

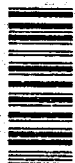
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**SANDRO MAC DONALD NORONHA**

**Um Modelo Multicritérios Para Apoiar a Decisão da  
Escolha do Combustível para Alimentação de  
Caldeiras Usadas na Indústria Têxtil**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
da Universidade Federal de Santa Catarina  
para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia.



0.292.584-1

UFSC-BU



Florianópolis, 1998.

**SANDRO MAC DONALD NORONHA**

**Um Modelo Multicritérios Para Apoiar a Decisão da  
Escolha do Combustível para Alimentação de  
Caldeiras Usadas na Indústria Têxtil**

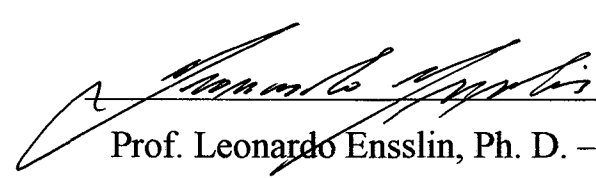
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Mestre”, Especialidade em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.



---

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph. D. – Coordenador

Banca Examinadora:



---

Prof. Leonardo Ensslin, Ph. D. – Orientador



---

Prof. Álvaro G. Rojas Lezana, Dr.



---

Prof<sup>a</sup>. Sandra Rolim Ensslin, M.Sc.



---

Prof<sup>a</sup>. Vera Lúcia Duarte do Valle Pereira, Dr<sup>a</sup>.

**Aos meus pais, Silvio e Ceres,  
por tudo e principalmente porque sem  
eles eu não estaria aqui neste mundo.**

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só se tornou realidade devido a colaboração, direta ou indireta, de uma série de pessoas. Desta forma eu gostaria de prestar meus agradecimentos:

- Ao meu orientador Prof. Leonardo Ensslin, por ter acreditado em mim e me guiado nesta árdua caminhada.
- Aos meus familiares, pelo amparo e força que transmitiram.
- Aos Engenheiros João Ademir, Carlos, Marcelo e Sandro pela ajuda inestimável que me prestaram e sem a qual este trabalho não teria se realizado.
- Aos colegas do LabMCDA, e em especial ao Gilberto, pelas contribuições que deram a este trabalho, principalmente nas reuniões no *escritório*.
- Aos meus demais amigos e amigas pelas palavras e gestos de apoio.
- A minha namorada Maristela pela compreensão e carinho demonstrados durante o período do desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1. METODOLOGIAS MULTICRITÉRIOS EM APOIO À DECISÃO</b>	<b>5</b>
1.1 <b>PARADIGMA DO CONSTRUTIVISMO</b>	<b>6</b>
1.2 <b>O SISTEMA DO PROCESSO DE APOIO À DECISÃO</b>	<b>7</b>
1.2.1 O SUBSISTEMA DOS ATORES	9
1.2.2 O SUBSISTEMA DAS AÇÕES	10
1.2.3 INTERPENETRABILIDADE DE ELEMENTOS SUBJETIVOS E OBJETIVOS	10
1.3 <b>PROBLEMÁTICAS TÉCNICAS DE APOIO À AVALIAÇÃO</b>	<b>11</b>
1.3.1 PROBLEMÁTICA DA AVALIAÇÃO ABSOLUTA	12
1.3.2 PROBLEMÁTICA DA AVALIAÇÃO RELATIVA	13
1.3.3 PROBLEMÁTICA DA ESCOLHA, $P.\alpha$	13
1.3.4 PROBLEMÁTICA DA ORDENAÇÃO, $P.\gamma$	14
1.3.5 PROBLEMÁTICA TÉCNICA DA REJEIÇÃO ABSOLUTA, $P.\beta^0$	15
1.4 <b>ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO</b>	<b>15</b>
1.5 <b>MAPAS COGNITIVOS</b>	<b>16</b>
1.5.1 ESTRUTURA DO MAPAS COGNITIVOS	18
1.5.2 CONSTRUÇÃO DOS MAPAS COGNITIVOS	19
1.5.3 MAPAS COGNITIVOS E GRUPOS	20
1.5.4 ANÁLISE DOS MAPAS COGNITIVOS	21
1.6 <b>PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS</b>	<b>22</b>
1.6.1 PROPRIEDADES DOS PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS	23
1.6.2 PROPRIEDADES DE UMA FAMÍLIA DE PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS	24
1.6.3 TRANSIÇÃO DE PONTO DE VISTA FUNDAMENTAL PARA CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	25
1.7 <b>DESCRITORES</b>	<b>25</b>
1.7.1 TIPOS DE DESCRITORES	26
1.8 <b>FUNÇÕES DE VALOR</b>	<b>27</b>
1.8.1 ESCALAS	29
1.8.2 MÉTODOS PARA CONSTRUÇÃO DE FUNÇÕES DE VALOR	32
1.9 <b>NÍVEIS DE REFERÊNCIA BOM E NEUTRO</b>	<b>35</b>
1.10 <b>TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO (PESOS)</b>	<b>37</b>
1.10.1 METODOLOGIA MACBETH	38
1.10.2 PESOS INTERNOS AOS CRITÉRIOS	42
1.11 <b>INDICADORES DE IMPACTO</b>	<b>42</b>

