterior; recorrendo-se às várias técnicas disponibilizadas pelo protótipo, simula-se a acção do Agente de Decisão.

Os dados iniciais utilizados neste exemplo são, em parte, retirados da dissertação de doutoramento intitulada “Planeamento de Redes de Distribuição com Produção Independente” (Ponce de Leão, 1995). São apresentados como exemplo de dimensão real com base nos dados de uma rede situada na região de Aveiro, em tempo cedidos pela EN - Electricidade do Norte.

A rede utilizada possui 51 nós e 75 linhas possíveis, e é alimentada por duas subestações existentes e tem ligados três produtores independentes. Conhecem-se as potências instaladas por posto de transformação, as características eléctricas das linhas e respectivos comprimentos e ainda a potências instaladas nas subestações.

Na referida dissertação descreve-se o processo de recticulação do espaço dos atributos para aplicação do método das restrições; descreve-se, ainda, a determinação dos parâmetros necessários para aplicação do *Simulated Annealing*.

Duas listas foram geradas, a S_c e a S_s . A primeira é constituída por planos gerados considerando os produtores independentes; a segunda é uma lista de recurso que é construída ignorando a existência da produção independente.

No presente Capítulo, utiliza-se a lista de planos, S_s , gerada na referida dissertação, não considerando os produtores independentes. Esta lista contém 104 planos de expansão.

6.2 Dados iniciais

A lista de planos inicial está representada no seguinte quadro:

Tabela 4: Planos gerados, Ponce de Leão (1995)

	Custo	Perdas	Fiabilidade	Robustez	Severidade
1	282	515	3.8	1	0
2	304	505	3.7	1	0
3	308	565	2.7	1	0
4	315	585	3.6	1	0
5	315	570	2.6	1	0
6	319	577	2.9	1	0
7	322	540	3.4	1	0
8	331	449	2.9	1	0
9	332	495	2.7	1	0
10	339	601	3.4	1	0
11	345	520	3.2	1	0
12	345	550	2.8	1	0
13	348	587	3.1	1	0
14	349	423	3.4	1	0
15	354	501	2.4	1	0
16	354	596	2.7	1	0
17	356	631	2.7	1	0
18	365	542	2.9	1	0
19	375	589	2.8	1	0
20	391	489	3.5	1	0
21	410	613	3	1	0
22	414	519	2.7	1	0
23	308	630	3.9	.96	0
24	339	529	2.5	.94	0
25	406	703	2.9	.91	0
26	323	504	3.2	.9	0
27	317	486	3.2	.89	0
28	366	560	2.9	.84	0
29	313	723	2.4	.81	0
30	328	600	2.6	.81	0
31	277	601	3.9	.81	0
32	322	500	3.9	.79	.01
33	304	503	3.1	.79	.01
34	310	618	3.9	.79	.01
35	328	728	3.1	.79	.01
36	369	596	2.5	.79	.01

37	324	526	3	.76	.01
38	325	448	3.5	.75	0
39	323	710	3.9	.74	.01
40	330	581	2.6	.73	.02
41	349	503	2.8	.73	.02
42	265	712	3.9	.73	.01
43	375	656	2.5	.7	.01
44	303	623	3.9	.66	.01
45	330	567	3.8	.66	.03
46	375	576	3.3	.66	.02
47	378	443	2.5	.66	.01
48	344	827	3.4	.65	.01
49	395	536	2.4	.65	.01
50	294	906	3.9	.63	.02
51	346	473	2.9	.63	.01
52	357	743	2.8	.62	.01
53	345	704	3.1	.61	.01
54	361	551	3.5	.61	.02
55	280	534	3.1	.6	.01
56	301	604	2.9	.56	.01
57	303	535	2.9	.55	.01
58	340	662	3.3	.54	.02
59	387	608	2.4	.53	.01
60	284	837	3.9	.52	.02
61	380	730	2.3	.51	.04
62	273	664	3.9	.5	.01
63	330	407	3.4	.5	.03
64	331	385	2.8	.5	.01
65	302	413	2.6	.49	.01
66	347	486	3.1	.48	.02
67	293	708	3	.48	.02
68	354	490	3.3	.43	.04
69	285	615	3.9	.42	.02
70	245	593	3.3	.42	.03
71	363	874	3.5	.42	.03
72	267	695	3.9	.41	.01
73	339	564	2.9	.41	.01
74	365	611	3.2	.41	.02
75	241	652	3.9	.4	.02
76	333	484	2.5	.39	.03
77	287	944	3.9	.34	.03
78	304	589	3.5	.34	.04
79	330	648	3.5	.33	.06
80	280	824	3.5	.33	.07
81	334	562	2.9	.31	.04
82	300	523	3.6	.3	.04

83	330	472	3.2	.28	.05
84	333	417	3.4	.28	.05
85	362	753	3.1	.28	.04
86	365	567	3	.27	.03
87	277	784	3.9	.25	.05
88	362	765	3.6	.25	.06
89	326	572	2.3	.21	.06
90	374	787	2.6	.19	.12
91	355	563	3.3	.17	.03
92	313	694	3.4	.15	.1
93	248	665	3.9	.14	.03
94	368	566	2.5	.14	.08
95	377	629	2.5	.14	.1
96	349	501	2.8	.11	.04
97	283	526	3.8	.11	.09
98	256	812	3.9	.07	.04
99	315	952	3.2	.07	.04
100	371	551	2.8	.07	.04
101	312	696	3.9	.02	.08
102	314	798	3.8	.02	.1
103	347	704	2.6	.02	.06
104	302	656	2.8	.01	.14

O ficheiro de texto com extensão `ssd` pode ser visto no anexo D.

6.3 Desenvolvimento

Antes de mais, e para dar início à utilização do protótipo pelo Planeador, procede este à abertura de um ficheiro com os dados iniciais, em conformidade com a tabela anterior, a qual contém em si as características dos planos anteriormente gerados.

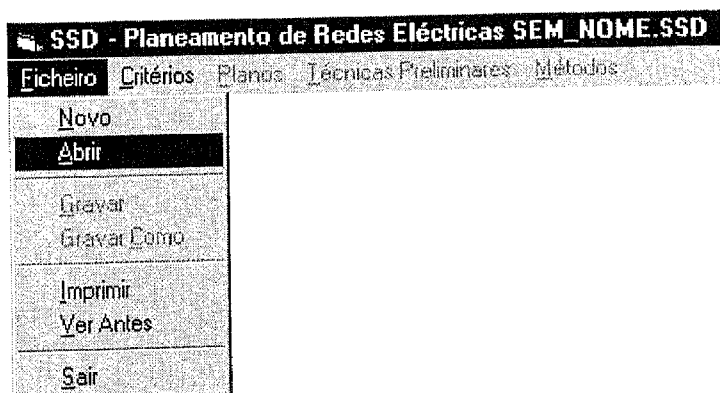


Fig. 51 - Opção "Abrir" do menu "Ficheiro"

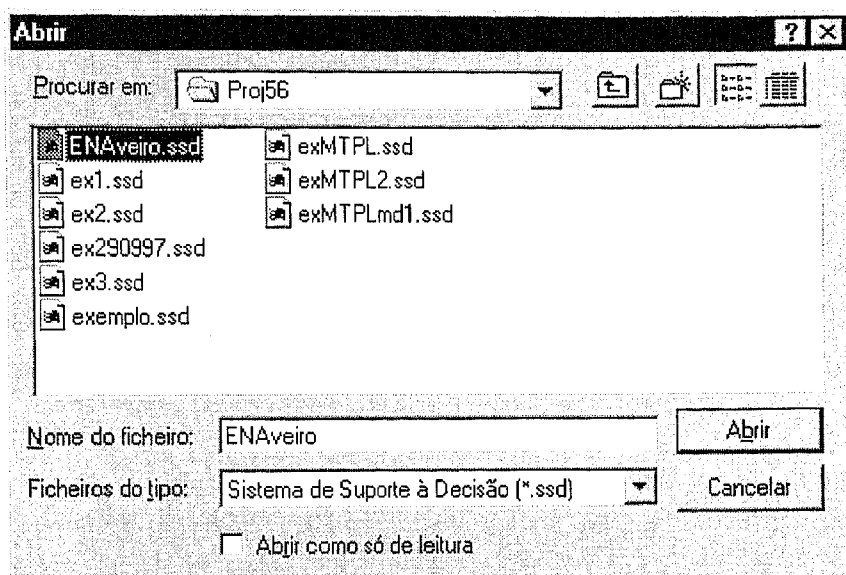


Fig. 52 - Abertura do ficheiro ENAveiro.ssd

Seguidamente, verifica quais os critérios que, de entre a totalidade dos pertinentes no contexto de um sistema de apoio à decisão com a finalidade do presente, se encontram activos, e constata que os mesmos se resumem ao custo, perdas, fiabilidade, robustez e severidade.

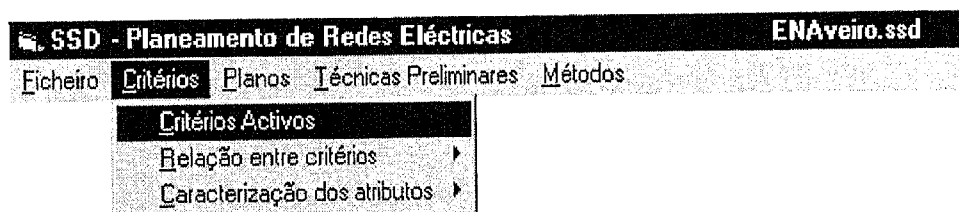


Fig. 53 - Opção “Critérios Activos” do menu “Critérios”

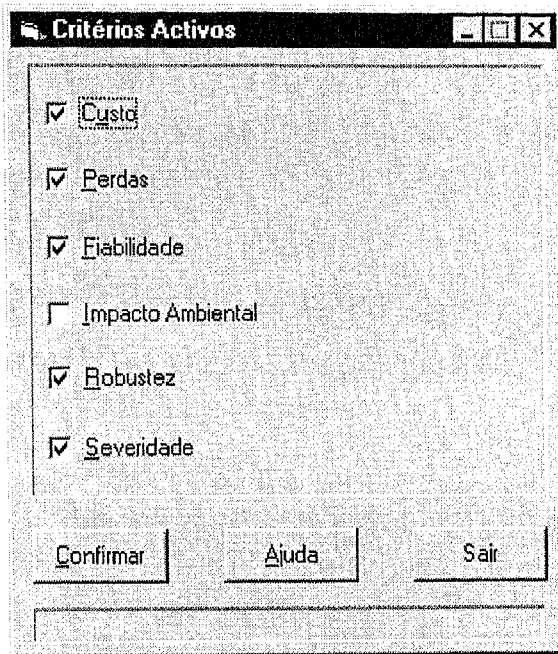


Fig. 54 - Critérios activos dentro da globalidade de critérios

Tendo procedido do modo anteriormente descrito, vai visualizar a expressão dos valores respeitantes aos diversos planos.

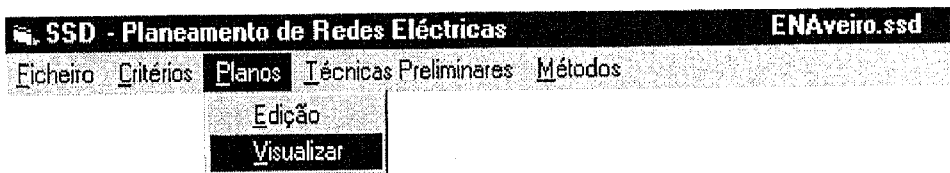


Fig. 55 - Opção “Visualizar” do menu “Planos”

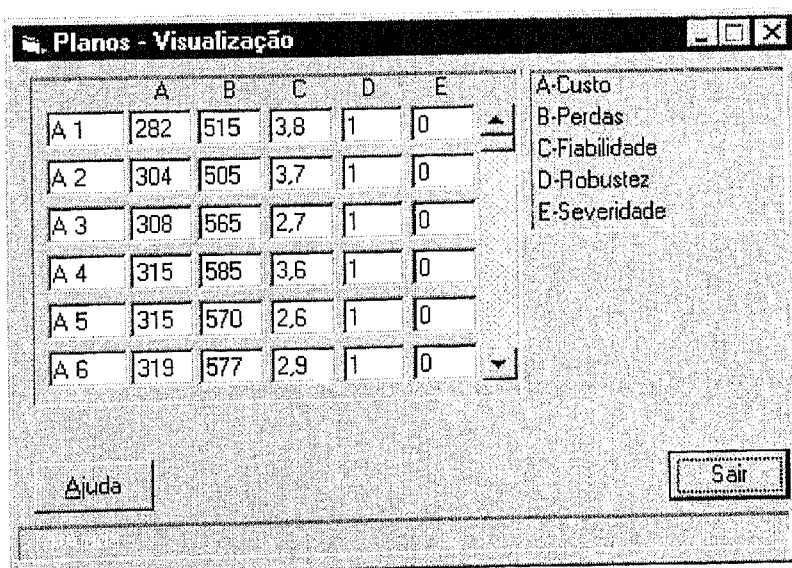


Fig. 56 - Visualização dos planos

Nenhum interesse existindo em manter planos dominados por outros planos, o Planeador decide começar por excluir todos aqueles que se mostrem piores do que pelo menos um dos demais, por forma a reduzir o respectivo elenco.

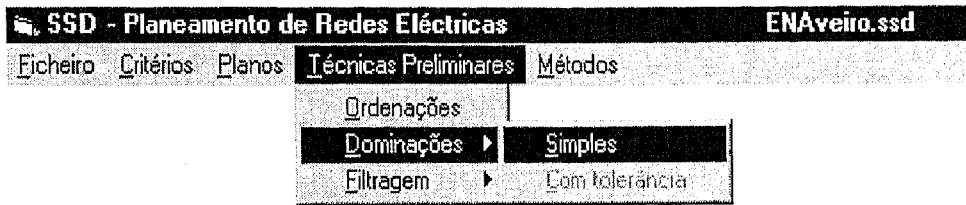


Fig. 57 - Opção “Dominações Simples” do menu “Técnicas Preliminares”

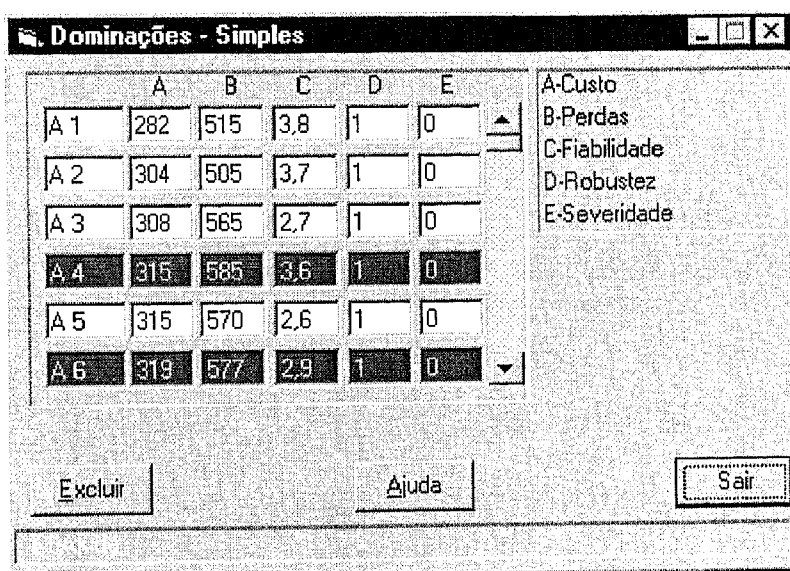


Fig. 58 - Visualização de planos dominados

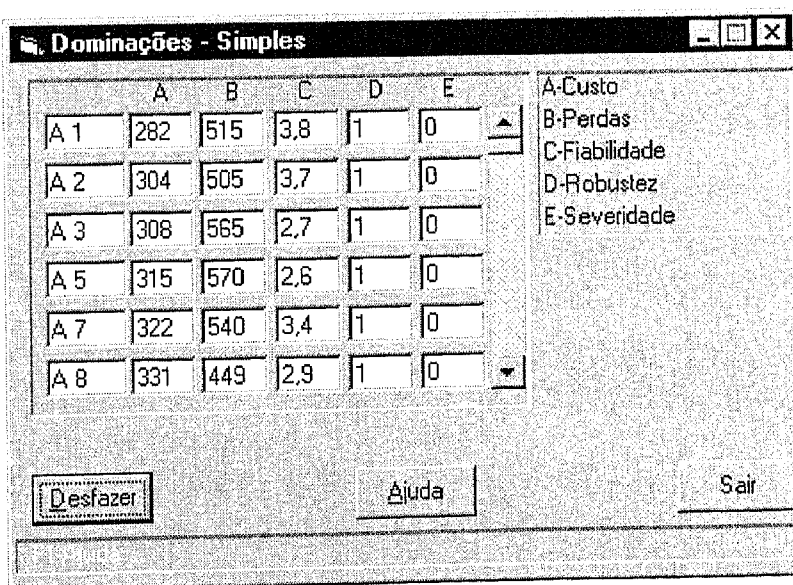


Fig. 59 - Visualização de planos, após exclusão dos dominados

Seguidamente, cabe ao Agente de Decisão definir a relação do critério custo com os restantes, concluindo, por opinião própria, - e, em correspondência, definindo - que o mesmo se apresenta mais importante que todos os demais com uma preponderância sensivelmente favorável, pelo que atribui aos julgamentos par-a-par a intensidade “2” dentro da escala permitida.

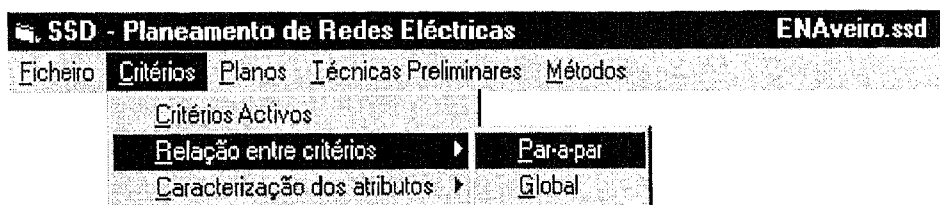


Fig. 60 - Opção “Relação entre critérios: Par-a-par” do menu “Critérios”

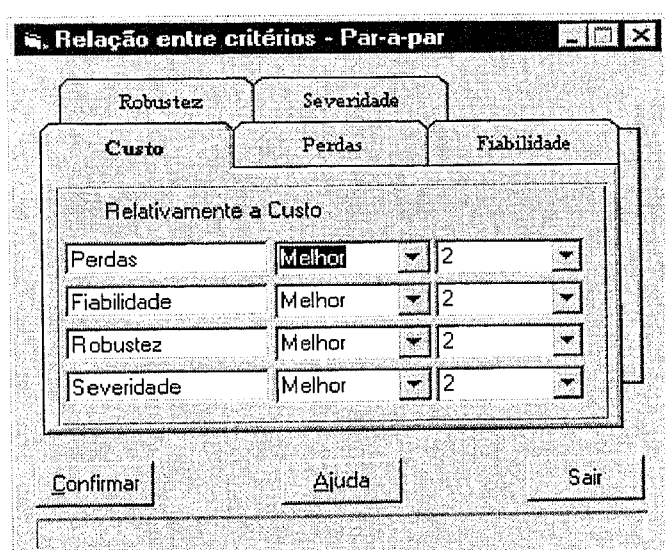


Fig. 61 - Estabelecer julgamentos do critério custo relativamente aos restantes

Procede-se então, a partir da definição entre critérios de forma global, à definição, dentro da Matriz de Julgamentos, do facto de as perdas apresentarem, por exemplo, uma intensidade “4” relativamente à fiabilidade, robustez e severidade.