1.12	<b>FÓRMULA DE AGREGAÇÃO ADITIVA</b>	43
<b>2.</b>	<b><u>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E RELAÇÕES OUTRANKING</u></b>	<b>45</b>
2.1	<b>ALGUMAS FONTES DE IMPRECISÃO EM MODELOS DECISÓRIOS</b>	45
2.2	<b>CONFLITOS ENTRE RESULTADOS ANALÍTICOS E INTUITIVOS</b>	47
2.3	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE</b>	48
2.3.1	ROBUSTEZ DO MODELO À VARIAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS	49
2.4	<b>RELAÇÕES OUTRANKING</b>	50
2.4.1	NOTAÇÕES E DEFINIÇÕES	51
2.5	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE UTILIZANDO AS RELAÇÕES OUTRANKING</b>	54
<b>3.</b>	<b><u>CONSTRUÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIOS PARA APOIAR A DECISÃO DA ESCOLHA DO COMBUSTÍVEL PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS USADAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL</u></b>	<b>60</b>
3.1	<b>DEFINIÇÃO DO CONTEXTO DECISÓRIO</b>	60
3.2	<b>ESTRUTURAÇÃO DO MODELO</b>	62
3.2.1	ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO	63
3.2.2	MAPAS COGNITIVOS INDIVIDUAIS	64
3.2.3	MAPAS COGNITIVOS DO GRUPO	66
3.2.4	ARBORESCÊNCIA DE PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS	67
3.3	<b>CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO</b>	69
3.3.1	SEGURANÇA	70
3.3.2	IMAGEM DA EMPRESA	73
3.3.3	POTENCIALIDADE DE USO FUTURO	74
3.3.4	PRAZO DE IMPLANTAÇÃO	76
3.3.5	INVESTIMENTO	77
3.3.6	RENDIMENTO DA CALDEIRA	79
3.3.7	FORNECIMENTO DO COMBUSTÍVEL	81
3.3.8	COMPLEXIDADE DO EQUIPAMENTO	86
3.3.9	ASSISTÊNCIA TÉCNICA	87
3.3.10	CONTROLE DA EFICIÊNCIA DA QUEIMA	90
3.3.11	CUSTO OPERACIONAL MENSAL	91
3.3.12	CUSTO DO ESTOQUE DE COMBUSTÍVEL	92
3.4	<b>CRITÉRIOS DE REJEIÇÃO</b>	94
3.4.1	IMAGEM DA EMPRESA FORNECEDORA DOS EQUIPAMENTOS NO MERCADO.	94
3.4.2	RESÍDUOS EMITIDOS PELAS CHAMINÉS DAS CALDEIRAS.	94

<b>3.5</b>	<b>PESOS DOS CRITÉRIOS</b>	<b>95</b>
3.5.1	PESOS INTERNOS DOS SUB-CRITÉRIOS DO CRITÉRIO FORNECIMENTO DE COMBUSTÍVEL	95
3.5.2	PESOS INTERNOS DOS SUB-CRITÉRIOS DO CRITÉRIO ASSISTÊNCIA TÉCNICA	97
3.5.3	PESOS DOS CRITÉRIOS NO MODELO	98
<b>3.6</b>	<b>AVALIAÇÃO PARCIAL DAS AÇÕES POTENCIAIS</b>	<b>101</b>
<b>3.7</b>	<b>AVALIAÇÃO GLOBAL DAS AÇÕES POTENCIAIS</b>	<b>107</b>
<b>3.8</b>	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO À VARIAÇÕES DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO</b>	<b>109</b>
<b>3.9</b>	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO UTILIZANDO RELAÇÕES OUTRANKING</b>	<b>112</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>114</b>
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>		<b>116</b>
<b><u>ANEXO I – DADOS TÉCNICOS DO SISTEMA DE CALDEIRAS DA UNIDADE ITORORÓ DA HERING TÊXTIL S.A.</u></b>		<b>122</b>
<b><u>ANEXO II – ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO</u></b>		<b>123</b>
<b><u>ANEXO III – MAPAS COGNITIVOS</u></b>		<b>125</b>
<b><u>ANEXO IV – MATRIZES SEMÂNTICAS DO MÉTODO MACBETH</u></b>		<b>137</b>
<b><u>ANEXO V – COMPARAÇÃO PAR-A-PAR DAS PERFORMANCES DAS AÇÕES POTENCIAIS</u></b>		<b>140</b>
<b><u>ANEXO VI – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS</u></b>		<b>146</b>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Sistema do processo de apoio à decisão (Bana e Costa, 1995b)</i> .....	8
<i>Figura 2 – Classificação do subsistema dos atores (adaptado de Montibeller Neto, 1996)</i> .....	9
<i>Figura 3 – Ilustração da Problemática da Avaliação Absoluta (adaptada de Zanella, 1996)</i> .....	12
<i>Figura 4 – Ilustração da Problemática da Escolha (adaptada de Zanella, 1996)</i> .....	14
<i>Figura 5 – Ilustração da Problemática Técnica da Rejeição Absoluta (adaptada de Zanella, 1996)</i> .....	15
<i>Figura 6 – Representação cognitiva quádrupla do mapa cognitivo (Montibeller Neto, 1996)</i> .....	17
<i>Figura 7 – Relacionamentos entre os conceitos de um mapa cognitivo (Ensslin et al, 1997)</i> .....	18
<i>Figura 8 – “Clusters” de um mapa cognitivo (adaptada de Montibeller Neto, 1996)</i> .....	21
<i>Figura 9 – Tipos de Descritores</i> .....	26
<i>Figura 10 – Exemplo de Função de Valor</i> .....	28
<i>Figura 11 – Exemplo de escala ordinal</i> .....	30
<i>Figura 12 – Equivalência entre duas escalas de intervalos (Graus Celsius e Fahrenheit)</i> .....	31
<i>Figura 13 - Equivalência entre duas escalas de razões (quilos e libras)</i> .....	32
<i>Figura 14 – Construção da matriz semântica usada no método MACBETH</i> .....	34
<i>Figura 15 – Ilustração de uma Matriz com Inconsistência Semântica</i> .....	35
<i>Figura 16 – Perfis de impacto das ações A e B</i> .....	38
<i>Figura 17 – Indicador de Impacto de uma Ação Potencial (adaptado de Montibeller Neto, 1996)</i> .....	42
<i>Figura 18 – Representação gráfica de uma Relação Outranking (adaptado de Vanderpooten, 1997)</i> .....	53
<i>Figura 19 – Conceito inicial do Mapa Cognitivo do Decisor “A”</i> .....	64
<i>Figura 20 – Mapa Cognitivo do Decisor “A” indo em direção aos fins</i> .....	65
<i>Figura 21 - Mapa Cognitivo do Decisor “A” indo em direção aos meios</i> .....	65
<i>Figura 22 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Ambiente</i> .....	67
<i>Figura 23 – Arborescência de Candidatos a Pontos de Vista Fundamentais</i> .....	68
<i>Figura 24 - Arborescência de Pontos de Vista Fundamentais</i> .....	69
<i>Figura 25 – Escala MACBETH para o critério Segurança</i> .....	71
<i>Figura 26 - Escala MACBETH original e reescalada para o critério Segurança</i> .....	72
<i>Figura 27 – Escala MACBETH original e reescalada associadas aos níveis de impacto do critério Segurança</i> .....	73
<i>Figura 28 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Imagem da empresa</i> .....	74
<i>Figura 29 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Potencialidade de Uso Futuro</i> .....	75
<i>Figura 30 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério Prazo de Implantação</i> .....	77
<i>Figura 31 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Prazo de Implantação</i> .....	77
<i>Figura 32 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério Investimento</i> .....	79
<i>Figura 33 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Investimento</i> .....	79
<i>Figura 34 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério Rendimento da Caldeira</i> .....	80
<i>Figura 35 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Rendimento da Caldeira</i> .....	81
<i>Figura 36 - Representação Gráfica da Função de Valor para o sub-critério Número de Fornecedores</i> .....	82