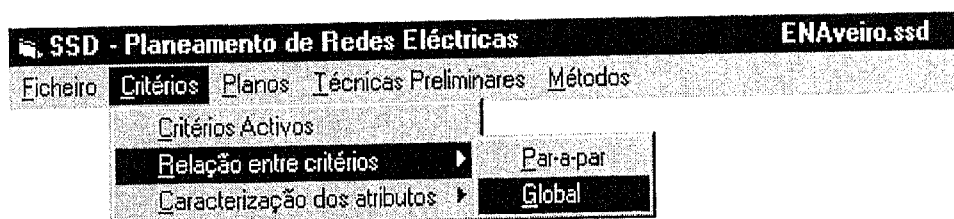


Fig. 62 - Opção “Relação entre critérios: Global” do menu “Critérios”

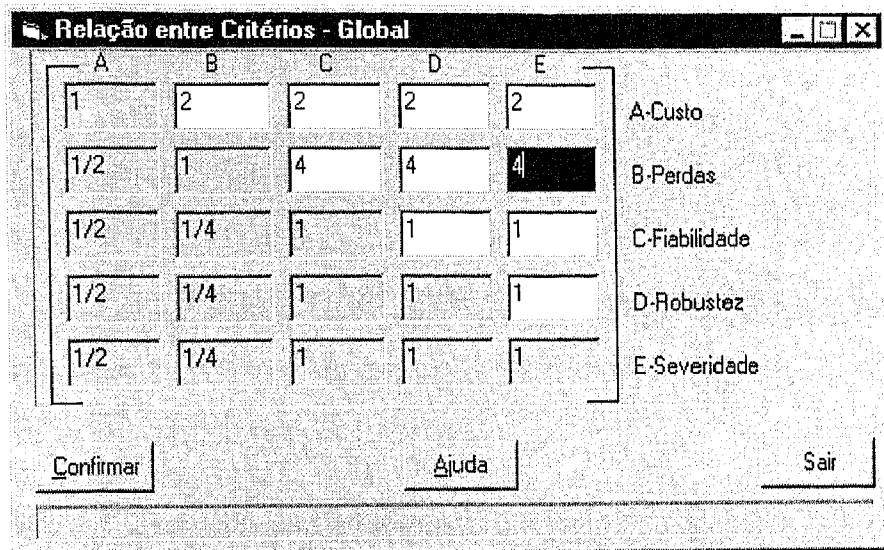


Fig. 63 - Definição de julgamentos na matriz

Ao confirmar os seus julgamentos, surge então um aviso dando conta da inconsistência desses mesmos julgamentos, dado exceder 10% o respectivo nível de inconsistência.

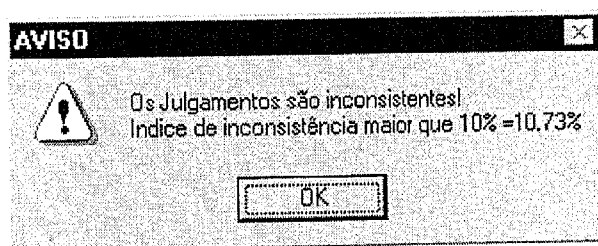


Fig. 64 - Aviso da inconsistência dos julgamentos

Neste momento, o Agente de Decisão é questionado pelo protótipo sobre se pretende ou não alterar os seus julgamentos de forma que perdas ser indiferente relativamente aos critérios fiabilidade, robustez e severidade, ao que o Agente de Decisão responde negativamente, dado inexistir, para ele, uma relação de indiferença das perdas relativamente aos aludidos critérios.

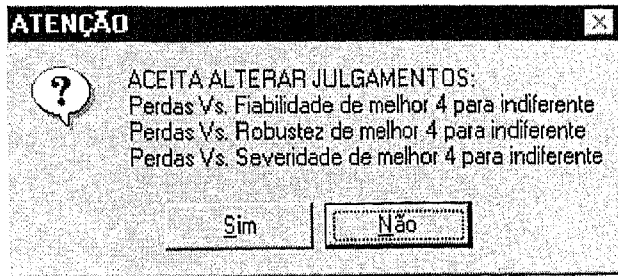


Fig. 65 - Primeira sugestão de alteração de julgamentos

Seguidamente, é perguntado ao Agente de Decisão se aceita alterar o julgamento do custo relativamente a fiabilidade, robustez e severidade de uma intensidade de “2” - anteriormente fornecida - para “8”.

Avaliando a questão, decide o Agente aceitar tal sugestão de alteração, por reconsiderar o custo, tomando-o como quase absolutamente mais importante que os demais critérios.

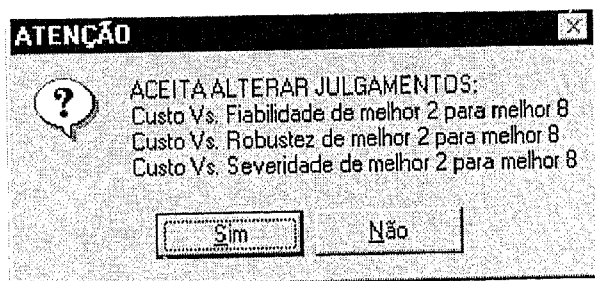


Fig. 66 - Segunda sugestão de alteração de julgamentos

Manifestada tal aceitação, é visualizada uma nova matriz de julgamentos apresentando as modificações consequentes à alteração de julgamentos ocorrida.

Relação entre Critérios - Global						
	A	B	C	D	E	
	1	2	8	8	8	A-Custo
	1/2	1	4	4	4	B-Perdas
	1/8	1/4	1	1	1	C-Fiabilidade
	1/8	1/4	1	1	1	D-Robustez
	1/8	1/4	1	1	1	E-Severidade

Buttons: Confirmar, Ajuda, Sair

Fig. 67 - Matriz de julgamento consistente

Ainda assim, é sensação do Agente de Decisão existir um número de planos excessivo, pelo que entende ordená-los visualmente por ordem decrescente de custo. Observa, então, existirem diversos planos que apresentam um custo que excede os 300.

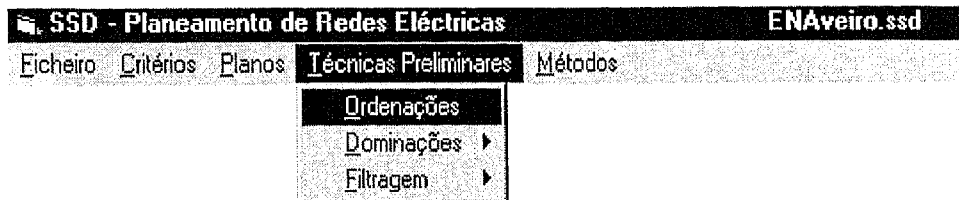


Fig. 68 - Opção “Ordenações” do menu “Técnicas Preliminares”

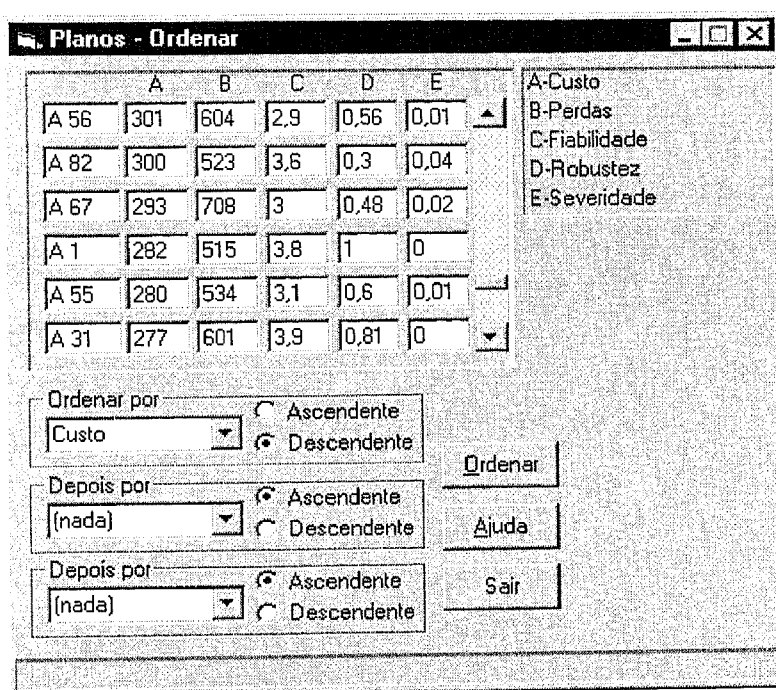


Fig. 69 - Visualizar planos ordenados

Isto posto, passará a excluir todos os planos que apresentem um custo igual ou superior àquele, mantendo apenas os demais.

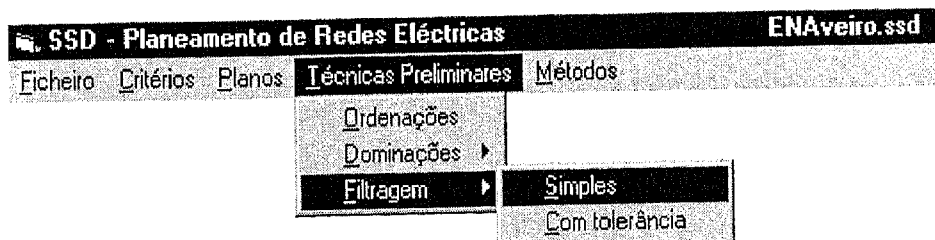


Fig. 70 - Opção “Filtragem: Simple” do menu “Técnicas Preliminares”