<i>Figura 37 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Número de Fornecedores.</i>	83
<i>Figura 38 - Representação Pictórica dos níveis de impacto do descritor para o sub-critério Proximidade da Fonte.</i>	84
<i>Figura 39 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Proximidade da Fonte.</i>	84
<i>Figura 40 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Dificuldade de Troca do Fornecedor.</i>	86
<i>Figura 41 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Complexidade do Equipamento.</i>	87
<i>Figura 42 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Localização do Técnico.</i>	88
<i>Figura 43 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Localização das Peças.</i>	89
<i>Figura 44 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Controle da Eficiência da Queima.</i>	90
<i>Figura 45 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério Custo Operacional Mensal.</i>	92
<i>Figura 46 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Custo Operacional Mensal.</i>	92
<i>Figura 47 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério Custo do Estoque de Combustível.</i>	93
<i>Figura 48 - Escala MACBETH original e reescalada do critério Custo do Estoque de Combustível.</i>	94
<i>Figura 49 - Matriz semântica e pesos internos dos sub-critérios do Critério Fornecimento de Combustível.</i>	96
<i>Figura 50 - Representação gráfica dos pesos internos dos sub-critérios do Critério Fornecimento de Combustível.</i>	97
<i>Figura 51 - Matriz semântica e pesos internos dos sub-critérios do Critério Assistência técnica.</i>	97
<i>Figura 52 - Representação gráfica dos pesos internos dos sub-critérios do Critério Assistência técnica.</i>	98
<i>Figura 53 - Matriz semântica e pesos dos critérios do Modelo.</i>	99
<i>Figura 54 - Representação gráfica dos pesos dos critérios.</i>	100
<i>Figura 55 - Representação gráfica das avaliações parciais das ações potenciais analisadas.</i>	106
<i>Figura 56 - Avaliação Parcial e Global das Ações Potenciais de Combustível.</i>	107
<i>Figura 57 - Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e GLP + gás natural.</i>	108
<i>Figura 58 - Análise de Sensibilidade com relação à variação do peso do Critério Custo Operacional.</i>	110
<i>Figura 59 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério Proximidade da fonte.</i>	110
<i>Figura 60 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Prazo de Implantação.</i>	111
<i>Figura 61 - Mapa Cognitivo do Decisor A.</i>	126
<i>Figura 62 - Mapa Cognitivo do Decisor B.</i>	127
<i>Figura 63 - Mapa Cognitivo do Decisor C.</i>	128
<i>Figura 64 - Mapa Cognitivo do Decisor D.</i>	129
<i>Figura 65 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Ambiente.</i>	130
<i>Figura 66 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Combustível Eficiente.</i>	131
<i>Figura 67 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Confiabilidade da Solução.</i>	132
<i>Figura 68 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Equipamentos.</i>	133
<i>Figura 69 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Financeira.</i>	134
<i>Figura 70 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Imagem da Empresa.</i>	135
<i>Figura 71 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Segurança.</i>	136
<i>Figura 72 - Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e gás natural.</i>	140

<i>Figura 73 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e gás natural.</i>	140
<i>Figura 74 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e GLP + gás natural.</i>	141
<i>Figura 75 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e lenha.</i>	141
<i>Figura 76 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e óleo.</i>	142
<i>Figura 77 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial gás natural e lenha.</i>	142
<i>Figura 78 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial gás natural e óleo.</i>	143
<i>Figura 79 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e lenha.</i>	144
<i>Figura 80 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e óleo.</i>	144
<i>Figura 81 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial óleo e lenha.</i>	145
<i>Figura 82 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Custo Operacional.</i>	146
<i>Figura 83 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Potencialidade de uso futuro.</i>	146
<i>Figura 84 - Análise de Sensibilidade á variação do peso do Sub-Critério Numero de Fornecedores.</i>	147
<i>Figura 85 - Análise de Sensibilidade á variação do peso do Sub-Critério Dificuldade de troca do fornecedor.</i>	147
<i>Figura 86 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério Proximidade da fonte.</i>	148
<i>Figura 87 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Fornecimento de Combustível.</i>	148
<i>Figura 88 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Rendimento da caldeira.</i>	149
<i>Figura 89 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Custo do estoque de combustível.</i>	149
<i>Figura 90 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Investimento.</i>	150
<i>Figura 91 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Controle da Queima.</i>	150
<i>Figura 92 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Complexidade do equipamento.</i>	151
<i>Figura 93 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Prazo de Implantação.</i>	151
<i>Figura 94 - Análise de Sensibilidade á variação do peso do Sub-Critério Localização das Peças.</i>	152
<i>Figura 95 - Análise de Sensibilidade á variação do peso do Sub-Critério Localização do Técnico.</i>	152
<i>Figura 96 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Assistência técnica.</i>	153
<i>Figura 97 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Segurança.</i>	153
<i>Figura 98 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Imagem da empresa.</i>	154