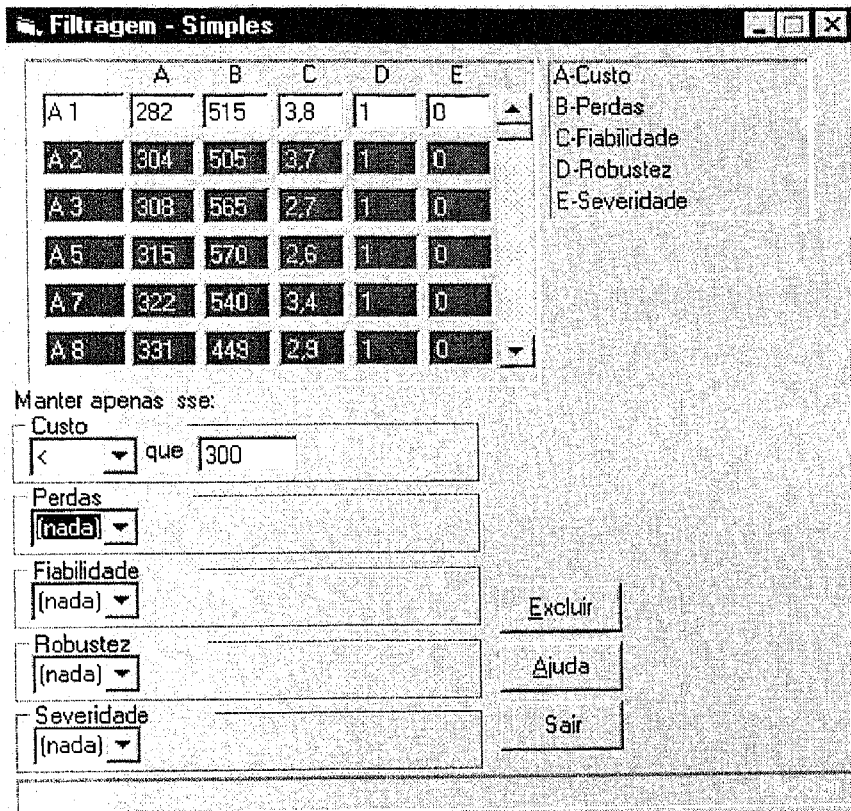


Fig. 71 - Visualizar planos a excluir

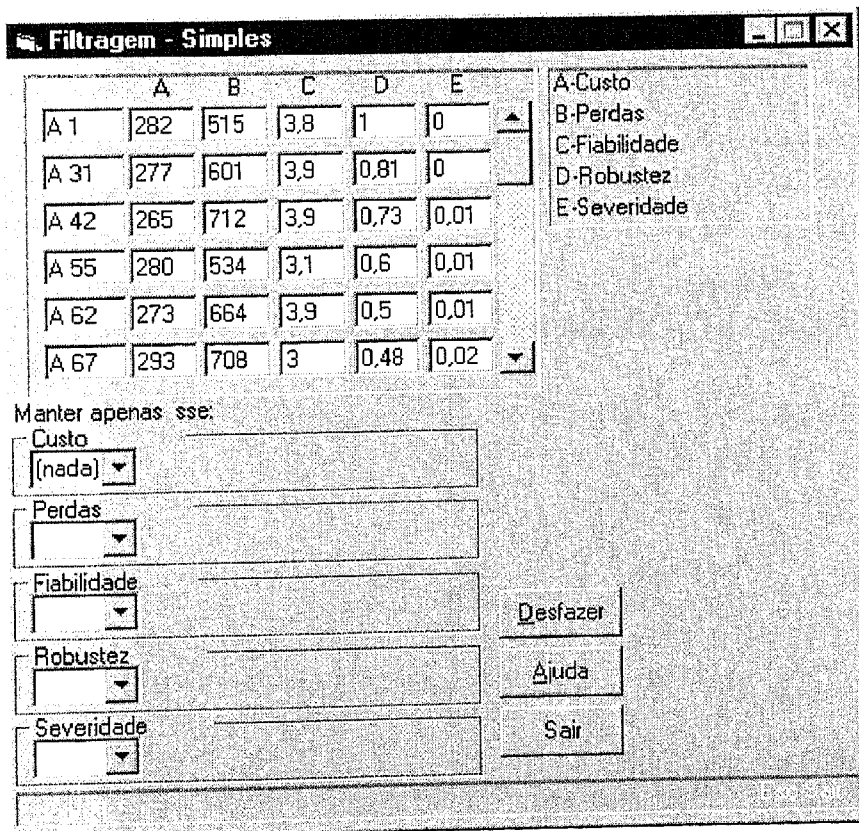


Fig. 72 - Visualizar planos após exclusão

Pretendendo, após a tomada do passo anterior, excluir ainda mais planos do que os que já abandonava, decide então o Planeador passar a manter apenas os que, de entre todos os restantes, apresentem um custo inferior a 200.

Sucedo, então, constatar ter progredido com excessiva rapidez ao proceder de tal modo, e todos os planos terem sido excluídos; pelo que apenas lhe resta inverter o procedimento adoptado e reduzir a sua ambição.

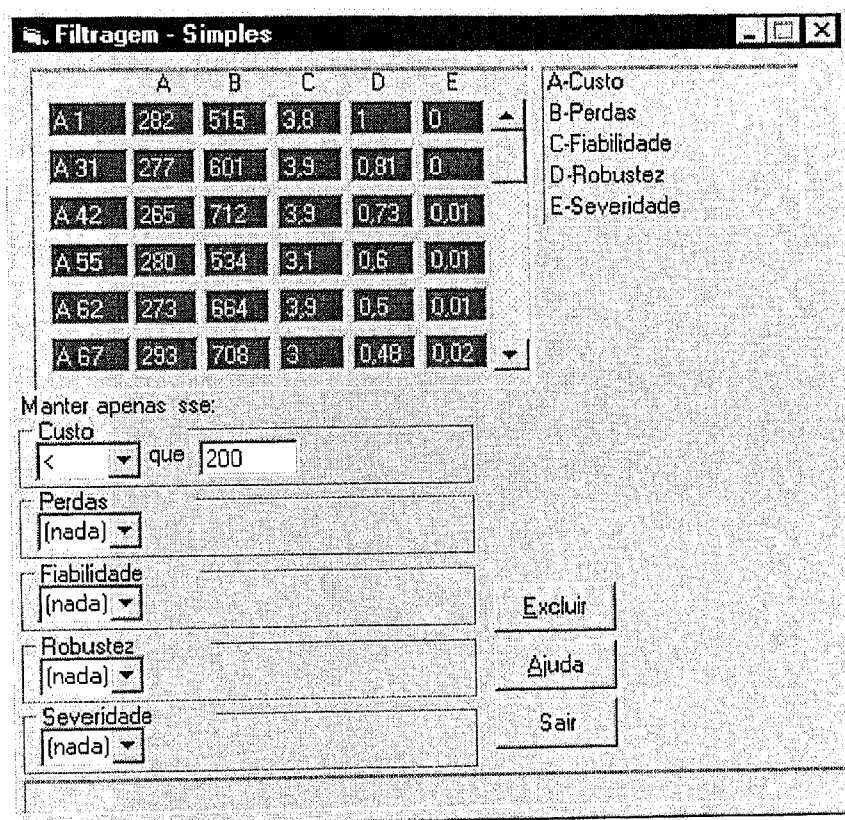


Fig. 73 - Visualizar planos a excluir

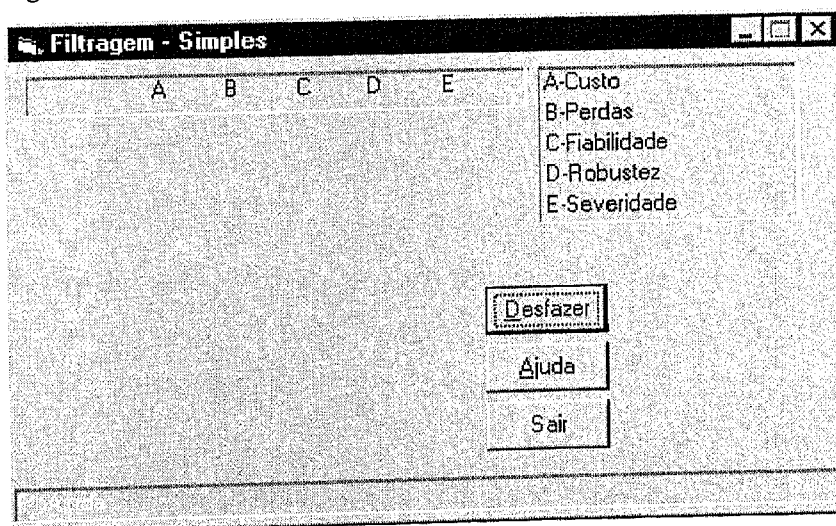


Fig. 74 - Visualizar planos após exclusão

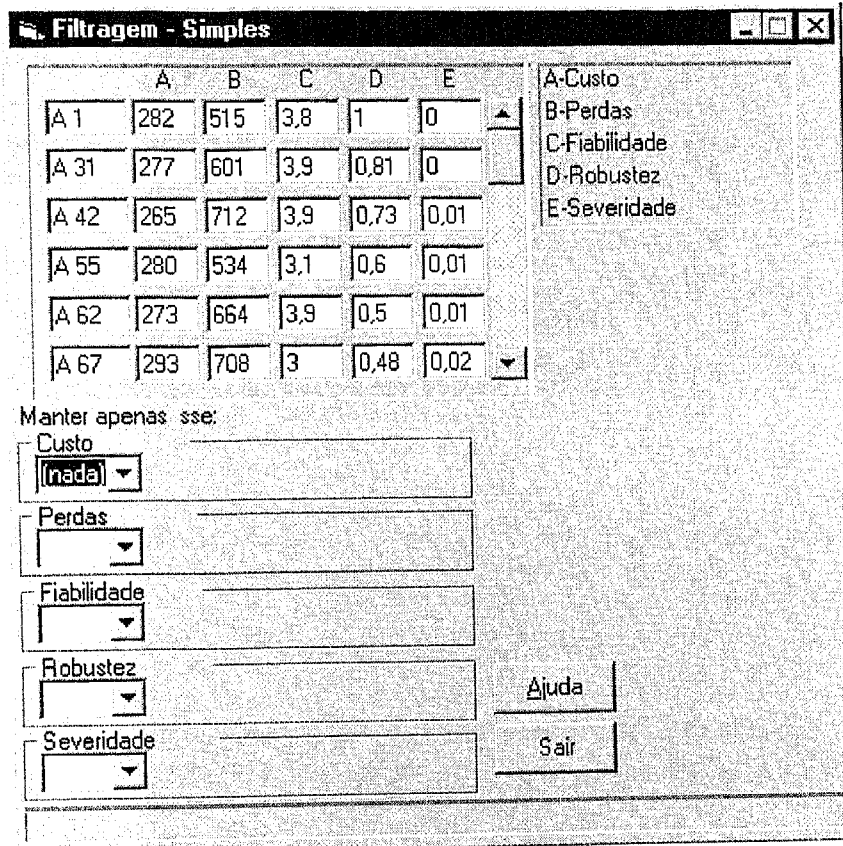


Fig. 75 - Visualizar planos após desfazer a exclusão

No passo seguinte, o Agente de Decisão visualiza os planos pelo critério severidade. Segundo uma ordem descendente, constatando que o plano que apresenta maior severidade atinge 0.03.

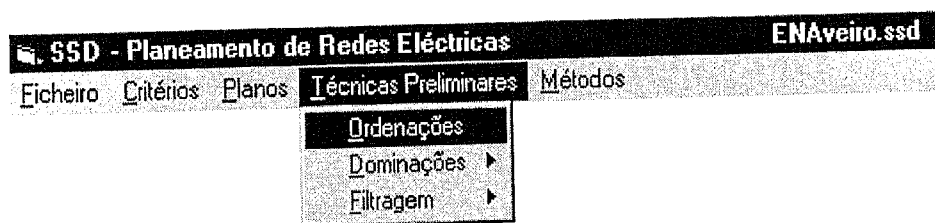


Fig. 76 - Opção "Ordenações" do menu "Técnicas Preliminares"

	A	B	C	D	E
A 70	245	593	3,3	0,42	0,03
A 75	241	652	3,9	0,4	0,02
A 67	293	708	3	0,48	0,02
A 62	273	664	3,9	0,5	0,01
A 55	280	534	3,1	0,6	0,01
A 42	265	712	3,9	0,73	0,01

Ordenar por: Ascendente Descendente
 Depois por: (nada) Ascendente Descendente
 Depois por: (nada) Ascendente Descendente

Botões: Ordenar, Ajuda, Sair

Legenda:
 A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez
 E-Severidade

Fig. 77 - Visualizar planos ordenados pelo critérios severidade

Pelo que decide, excluir a severidade do elenco dos critérios activos, dado o facto de desconsiderar, relativamente, a sua importância.