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Matriz 6 x 6 usada para ordenar preferencialmente os critérios de avaliação.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 2 – Ilustração de como preencher a Matriz de Ordenação dos critérios. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 3 – Matriz de Ordenação completa dos critérios. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 4 – Matriz de Ordenação mostrando a ordem de preferência dos critérios. ....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 5 – Matriz com os julgamentos semânticos usada para determinar os pesos pelo Método MACBETH. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 6 – Ilustração de uma Análise de Sensibilidade utilizando relações Outranking. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 7 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Segurança. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 8 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Imagem da Empresa. ....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 9 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Potencialidade de Uso Futuro. ....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 10 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Prazo de Implantação.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 11 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Investimento. ....</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 12 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Rendimento da Caldeira. ....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 13 – Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Número de Fornecedores. ....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 14 – Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Proximidade da Fonte.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 15 – Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Dificuldade de Troca do Fornecedor. ....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 16 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Complexidade do Equipamento.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 17 – Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Localização do Técnico.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 18 – Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Localização das Peças. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 19 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Controle da Eficiência da Queima. ....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 20 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Custo Operacional Mensal. ....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 21 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério Custo do Estoque de Combustível. ....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 22 – Matriz de ordenação dos sub-critérios do Critério Fornecimento de Combustível.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 23 – Escala MACBETH e Pesos Internos dos Sub-Critérios do Critério Fornecimento de Combustível.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 24 – Escala MACBETH e Pesos Internos dos Sub-Critérios do Critério Assistência técnica. ....</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 25 – Matriz de ordenação dos critérios do modelo. ....</i>	<i>99</i>
<i>Tabela 26 – Escala MACBETH e Pesos dos Critérios do Modelo. ....</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 27 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Segurança. ....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 28 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Imagem da empresa. ....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 29 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Potencialidade de uso futuro. ....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 30 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Prazo de implantação.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 31 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Investimento.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 32 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Rendimento da caldeira.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 33 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério Número de fornecedores.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 34 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério Proximidade da fonte. ....</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 35 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério Dificuldade de troca do fornecedor..</i>	<i>104</i>

<i>Tabela 36 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Complexidade do equipamento.</i>	104
<i>Tabela 37 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério Localização Técnico.</i>	104
<i>Tabela 38 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério Localização das Peças.</i>	104
<i>Tabela 39 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Controle da eficiência da queima.</i>	105
<i>Tabela 40 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Custo Operacional Mensal.</i>	105
<i>Tabela 41 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério Custo Estoque de Combustível.</i>	105
<i>Tabela 42 – Limiares de Indiferenças dos Critérios do Modelo.</i>	112
<i>Tabela 43 – Diferença entre as avaliações parciais das ações potenciais GLP e GLP + gás natural.</i>	112
<i>Tabela 44 – Emissão atmosférica das Caldeiras da Unidade Itororó da Hering Têxtil S.A.</i>	122
<i>Tabela 45 – Gasto mensal com as caldeiras da Unidade Itororó da Hering Têxtil.</i>	122
<i>Tabela 46 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Segurança.</i>	137
<i>Tabela 47 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Imagem da Empresa.</i>	137
<i>Tabela 48 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Prazo de Implantação.</i>	137
<i>Tabela 49 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Investimento.</i>	137
<i>Tabela 50 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Rendimento da Caldeira.</i>	137
<i>Tabela 51 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério Número de Fornecedores.</i>	138
<i>Tabela 52 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério Proximidade da Fonte.</i>	138
<i>Tabela 53 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Dificuldade de Troca do Fornecedor.</i>	138
<i>Tabela 54 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Complexidade do Equipamento.</i>	138
<i>Tabela 55 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério Localização do Técnico.</i>	138
<i>Tabela 56 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério Localização das Peças.</i>	139
<i>Tabela 57 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Controle da Eficiência da Queima.</i>	139
<i>Tabela 58 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Custo Operacional Mensal.</i>	139
<i>Tabela 59 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério Custo do Estoque de Combustível.</i>	139

## RESUMO

As questões ambientais tem tido nos últimos anos uma importância cada vez maior na vida das empresas, influenciando diretamente na imagem percebida da empresa junto ao público consumidor. Sendo assim, para uma empresa continuar competitiva ela deve não apenas cumprir a legislação ambiental (o que seria uma restrição a sua atividade produtiva) mas passar a encarar a preservação do meio-ambiente como uma vantagem competitiva tendo em vista as restrições que certos mercados impõem a produtos que geram poluição extrema ao serem produzidos.

Concomitantemente, é difícil para a empresa medir através de modelos econômicos tradicionais o benefício (ou malefício) que uma dada ação na área ambiental trará para a empresa, visto que estes modelos tradicionais procuram medir tudo através do dinheiro. Da mesma forma modelos otimizantes, que buscam uma solução ótima para um determinado problema, como os métodos da Pesquisa Operacional, pecam ao tentar representar matematicamente valores que, no caso das questões ambientais, são eminentemente subjetivos, visto que dependem dos valores da sociedade em que se insere.

Este trabalho pretende, então, usar uma metodologia multicritérios para apoiar a decisão da escolha do combustível para a alimentação de caldeiras levando em conta não apenas fatores econômicos mas também visando atender a política ambiental de uma empresa da área têxtil. Neste sentido o que se pretende é apoiar a decisão quanto a escolha de alternativas energéticas que reduzam a níveis baixíssimos as emissões atmosféricas emitidas pelas chaminés das caldeiras de uma unidade da Hering Têxtil S.A.

## ABSTRACT

The environmental issues became very important to the organizations, influencing the business image perceived by the consumers and the society. Thus, the world class enterprises must not only accomplish the environmental laws but also to face the environmental preservation as a competitive advantage. This is true because most of the new international trade restrictions regard the quantity of waste generated in the manufacture process of an end product.

At the same time, it is very hard to a business company to evaluate by the traditional economic models the benefits brought by a “correct” environmental policy adopted by the enterprise. The traditional economic models try to measure every data in terms of money, and this approach, sometimes, is not the most adequate to deal with certain complex issues. The Operational Research is an example of these traditional approaches that fail in the handling in issues where human component is essential, like the environmental problems.

This dissertation intends to use a Multicriteria Decision Aid Methodology to support the decision of the choice of a combustible to feed boilers taking account not only economical issues but also environmental ones. The model showed in this dissertation was developed in a Textile Enterprise that concerns with the atmospheric emissions generated by the boilers operation. Then, the combustible alternative that will be chosen must reduce the company atmospheric emissions.

## INTRODUÇÃO

No ambiente globalizado e competitivo que as empresas estão vivenciando hoje em dia, não só os aspectos eminentemente econômicos e produtivos tem relevância para avaliar se determinada empresa é competitiva ou não. Cada vez mais aspectos não econômicos tem ganhado importância nas decisões tomadas pelas empresas.

Dentre estes aspectos, a preocupação ecológica tem ganho cada vez mais um destaque significativo o que tem exigido das empresas um novo posicionamento em sua interação com o meio ambiente (Donaire, 1994). O mesmo autor ressalta que “*a proteção do meio ambiente deixa de ser uma exigência punida com multas e sanções e inscreve-se em um quadro de ameaças e oportunidades, em que as conseqüências passam a poder significar posições na concorrência e a própria permanência ou saída do mercado*” (Donaire, 1994, p.70).

Neste contexto, a dimensão ambiental deixou de ser um fator exógeno à empresa passando a ser um novo condicionante interno ao processo decisório empresarial (Guimarães *et al*, 1995). Desta forma, “*as empresas bem sucedidas serão aquelas que souberem superar os estrangimentos de curto prazo e aproveitarem as oportunidades que estão surgindo*” (Guimarães *et al*, 1995, p.81). Isto porque, os diversos tratados que regulam o comércio entre as nações (como o GATT) prevêem num futuro bem próximo impor restrições aos produtos que ao serem produzidos geraram poluição e desperdício de recursos naturais em excesso (Guimarães, 1994).

Entretanto, é difícil julgar em termos de dinheiro todos os impactos ambientais de uma determinada atividade econômica (Holz, 1998). Isto porque, os contextos decisórios que envolvem aspectos ambientais são complexos. Um problema complexo é aquele que necessita um grande esforço na sua fase de estruturação porque envolve diversos atores com distintas relações de poder cada um com diferentes valores, percepções e objetivos (Churchill, 1990).

Desta forma, as abordagens Multicritérios em Apoio à Decisão (MCDA) tem como característica principal considerar que os processos decisórios são complexos: existem muitos atores, cada um com sua própria interpretação dos eventos relacionados com o problema e com seus próprios sistemas de valores (Roy e Vanderpooten, 1996). As

abordagens MCDA reconhecem os limites da objetividade, e assim levam em conta a subjetividade dos atores (Roy, 1993). Por estes motivos, esta é a abordagem a ser adotada neste trabalho.

Este trabalho tem como objetivo elaborar um modelo para auxiliar na tomada de decisão quanto a alternativa energética (combustível) a ser empregada nas caldeiras da Hering Têxtil S.A., unidade Itororó, visando cumprir as metas de política ambiental da empresa quanto a emissão atmosférica de gases. É também apresentada uma nova forma de análise de sensibilidade, baseada nas relações outranking e no conceito de limiar de indiferença.

A seguir são apresentados os passos necessários para a realização deste trabalho, bem como os resultados obtidos.



## Objetivos do Trabalho

Objetivo principal é apresentar um Modelo para auxiliar a escolha do combustível das caldeiras de uma indústria da área têxtil, visando diminuir o nível de emissões atmosféricas, utilizando-se de uma Metodologia Multicritérios em Apoio à Decisão. São seus objetivos secundários:

- Dar uma visão geral sobre as metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão, apresentando os procedimentos para a construção de um modelo seguindo esta abordagem.
- Ressaltar a importância de se realizar análise de sensibilidade quando da aplicação de modelos que tratam de problemas complexos que envolvem múltiplos atores e objetivos.
- Introduzir algumas relações outranking através da apresentação do limiar de indiferença.
- Propor um novo tipo de análise de sensibilidade utilizando-se das relações “Outranking” apresentadas no decorrer do trabalho.
- Apresentar algumas fontes de imprecisão que justificam a necessidade de se fazer análise de sensibilidade quando se usa Metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão.

## **Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em três capítulos. O capítulo 1 apresenta as Metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão, destacando os passos necessários para elaborar um modelo para o apoio à Decisão. Neste capítulo são mostrados os procedimentos para estruturação de modelos usados neste trabalho. O capítulo 2 aborda as justificativas para realizar-se análise de sensibilidade nos modelos multicritérios. São apresentados também as relações outranking e uma nova forma de análise de sensibilidade baseada nestas relações.

O capítulo 3 apresenta um caso prático de aplicação de uma metodologia Multicritérios em Apoio à Decisão, no qual se procura auxiliar na escolha do combustível para as caldeiras de uma indústria na área têxtil de Santa Catarina. Neste capítulo todas as fases para a construção do modelo são mostradas e ao final é feita uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo 4 apresenta as conclusões do trabalho e recomendações para novos trabalhos na área.

# 1. METODOLOGIAS MULTICRITÉRIOS EM APOIO À DECISÃO

O uso de múltiplos critérios não é uma simples generalização das abordagens tradicionais monocritério, mas sim constitui-se de um novo paradigma para analisar contextos decisórios e auxiliar no apoio à tomada de decisão (Bouyssou, 1989).

Uma das vantagens das abordagens multicritérios é dividir o processo de construção do modelo em duas fases diferentes (Bouyssou, 1989): a primeira ocupa-se da construção dos critérios de avaliação que serão usados no modelo e a segunda nos parâmetros que serão usados para agregação destes critérios de forma a auxiliar a decisão. Desta forma, informações como os pesos dos critérios e as funções de valor associadas a cada um deles só são calculadas na segunda fase, ao contrário do que ocorre numa abordagem monocritério onde a construção do critério único envolve também a incorporação destes parâmetros.