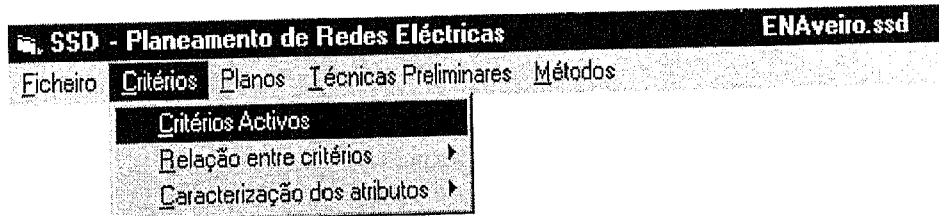


Fig. 78 - Opção "Critérios Activos" do menu "Critérios"

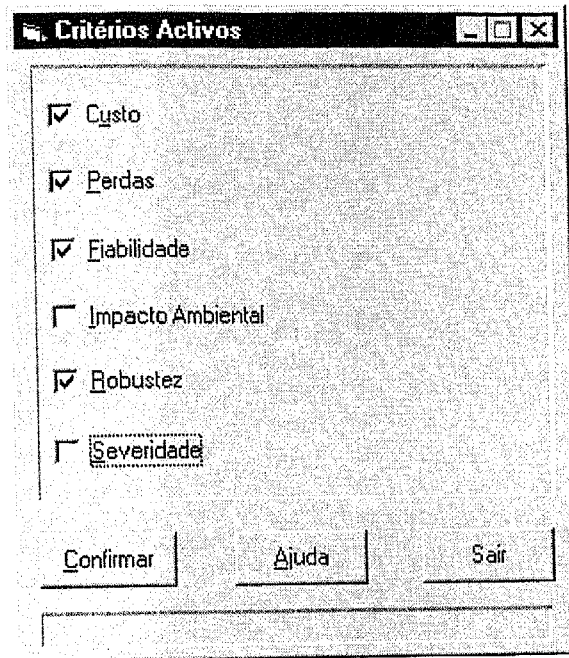


Fig. 79 - Retirar severidade dos critérios activos

Seguidamente, vai o Agente de Decisão averiguar se a exclusão daquele critério implicou a dominação de algum dos planos existentes por algum dos outros; constata então que tal ocorreu, efectivamente, em relação a um deles, pelo que decide excluí-lo.

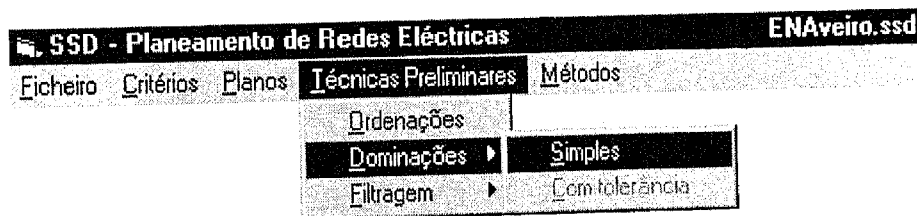


Fig. 80 - Opção “Dominações: Simples” do menu “Técnicas Preliminares”

	A	B	C	D
A 55	280	534	3,1	0,6
A 62	273	664	3,9	0,5
A 67	293	708	3	0,48
A 70	245	593	3,3	0,42
A 72	267	635	3,9	0,41
A 75	241	652	3,9	0,4

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Excluir Ajuda Sair

Fig. 81 - Visualizar planos dominados a excluir

	A	B	C	D
A 42	265	712	3,9	0,73
A 55	280	534	3,1	0,6
A 62	273	664	3,9	0,5
A 67	293	708	3	0,48
A 70	245	593	3,3	0,42
A 75	241	652	3,9	0,4

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Desfazer Ajuda Sair

Fig. 82 - Visualizar planos após exclusão do plano dominado

Vendo assim reduzido o número de alternativas que se lhe apresentam, selecciona o Agente de Decisão a opção “Métodos”, verifica que tanto o Promethée como Electre IV não se encontram activos.

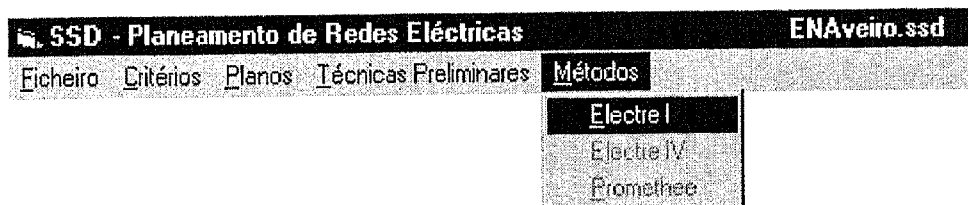


Fig. 83 Menu “Métodos”

Após consulta à Ajuda em Linha, toma consciência de que estes métodos só estarão activos quando esteja definida a caracterização dos atributos.

Selecciona então a opção “Caracterização de atributos: Aprendizagem”, mas recorda-se de que gostaria de indicar iguais limites para cada um dos critérios activos, por exemplo, 10% para limite de indiferença e 90% para limiar de preferência forte.

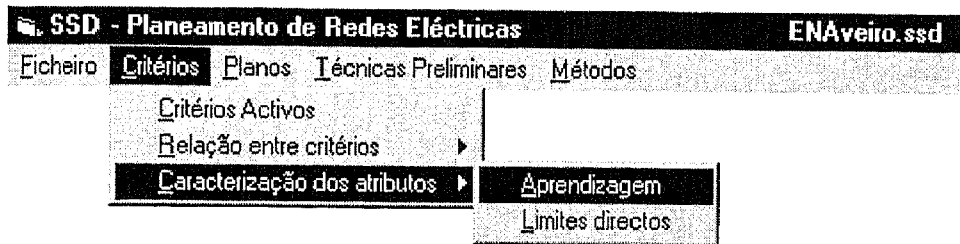


Fig. 84 - Opção “Caracterização de atributos: Aprendizagem” do menu “Critérios”

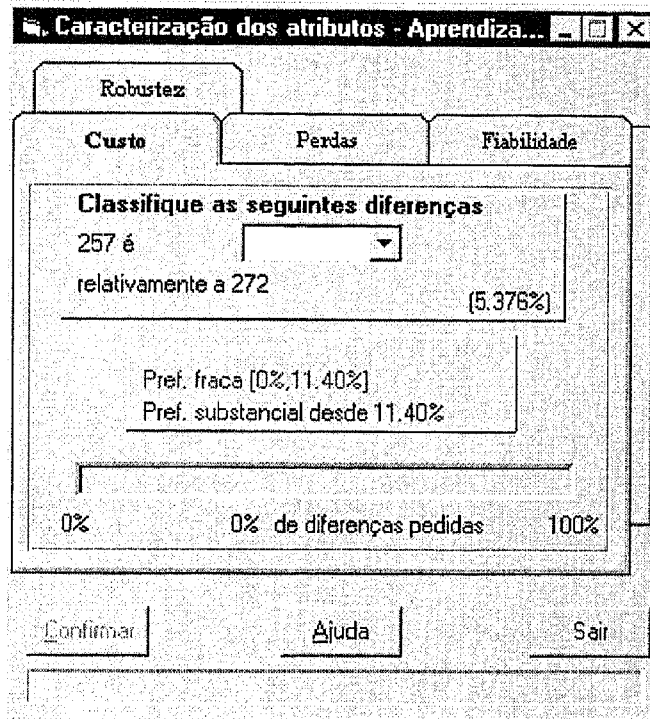


Fig. 85 - Caracterização de atributos através de sensibilidades para as diferenças

Assim, abandona esta opção e escolhe outra, a de “Limites Directos”, definindo estes por cada um dos critérios de acordo com aquelas percentagens.

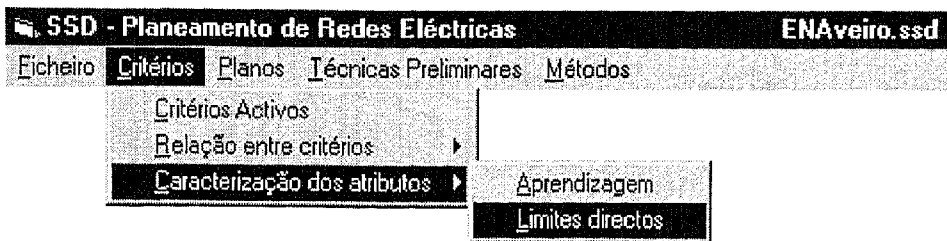


Fig. 86 - Opção “Caracterização de atributos: Limites Directos” do menu “Critérios”

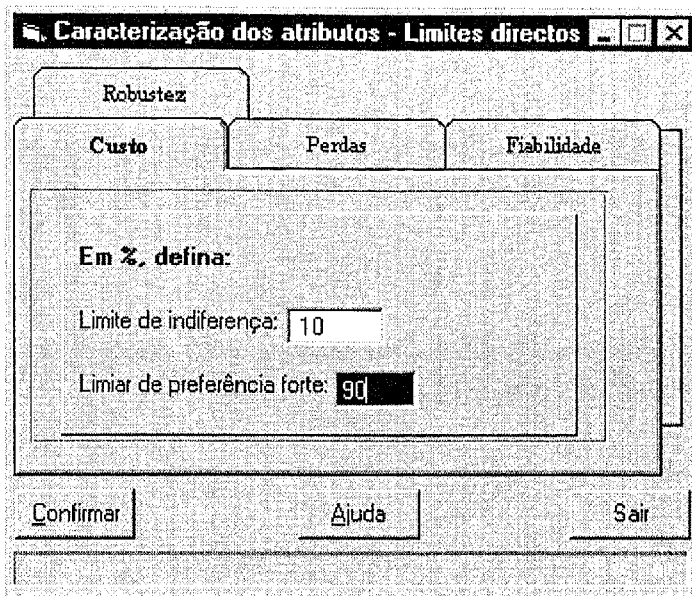


Fig. 87 - Definição de limiares para cada um dos critérios

Seguidamente, pretendendo excluir mais planos ainda, decide efectuar uma filtragem com tolerância, por forma a excluir todos os planos que apresentem valores superiores a “675” no critério perdas. O protótipo sugere, então, que seja mantido um plano que apresenta, no mesmo critério, valor “708”, excluindo nele outro com “712” - sugestão que é aceite, pelo que apenas um dos planos resulta excluído.