A abordagem multicritérios, assim, está baseada na crença de que a construção de diversos critérios de avaliação ao invés de um único influi positivamente no processo de construção de um modelo para o apoio à decisão (Bouyssou, 1989). Esta crença reside em assumir *“que na maioria dos contextos decisórios é possível identificar um pequeno número de pontos de vista (usualmente entre três e não muito mais do que dez) através dos quais é possível construir uma família de critérios que é exaustiva e simples o suficiente para ser aceita como base de discussão por todos os atores envolvidos no processo decisório”* (Bouyssou, 1989, p. 81).

Uma abordagem multicritérios ajuda a criar um modelo que reflete de maneira suficientemente estável o juízo de valores dos decisores servindo assim como uma base para discussão principalmente nos casos onde há conflitos entre os decisores ou ainda quando a percepção do problema pelos vários atores envolvidos ainda não está totalmente clara (Bouyssou, 1989).

Um problema que envolve múltiplos critérios (ou aspectos) não é um problema matematicamente bem definido; usualmente não é possível achar uma solução que otimize simultaneamente todos os critérios (Brans e Mareschal, 1990). Entretanto, um método para apoiar a decisão utilizando múltiplos critérios deve ser simples, ou seja, ter um grau de complexidade que não impeça que seja compreendido pelo tomador de decisão.

O método a ser adotado pelo facilitador não deve ser uma “caixa preta” que produza uma solução sem que o decisor compreenda como ela foi obtida (Brans e Mareschal, 1990).

O modo como lidar com “*hesitações* (de preferência por parte do decisor), *contradições e conflitos* (entre os decisores) *parece ser um pré-requisito para qualquer modelo de apoio à decisão convincente*” (Bouyssou, 1989, p. 81). Isto está ligado com o que Roy (1993) chama de atitude construtivista no apoio à decisão, em oposição a uma visão descritivista (ou realista), em que o objetivo do facilitador não é descrever o mais precisamente possível preferências do decisor, mas prover informações e ferramentas que sejam úteis para que o decisor possa tomar decisões.

Neste trabalho será utilizado um procedimento adotado por Corrêa (1996), Montibeller Neto (1996), Zanella (1996) entre outros, que consiste em separar o processo de construção de um modelo Multicritérios em Apoio à Decisão em três etapas: estruturação, avaliação e recomendações.

Na estruturação o modelo é efetivamente construído, definindo-se que aspectos vão ser considerados. Na avaliação são criadas as formas para mensurar os aspectos considerados importantes. Na fase de recomendações os resultados do modelo são analisados. A seguir são mostrados os passos adotados neste trabalho para construir um modelo multicritérios em apoio à decisão.

## 1.1 PARADIGMA DO CONSTRUTIVISMO

A via do construtivismo (Roy, 1993) considera que não existe um problema real, mas sim construído. Desta forma um determinado evento pode ser um problema para uma dada pessoa ou uma oportunidade para outra. Os eventos são reais mas a interpretação que se dá aos mesmos é eminentemente subjetiva, variando assim de pessoa a pessoa.

Com isto, a via do construtivismo contrapõe-se as outras duas outras vias identificadas por Roy (1993): a do realismo e a axiomática. A via do realismo considera que existe um problema real (que é a visão mais empregada pela Pesquisa Operacional tradicional) restando ao facilitador modelá-lo da melhor maneira possível e buscando assim uma solução ótima. Segundo Roy (apud Corrêa, 1996) esta não é uma maneira adequada para tratar problemas gerenciais porque qualquer um que adote este caminho

estará naturalmente inclinado a considerar que existe somente uma forma “correta” de estruturar um problema e que esta formulação por si só é parte de realidade, não importando os atores do processo.

Já se o facilitador incorrer na via axiomática, estará procurando por normas para prescrever. Desta forma, o que se procura é encontrar um procedimento ideal que ao ser encontrado servirá para tratar todos os problemas. Dentro do contexto de um problema gerencial, onde se deseja combinar diversos elementos, agregar pontos de vista conflitantes, a via axiomática procura transcrever em termos formais estas demandas, de maneira a ser possível investigar conseqüências lógicas (Corrêa, 1993). Entretanto este caminho também não é o mais indicado porque em diversas situações é difícil fazer uma ligação entre a realidade de uma decisão e uma definição formal expressa dentro de um contexto abstrato.

Como neste trabalho empregaremos a via construtivista, utilizar-se-á muitas vezes o conceito de contexto decisório ao invés do de problema, por ser aquele um conceito mais abrangente, pois nem sempre uma situação onde se deve tomar uma decisão é um problema. *“Cada ator tem sua própria visão subjetiva do contexto decisório”* (Eden, 1989). Não existe um problema real, mas sim construído pelos atores do processo decisório.

Finalmente, ao seguir a via do construtivismo o que se objetiva é produzir conhecimento sobre um determinado contexto decisório e não encontrar uma solução ótima. O processo decisório que segue a via construtivista tem como resultado recomendações a respeito de como agir de forma a melhor alcançar os objetivos dos atores e não prescrições rígidas de como o decisor deve atuar. Desta forma, a via do construtivismo é a base para a ciência do apoio à decisão (Roy, 1993).

## 1.2 O SISTEMA DO PROCESSO DE APOIO À DECISÃO

*“Um processo de apoio à decisão é um sistema aberto de que são componentes os atores e os seus valores e objetivos, e as ações e as suas características. A atividade de apoio à decisão pode então ser vista como um processo de interação com*

*uma situação problemática 'mal estruturada' onde os elementos e as suas relações emergem de forma mais ou menos caótica'* (Bana e Costa, 1995b, p. 1).

Sobre este enfoque, a atividade do apoio à decisão tratada neste trabalho não procura modelar uma realidade exterior e preexistente. Ela insere-se no processo de decisão e visa a construção de uma estrutura compartilhada pelos intervenientes (fase de estruturação) partindo depois para a elaboração de um modelo de avaliação (fase de avaliação), seguindo uma abordagem interativa, construtivista e de aprendizagem, sem assumir um posicionamento otimizador e normativo (Bana e Costa, 1995b).