Verifica, então, o Agente de Decisão encontrarem-se reduzidas a apenas sete planos as suas opções de decisão.

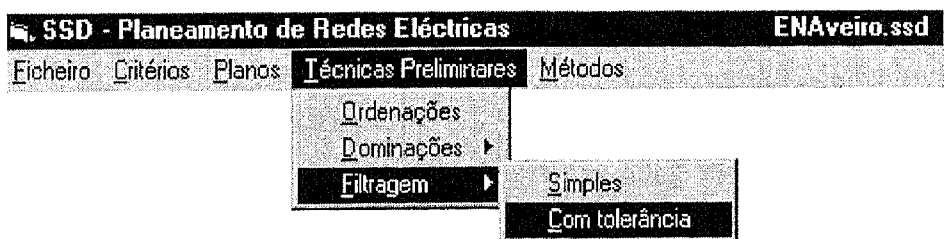


Fig. 88 - Opção “Filtragem: Com tolerância” do menu “Técnicas Preliminares”

Filtragem - Com tolerância

Nível	A	B	C	D	
1	A 55	280	534	3,1	0,6
1	A 62	273	664	3,9	0,5
1	A 70	245	593	3,3	0,42
1	A 75	241	652	3,9	0,4
0,511	A 67	293	708	3	0,48
0,451	A 42	265	712	3,9	0,73

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Manter apenas sse:

Custo: (nada)

Perdas: <= que 675

Fiabilidade: (nada)

Robustez: (nada)

Excluir
Ajuda
Sair

Fig. 89 - Visualizar sugestão de exclusão de planos

Filtragem - Com tolerância

Nível	A	B	C	D	
1	A 1	282	515	3,8	1
1	A 31	277	601	3,9	0,81
1	A 55	280	534	3,1	0,6
1	A 62	273	664	3,9	0,5
1	A 67	293	708	3	0,48
1	A 70	245	593	3,3	0,42

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Manter apenas sse:

Custo: (nada)

Perdas: []

Fiabilidade: []

Robustez: []

Desfazer
Ajuda
Sair

Fig. 90 - Visualizar planos após exclusão

Em conformidade, passa a visualizar os resultados fornecidos pela aplicação do método Electre I. A destilação descendente é a que lhe parece mais credível, visto que as escolhas se processam a partir das melhores alternativas, e não das piores, como sucede na destilação ascendente.

Observando os resultados, verifica que o plano “A67” não parece revestir interesse, apresentando-se os outros como mais ou menos equilibrados; existe um grupo mais forte (“A70” e “A75”), um segundo intermédio (“A1”) e um terceiro de menor importância (“A55”, “A62” e “A31”).

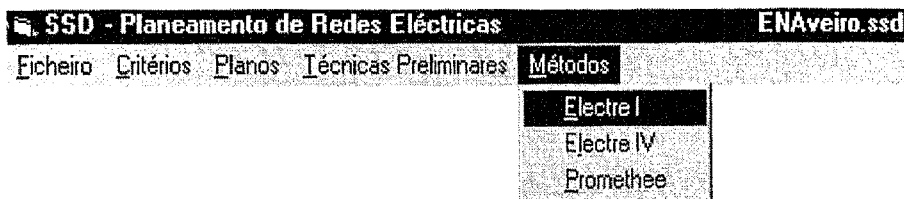


Fig. 91 - Opção “Electre I” do menu “Métodos”

The image shows a window titled 'Resultados - Electre I'. It contains a table with the following data:

Asc	Desc		A	B	C	D
1º	1º	A 70	245	593	3,3	0,42
1º	1º	A 75	241	652	3,9	0,4
3º	1º	A 1	282	515	3,8	1
3º	4º	A 62	273	664	3,9	0,5
3º	4º	A 55	280	534	3,1	0,6
3º	4º	A 31	277	601	3,9	0,81

On the right side of the table, the criteria are listed: A-Custo, B-Perdas, C-Fiabilidade, and D-Robustez. At the bottom of the window, there are buttons for 'Ajuda' and 'Sair'.

Fig. 92 - Visualizar resultados Electre I (1º página)

The screenshot shows a window titled "Resultados - Electre I". It contains a table with the following data:

Asc	Desc		A	B	C	D
1ª	1ª	A 75	241	652	3,9	0,4
3ª	1ª	A 1	282	515	3,8	1
3ª	4ª	A 62	273	664	3,9	0,5
3ª	4ª	A 55	280	534	3,1	0,6
3ª	4ª	A 31	277	601	3,9	0,81
7ª	7ª	A 67	293	708	3	0,48

To the right of the table is a legend:

- A-Custo
- B-Perdas
- C-Fiabilidade
- D-Robustez

At the bottom of the window are two buttons: "Ajuda" and "Sair".

Fig. 93 - Visualizar resultados Electre I (2ª página)

Não se detendo neste ponto, irá avaliar os resultados fornecidos pelo Electre IV.

Desde logo detecta um grupo composto pelos planos "A1" e "A55", um segundo pelo plano "A70", um terceiro pelos planos "A31" e "A67", um quarto pelo "A75" e finalmente um último pelo plano "A62".

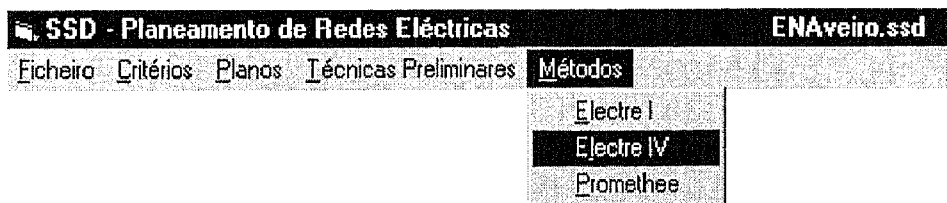


Fig. 94 - Opção "Electre IV" do menu "Métodos"

Asc	Desc		A	B	C	D
1ª	1ª	A 1	282	515	3,8	1
1ª	1ª	A 55	280	534	3,1	0,6
3ª	1ª	A 70	245	593	3,3	0,42
3ª	4ª	A 67	293	708	3	0,48
3ª	4ª	A 31	277	601	3,9	0,81
6ª	4ª	A 75	241	652	3,9	0,4

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Ajuda Sair

Fig. 95 - Visualizar resultados Electre IV (1ª página)

Asc	Desc		A	B	C	D
1ª	1ª	A 55	280	534	3,1	0,6
3ª	1ª	A 70	245	593	3,3	0,42
3ª	4ª	A 67	293	708	3	0,48
3ª	4ª	A 31	277	601	3,9	0,81
6ª	4ª	A 75	241	652	3,9	0,4
6ª	7ª	A 62	273	664	3,9	0,5

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Ajuda Sair

Fig. 96 - Visualizar resultados Electre IV (2ª página)

Proseguindo, observa seguidamente os resultados obtidos a partir do Promethée, constatando que, com pontuação positiva, e seguindo esta ordem de importância, obtém os planos “A70”, “A1”, “A55” e “A75”; e que, com pontuação inferior a zero, os planos “A31”, “A62” e “A67”.

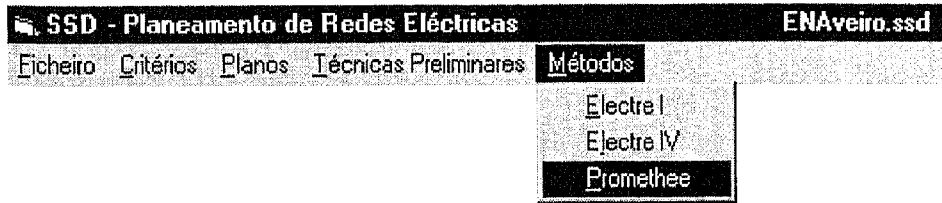


Fig. 97 - Opção “Promethée” do menu “Métodos”

	Pontos	A	B	C	D	
1ª	0.407	A 70	245	593	3,3	0,42
2ª	0.362	A 1	282	515	3,8	1
3ª	0.238	A 55	280	534	3,1	0,6
4ª	0.170	A 75	241	652	3,9	0,4
5ª	-0.09	A 31	277	601	3,9	0,81
6ª	-0.51	A 62	273	664	3,9	0,5

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Fig. 98 - Visualizar resultados Promethée (1º página)

	Pontos	A	B	C	D	
2ª	0.362	A 1	282	515	3,8	1
3ª	0.238	A 55	280	534	3,1	0,5
4ª	0.170	A 75	241	652	3,9	0,4
5ª	-0.09	A 31	277	601	3,9	0,81
6ª	-0.51	A 62	273	664	3,9	0,5
7ª	-0.57	A 67	293	708	3	0,48

A-Custo
 B-Perdas
 C-Fiabilidade
 D-Robustez

Fig. 99 - Visualizar resultados Promethée (2º página)

Começa, por fim, a tirar conclusões:

Exclui desde logo o plano “A67”, que é o pior de todos os que se encontram em confronto quer no método Electre I, quer no Promethée - se bem que, no Electre IV, ocupe uma posição intermédia.

Por outro lado, o “A62” obtém pontuação negativa no Promethée, é pior segundo o Electre IV e integra o penúltimo grupo no Electre I. Pelo que se afigura, igualmente de excluir, sendo tomada idêntica decisão quanto ao “A31”, que apresenta idênticas posições, salvo no Electre IV, em que ocupa um lugar mediano.

Ao invés, o plano “A70” deve ser mantido, visto apresentar a primeira posição nos métodos Electre I e Promethée, pertencendo ao segundo grupo no Electre IV.

De manter é também o “A1” - o melhor no Electre IV, o segundo no Promethée e parte do segundo grupo no Electre I.

Restam ainda dois planos ao Agente de Decisão - o “A55” e o “A75”:

O “A75” é penúltimo no Electre IV, pertence ao segundo grupo no Electre I e ocupa a quarta posição no Promethée.

O “A55” é primeiro no Electre IV, do terceiro grupo no Electre I e terceiro no Promethée.

Perante a dúvida, afigura-se razoável manter os quatro planos em aberto para ulterior estudo.

Neste ponto, o Agente de Decisão abandona o protótipo, que cumpriu já integralmente a sua função - sem que este deixe, no entanto, de questionar aquele sobre se pretende, ou não, gravar as alterações a que procedeu.

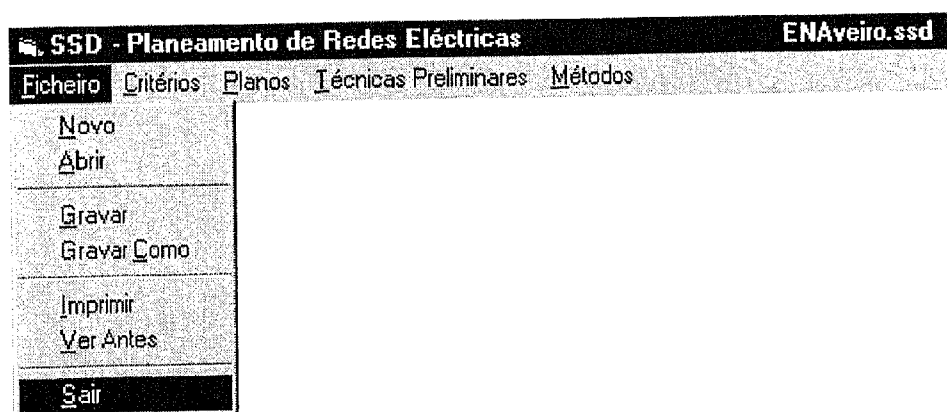


Fig. 100 - Opção “Sair” do menu “Ficheiro”



Fig. 101 - O protótipo questiona o Agente de Decisão se ele pretende gravar as alterações efectuadas

6.4 Conclusões

Como pode verificar-se, a utilização do protótipo facilita a tomada de decisões. Desta forma, facilmente se consegue excluir alternativas dominadas, filtrar valores que não têm real interesse para a tomada de decisão e diminuir o número de alternativas a considerar para a decisão final.

Com o protótipo pode visualizar-se progressivamente os resultados obtidos pelos diferentes métodos e podem experimentar-se diferentes valores para os parâmetros, o que não foi feito nesse Capítulo, para evitar torná-lo demasiado denso e longo.

7. Conclusões

Na presente dissertação procurou levar-se a efeito uma síntese do planeamento de redes de distribuição, identificando-se o problema de decisão. A abordagem ao problema de planeamento de redes de decisão não foi feita de modo muito aprofundado, por não constituir esse o objecto do estudo levado a cabo.

Foram estudadas diversas técnicas e métodos de ajuda à decisão, dando especial ênfase àqueles que se mostram, em nosso entender, relevantes. Pormenorizaram-se, essencialmente, as técnicas de análise preliminar e os métodos baseados em subordinação, nomeadamente o Electre I, Electre IV e Prométhée.

Construiu-se um protótipo de um sistema de ajuda à decisão em problemas de planeamento de redes de distribuição que obdecem, além do mais à preocupação de poder vir a ser facilmente utilizado por um Agente de Decisão desconhecedor das diferentes técnicas e métodos usados. Com esse intuito, desenvolveu-se um processo para aquisição de pesos dos critérios baseado no método AHP e utilizando a escala de Saaty; foi feita a unificação dos diversos limiares necessários à aplicação das técnicas e métodos utilizados; e elaborou-se um algoritmo de aquisição desses limiares, através de sensibilidades para diferenças de valores.

Deu-se grande importância à obtenção de uma relação amigável entre o protótipo e o Agente de Decisão, por forma a que este possa lograr utilizar fácil e agradavelmente o sistema.

Um exemplo elucidativo, com simulação, descreve as potencialidades do protótipo.

Os objectivos iniciais mostram-se, a nosso ver, cumpridos; no entanto muitas ideias permanecem inexploradas para futuras abordagens complementares do presente estudo. Novas perspectivas, já fora do âmbito do trabalho, poderão, de futuro, ser frutuosa e exploradas.

Para esse desenvolvimento futuro, prevê-se a utilização de valores imprecisos para os diferentes atributos dos planos de expansão. A inclusão de incerteza torna-se muito útil quando exista grande imprevisibilidade de valores futuros - como é caso do

objecto do estudo - sobretudo causada pelo aparecimento de produtores independentes.

Referências e Bibliografia

Antonini, J., Rosa, N. (1995), *Qualidade em Software: manual de aplicação da ISO-9000*, Makron Books, São Paulo.

Bana e Costa, C. (1990), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer-Verlag, New York.

Bana e Costa, C., Vansnick, J.-C. (1994), MACBETH - An Interactive Path Towards the Constuction of Cardinal Value Functions, Elsevier Science Ltd., *International Transactions on Operational Research*, Vol. 1, N°4, pg 489-500.

Bana e Costa, C., Ensslin, L., Corrêa, E., Vensnick, J.-C. (1997), *Decision Support Systems in Action: Integrated Application in a Multicritéria Decision Aid Process*, para ser publicado no *European Journal of Operation Research*, Lisboa

Brans, J., Mareschal, B. (1990), *Promethée V: MCDM Problems with Segmentation Constraints*.

Comitê de Distribuição (1982), *Planejamento de Sistemas de Distribuição (Vol1)*, Editora Campus/Electrobrás, Rio de Janeiro

Dunn, J. (1973), A Fuzzy Relative of the ISODATA process and its Use in Detecting Compact Well-Separatd Clusters, *J. Cybernetics*, Vol. 3, N°3, pg. 32-57.

Fowler, S., Stanwick (1995), V.R., *The GUI Style Guide*, Academiv Press, Inc.

Galitz, W. (1993), *User-interface Screen Design*, John Wiley & Sons, Inc.

Germano, J.P. (1995), Ajuda à Decisão na Seleccção Multicritério de Projectos, Dissertação de Mestrado, Porto

Gonnen, T. (1986), *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill.

Hwang, C.L., Masud, A. (1979), *Multiple Objective Decision Making - Methods and Applications*, Spring-Verlag LNEMS 186, New York

Hwang, C.L., Yoon, K. (1981), Multiple Atribute Decision Making - Methods and Applications, Spring-Verlag LNEMS 164, New York

Kagan, N., Adams, R. (1993), Electrical Power Distribution Systems Planning Using Fuzzy Mathematical Programming, Power System Computer Conference, Austria.

Keeney, R.L., Raiffa, H. (1976), Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs, John Wiley, New York.

Khator, S.K., Lawrence, C.L. (1997), *Power Distribution Planning: A Review of Models and Issues*, IEEE Transactions on Power Systems Vol.12 N°3

Lakervi, E., Holmes, E. (1995), *Electric Distribution Network Design*, IEEE Power Engineering Series 21.

Lakervi, E. (1984), Aspects of Electricity Distribution Network Design and Associated Computer Based Tools, TUT Publications 31, Tampere.

Marcus, A. (1992), *Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces*, Addison Wesley, New York.

Matos, M.A. (1988), *Ajuda à Decisão Multicritério - Novas Contribuições*, Tese de Doutoramento, Porto.

Matos, M.A., Ponce de Leão, M.T. (1993), Electric Distribution System Planning with Fuzzy Loads, Lisboa

Microsoft (1996), Programmer's Guide - Visual Basic programming System for Windows version 5.0.

Microsoft (1995), The Windows Interface Guidelines for Software Design, Microsoft Press.

Minasi, M. (1994), Secrets of Effective Gui Design, Sybex

Ponce de Leão, M.T. (1995), Planeamento de Redes de Distribuição com Produção Independente, Dissertação de Doutoramento, Porto

Reis Lima, J., Barbosa, H. (1996), Interface Homem-Máquina, Porto

Roy, B. (1985), Méthodologie Multicritère d'Aide a la Decision, Ed. Economica, Paris

Roy, B., Bouyssou, D. (1993), Aide Multicritère à la Decision: Methodes e Cas, Ed. Economica, Paris

Roy, B., Hugonnard, J.C. (1982), Ranking of Suburban Line Extension Projects on the Paris Metro System by a Multicriteria Method.

Saaty, T. (1986), Decision Making for Leaders, University of Pittsburgh, Pittsburgh.

Scharling, A. (1996), Practiquer Electre et Prométhée - Un Complément à Décider sur Plusieurs Critères, Press Polytechnique et Universitaires Romandes, Lausanne.

Scott, D.F., Bloom, E. (1994), Visual Basic 3 by Exemple - The Easiest Way to Learn How to Program, Prentice Hall Computer Publishing.

Simos, J. (1990), Evaluer l'impact sur l'environnement, une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation, Presses Polytechniques et Universitaires

Romandes, Lousanne.

Zeleny, M. (1982), Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill, New York.

Anexo A. Algoritmos para aquisição de limiares

Sub Sensibilidades (V1, V2, Tipo1, Tipo2, VF)

Este sub-algoritmo estabelece uma competição Tipo1-Tipo2.

[Inicializar incremento pelo método das bissetrizes]

$\text{Incr} \leftarrow (V1+V2) / 2$

[Inicializar o número de diferenças pedido]

$\text{vezes} \leftarrow 0$

[Estabelecer ciclo para a competição]

Enquanto $(V1 - V2 > 0.01 * vf)$ e $(\text{vezes} < 10)$ e $(\text{Incr} > \text{Min} + 0.01 * \text{Min})$

[Pedir ao AD a relação entre o 1º valor gerado e o valor de comparação]

Print (“ Relação entre “, VF , “ e “, Incr)

Read (Julga)

[Se a diferença for do 1º tipo, o seu limite toma o valor do valor de comparação]

If Julga = Tipo1

Then $V1 \leftarrow \text{Incr}$

Else $V2 \leftarrow \text{Incr}$

[Incrementar o número de diferenças pedido]

$\text{vezes} \leftarrow \text{vezes} + 1$

[Actualizar o valor de comparação]

$\text{Incr} \leftarrow (V1+V2) / 2$

[Terminar sub-algoritmo]

Return

Sub RelPref (Incr, VF, Min, Julga, v1,v3,v2)

Este sub-algoritmo força a diferença apreciável.