Assim, no sistema do processo de apoio à decisão surgem dois sub-sistemas que se inter-relacionam, que são o sistema dos atores e o sistema das ações. É da interação entre estes dois sub-sistemas que emergirá uma nuvem de elementos primários de avaliação (Figura 1). Alguns, como os objetivos (fins a atingir) dos atores tem uma natureza intrinsecamente subjetiva (relativa ao sujeito), porque são próprios aos sistemas de valores dos atores (Bana e Costa, 1995b). Outros como as características das ações tem uma natureza de base objetiva (relativa ao objeto).

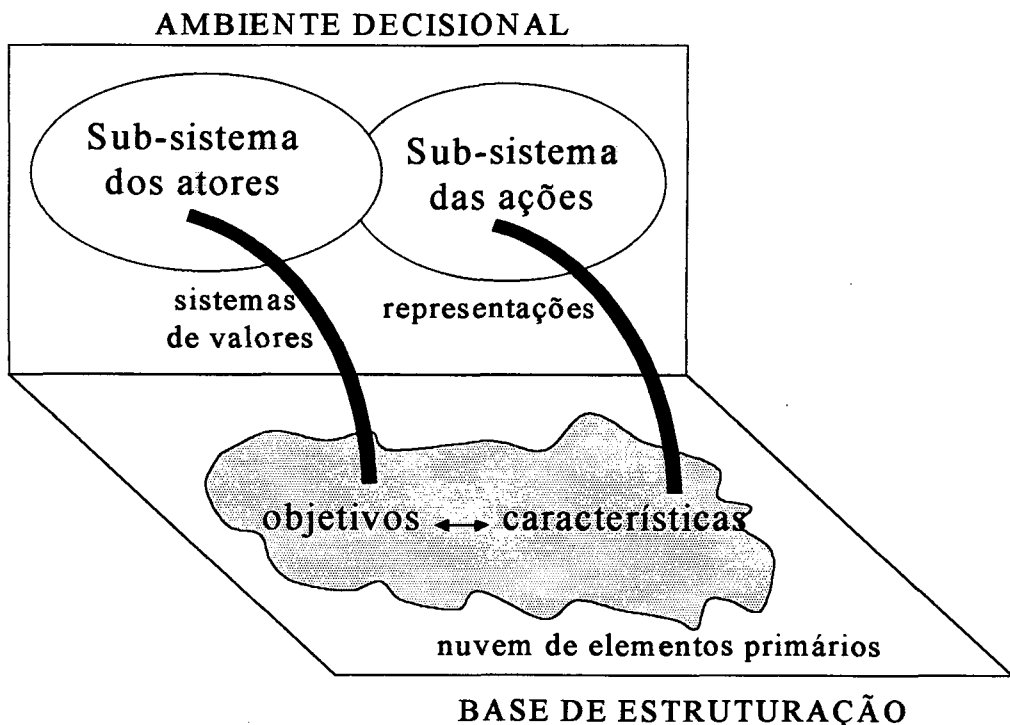
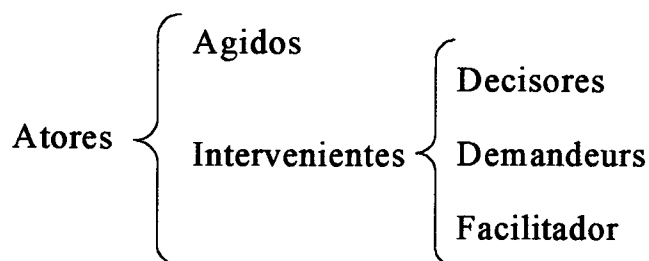


Figura 1 – Sistema do processo de apoio à decisão (Bana e Costa, 1995b).

### 1.2.1 O Subsistema dos Atores

Os atores (“stakeholders” na literatura inglesa) são as entidades implicadas, direta ou indiretamente, no processo de tomada de decisão (Bana e Costa, 1995b). A forma como os atores influenciam a tomada de decisão é ditada pelos sistemas de valores que representam e defendem. São os valores de um ator que condicionam a formação de seus objetivos, interesses e aspirações, os quais são muitas vezes imprecisos, instáveis e expostos a conflitos internos (Bana e Costa, 1995b). Assim, *“um indivíduo ou um grupo de indivíduos é um ator de um processo decisório se, por seu sistema de valores, ele influencia direta ou indiretamente na decisão”* (Roy *apud* Montibeller Neto, 1996, p. 24).



**Figura 2 – Classificação do subsistema dos atores (adaptado de Montibeller Neto, 1996).**

Desta, em termos de suas funções no processo de decisão os atores podem ser classificados em (Bana e Costa, 1995b) (Figura 2):

- **Agidos:** São todos aqueles que sofrem de forma passiva as conseqüências de uma decisão. Os agidos caracterizam-se por não possuir voz ativa no processo decisório, porém podem influenciar indiretamente na decisão (Bana e Costa, 1995b);
- **Intervenientes:** Os atores intervenientes podem ser indivíduos ou coletividades que por sua intervenção direta condicionam a decisão em função de seus sistemas de valores. Em suma, são os atores que efetivamente participam do processo decisório, influenciando decisivamente no seu processo. Os atores intervenientes podem ainda ser classificados em (Bana e Costa, 1995b):
  - **Decisor:** É aquele a quem foi formalmente ou moralmente delegado o poder de decisão. Os decisores são os atores intervenientes que têm o poder e a responsabilidade de ratificar a decisão e assumir as conseqüências da mesma, sejam elas positivas ou negativas;

- “Demandeurs”: É aquele ator incumbido pelo decisor de representá-lo no processo de apoio à decisão. Neste caso não ocorre um relacionamento direto entre o facilitador e o decisor, sendo então o “demandeur” um intermediário;
- Facilitador: É um consultor externo que, adotando uma metodologia explícita e mais ou menos formal, vai auxiliar os intervenientes a tomar uma decisão. Segundo Bana e Costa (1995b), o facilitador também é considerado um ator interveniente porque ele nunca é neutro no processo, tendo um grau variável de ingerência no processo de decisão.

### 1.2.2 O Subsistema das Ações

Uma ação pode ser definida como *“uma representação de uma eventual contribuição à decisão global, susceptível, face ao estado de avanço do processo de decisão, de ser tomada de forma autônoma e de servir de ponto de aplicação à atividade de apoio à decisão”* (Bana e Costa, 1995b, p. 15).

Ações potenciais são ações viáveis passíveis de serem analisadas por um modelo multicritérios em apoio à decisão (Roy apud Bana e Costa, 1995b). Elas podem ser reais ou fictícias. As reais são aquelas ações potenciais que efetivamente existem e as fictícias são ações criadas para facilitar o entendimento e aumentar o aprendizado proporcionado pela aplicação de um modelo de avaliação construído através de metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão.

### 1.2.3 Interpenetrabilidade de Elementos Subjetivos e Objetivos

Uma metodologia de apoio à tomada de decisão deve suportar a subjetividade inerente ao processo decisório, atuando desta forma como um instrumento que vai servir para promover a comunicação entre os atores e para a elaboração e justificação dos julgamentos de valor feitos por estes.



Um processo de decisão é um sistema de relações entre elementos subjetivos (próprios dos sujeitos ou atores) e elementos objetivos (próprios das ações). Tal sistema é indivisível e portanto, não se pode negligenciar nem os aspectos subjetivos nem objetivos do processo decisório. Assim, a intervenção do facilitador não pode ser regida por um desejo de descrição de uma realidade totalmente objetiva, supostamente desligada do sistema de valores dos atores envolvidos (Corrêa, 1996). “*Se é verdade que a procura da objetividade é uma preocupação importante, é crucial não esquecer que a tomada de decisão é antes de tudo uma atividade humana, sustentada na noção de valor, e que, portanto, a subjetividade esta onipresente e é o motor da decisão*” (Bana e Costa, 1995b, p. 23).

### 1.3 PROBLEMÁTICAS TÉCNICAS DE APOIO À AVALIAÇÃO

Durante a fase de estruturação de um modelo Multicritérios em Apoio à Decisão, o facilitador e os demais atores podem deparar-se com uma série de dúvidas com relação à avaliação das ações potenciais. Assim, ao se considerar o conjunto de ações potenciais, tanto reais como fictícias, o que o decisor pretende (Bana e Costa, 1995b):

- avaliar as ações em termos relativos ou absolutos?
- ordenar as ações por ordem de preferência?
- escolher uma ação ou um conjunto de ações?

A resposta a estas questões envolve o estudo das Problemáticas Técnicas da Avaliação. Neste trabalho, será dada ênfase às problemáticas de avaliação absoluta e relativa. Esta nomenclatura é empregada por Bana e Costa que baseando-se nos estudos da psicologia cognitiva, mostra que podem existir duas formas distintas de julgamentos de valor: os absolutos e os relativos. Assim, para Bana e Costa (1995b), as noções de ‘melhor’ e de ‘pior’ têm um caráter *relativo*; as de ‘bom’ e de ‘mau’ são noções *absolutas*. A diferenciação entre estas duas formas de avaliação será melhor explicada no decorrer desta seção.

O objetivo desta seção é apenas dar uma visão geral sobre o assunto. Este assunto é abordado com mais profundidade nos trabalhos de Roy (1981), Bana e Costa (1995b) e Zanella (1996).

### 1.3.1 Problemática da Avaliação Absoluta

Segundo Bana e Costa, “*adotar uma problemática de avaliação absoluta* (grifo do autor) *consiste em orientar o estudo no sentido de obter informação sobre o valor intrínseco de cada ação com referência a uma ou várias normas. Cada ação potencial é comparada, independentemente de qualquer outra ação, com standards (padrões) de referência pré-estabelecidos*” (Bana e Costa, 1995b, p.26). Para este tipo de avaliação, também chamada de Problemática da Triagem, usa-se a notação  $P.\beta$  (Roy, 1981). Neste tipo de avaliação, o que se procura fazer é a “escolha de todas as boas ações” (Jacquet-Lagrèze, 1985).

Nesta problemática, realiza-se uma classificação das ações em categorias, sendo que cada ação deve pertencer a uma e apenas uma categoria. As categorias devem ser definidas com normas estabelecidas a priori, ou seja, as regras para uma determinada ação pertencer a uma categoria devem ser estabelecidas independentemente das ações e sem depender da definição das demais categorias (Figura 3). É uma classificação intrínseca.

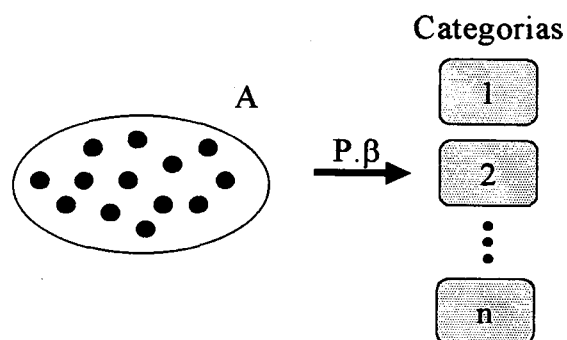


Figura 3 – Ilustração da Problemática da Avaliação Absoluta (adaptada de Zanella, 1996).

### 1.3.2 Problemática da Avaliação Relativa

“A *problemática de avaliação relativa* consiste em comparar as ações de  $A$  (conjunto das ações potenciais) *diretamente umas com as outras em termos dos seus méritos relativos*”(Bana e Costa, 1995b). Nesta problemática, o que queremos é escolher a melhor ou as melhores ações dentre aquelas analisadas ou, ainda, ordenar na forma de um ranking parcial ou total as ações, levando em conta as preferências do decisor, de maneira a facilitar a escolha de algumas ações entre as melhores (Jacquet-Lagrèze, 1985).

Na problemática da avaliação relativa o que se procura é de acordo com atributos comuns à todas as ações, obter informações do valor relativo de cada ação em relação à cada uma das outras ações. Ou seja, o que se faz é comparar as ações potenciais entre si e assim, escolher a melhor delas (Problemática da Escolha,  $P.\alpha$ ) ou ordená-las de forma decrescente, da melhor para a pior (