[Inicializar incremento pelo método das bissecções]

$\text{Incr} \leftarrow (\text{V1} + \text{V2}) / 2$

[Inicializar o número de diferenças pedido]

$\text{vezes} \leftarrow 0$

[Estabelecer ciclo para a competição]

Enquanto $(\text{V1} - \text{V2} > 0.01 * \text{Vf})$ e $(\text{vezes} < 10)$ e $(\text{Incr} > \text{Min} + 0.01 * \text{Min})$ e
(Julga \diamond "A")

[Pedir ao AD a relação entre o 1º valor gerado e o valor de comparação]

Print (" Relação entre ", VF , " e", Incr)

Read (Julga)

[Se a diferença não for apreciável]

If Julga \diamond "A" then

[Actualizar limiares iniciais]

If Julga = "I"

Then $\text{V1} \leftarrow \text{Incr}$

Else $\text{V2} \leftarrow \text{Incr}$

[Incrementar o número de diferenças pedidas]

$\text{vezes} \leftarrow \text{vezes} + 1$

[Actualizar o valor de comparação]

$\text{Incr} \leftarrow (\text{V1} + \text{V2}) / 2$

[Se se forçou a diferença apreciável, atualizar o limite intermédio para posteriores competições]

If Julga = "A"

Then V3 ← Incr

[Terminar sub-algoritmo]

Return

Sub Compete (Max, Min, VF, VI, VS)

Este sub-algoritmo providencia uma competição de valores, tendo como valor fixo VF, gerado no algoritmo principal.

[Gerar e validar 1º Valor de comparação]

repetir até que $(VF - Incr > 0.01 * VF)$ e $(Incr - Min > Min + Min * 0.01)$

Incr ← min + Random (VF - min)

[Pedir ao Agente de Decisão a relação entre o 1º valor gerado e o 1º valor de comparação]

Print (" Relação entre ", VF , " e ", Incr)

Read (Julga)

[Verificar se a 1º Diferença é apreciável]

If Julga <> "A"

Then

[Se a 1º Diferença não for apreciável, atribui limites iniciais]

If Julga = "I"

Then Vi ← Incr

Vs ← Min

Else Vs ← Incr

Vi ← Vf

```
[Forçar uma diferença apreciável, com limites iniciais]
Call RelPref (Incr, VF, Min, Julga, Vi, Vp, Vs)

Else

[Se a 1ª Diferença for apreciável, atribui limites iniciais]
Vi ← Vf
Vp ← Incr
Vs ← Min

[Verificar se foi forçada]
if Julga = "A"
then Vp2 ← Vp

[Estabelecer competição apreciável - irrelevante]
Call Sensibilidades (Vi, Vp, "I", "A", VF)

[Estabelecer competição apreciável - Substancial]
Call Sensibilidades (Vp2, Vs, "A", "S", VF)

[Terminar sub-algoritmo]
Return
```

Algoritmo Limiares

Este algoritmo tem como objectivo encontrar o limite de indiferença e de preferência substancial.

```
[Geração do 1º Valor fixo]
VF1 ← 1/2 * (Max - Min) + Random (1/4 * (Max - Min))

[Execução da 1ª competição]
Call Compete (Max, Min, VF1, Vi1, VS1)
```

[Geração do 2º Valor fixo]

$VF2 \leftarrow 1/4 * (Max - Min) + Random(1/4 * (Max - Min))$

[Execução da 2ª competição]

Call Compete (Max, Min, VF2, Vi2, VS2)

[Cálculo do limite de indiferença pela média das duas competições]

$VI \leftarrow (abs(VF1 - Vi1) / VF1 * 100 + abs(VF2 - Vi2) / VF2 * 100) / 2$

[Cálculo da preferência substancial pela média das duas competições]

$VS \leftarrow (abs(VF1 - Vs1) / VF1 * 100 + abs(VF2 - Vs2) / VF2 * 100) / 2$

[Imprimir resultados]

Print (“Indiferença até “, VI)

Print (“Preferência Substancial desde “, VS)

[Fim do algoritmo]

exit

Anexo B. Definição do Ficheiro de Critérios

Para definição de critérios temos um ficheiro de texto crit.dat inclui os critérios a considerar, sob a forma:

```
<NCP>  
<TOP>  
<MinP>  
<MaxP>
```

NCP é o nome do critério.

TOP é o objectivo do critério NC (0-minimização e 1-máximização).

MinP é o valor mínimo para o critério NC.

MaxP é o valor máximo para o critério NC.

Desta forma, o protótipo pode servir diferentes intuítos consoante o conteúdo do ficheiro crit.dat. Para satisfazer os que nos propomos, a informação deste ficheiro é a seguinte:

```
"Custo"  
0  
0  
1000000  
"Perdas"  
0  
0  
1000000  
"Fiabilidade"  
0  
0  
1000000  
"Impacto Ambiental"  
0
```

0
1000000
"Robustez"
1
0
1
"Severidade"
0
0
1

Anexo C. Definição do Ficheiro com extensão *ssd*

A forma mais prática de introduzir dados será através de um ficheiro de texto com a extensão *ssd* (sistema de suporte à decisão); tal ficheiro poderá ser criado em qualquer editor de texto.

Para cada um dos critérios é necessário:

```
“-----“  
<NC>  
<LI>  
<LPF>  
“%%%%%%”  
<NJP-P>  
“%%%%%%”  
“*****”  
<VPC>  
“*****”
```

Em que:

NC é o nome do critério (Os valores possíveis são Custo / Perdas / Fiabilidade / Impacto ambiental / Robustez / Severidade, tendo em conta as definições iniciais do protótipo; no entanto para um outro qualquer ficheiro *crit.dat* os nomes de critérios tem que estar de acordo com o seu conteúdo).

LI é o limite de indiferença para o critério **NC** (Um valor entre zero e um).

LPF é o limite de preferência forte para o critério **NC** (Tendo como valores possíveis a gama [0, 1]).

NJP-P são os diferentes julgamentos par-a-par deste critério relativamente a todos os outros, considerando a ordem de apresentação de cada um dos critérios activos (tanto julgamentos quantos os critérios, sendo os valores possíveis os da escala de Saaty).

VPC é o valor do critério para cada um dos diferentes planos (tendo como gama de valores possíveis entre **MinP** e **MaxP**).

Caso os planos não sejam numerados sequencialmente, opcionalmente poderá ser, opcionalmente, incluído no ficheiro de texto a seguinte informação:

```
««00000«  
<NP>
```

Em que **NP** são os números dos diferentes planos a considerar.

Anexo D. Conteúdo do Ficheiro ssd utilizado no exemplo

"-----"	"-----"	"-----"	"-----"	"-----"
"Custo	"Perdas	"Fiabilidade "	"Robustez	"Severidade
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"
"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
"1"	"1"	"1"	"1"	"1"
"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"	"%%%%%%%%%"
"*****"	"*****"	"*****"	"*****"	"*****"
282	515	3.8	1	0
304	505	3.7	1	0
308	565	2.7	1	0
315	585	3.6	1	0
315	570	2.6	1	0
319	577	2.9	1	0
322	540	3.4	1	0
331	449	2.9	1	0
332	495	2.7	1	0
339	601	3.4	1	0
345	520	3.2	1	0
345	550	2.8	1	0
348	587	3.1	1	0
349	423	3.4	1	0
354	501	2.4	1	0
354	596	2.7	1	0
356	631	2.7	1	0
365	542	2.9	1	0
375	589	2.8	1	0
391	489	3.5	1	0
410	613	3	1	0
414	519	2.7	1	0
308	630	3.9	.96	0

Anexo D. Conteúdo do Ficheiro ssd utilizado no exemplo

339	529	2.5	.94	0
406	703	2.9	.91	0
323	504	3.2	.9	0
317	486	3.2	.89	0
366	560	2.9	.84	0
313	723	2.4	.81	0
328	600	2.6	.81	0
277	601	3.9	.81	0
322	500	3.9	.79	.01
304	503	3.1	.79	.01
310	618	3.9	.79	.01
328	728	3.1	.79	.01
369	596	2.5	.79	.01
324	526	3	.76	.01
325	448	3.5	.75	0
323	710	3.9	.74	.01
330	581	2.6	.73	.02
349	503	2.8	.73	.02
265	712	3.9	.73	.01
375	656	2.5	.7	.01
303	623	3.9	.66	.01
330	567	3.8	.66	.03
375	576	3.3	.66	.02
378	443	2.5	.66	.01
344	827	3.4	.65	.01
395	536	2.4	.65	.01
294	906	3.9	.63	.02
346	473	2.9	.63	.01
357	743	2.8	.62	.01
345	704	3.1	.61	.01
361	551	3.5	.61	.02
280	534	3.1	.6	.01
301	604	2.9	.56	.01
303	535	2.9	.55	.01
340	662	3.3	.54	.02
387	608	2.4	.53	.01
284	837	3.9	.52	.02
380	730	2.3	.51	.04

Anexo D. Conteúdo do Ficheiro ssd utilizado no exemplo

273	664	3.9	.5	.01
330	407	3.4	.5	.03
331	385	2.8	.5	.01
302	413	2.6	.49	.01
347	486	3.1	.48	.02
293	708	3	.48	.02
354	490	3.3	.43	.04
285	615	3.9	.42	.02
245	593	3.3	.42	.03
363	874	3.5	.42	.03
267	695	3.9	.41	.01
339	564	2.9	.41	.01
365	611	3.2	.41	.02
241	652	3.9	.4	.02
333	484	2.5	.39	.03
287	944	3.9	.34	.03
304	589	3.5	.34	.04
330	648	3.5	.33	.06
280	824	3.5	.33	.07
334	562	2.9	.31	.04
300	523	3.6	.3	.04
330	472	3.2	.28	.05
333	417	3.4	.28	.05
362	753	3.1	.28	.04
365	567	3	.27	.03
277	784	3.9	.25	.05
362	765	3.6	.25	.06
326	572	2.3	.21	.06
374	787	2.6	.19	.12
355	563	3.3	.17	.03
313	694	3.4	.15	.1
248	665	3.9	.14	.03
368	566	2.5	.14	.08
377	629	2.5	.14	.1
349	501	2.8	.11	.04
283	526	3.8	.11	.09
256	812	3.9	.07	.04
315	952	3.2	.07	.04

Anexo D. Conteúdo do Ficheiro ssd utilizado no exemplo

371	551	2.8	.07	.04
312	696	3.9	.02	.08
314	798	3.8	.02	.1
347	704	2.6	.02	.06
302	656	2.8	.01	.14
*****	*****	*****	*****	*****

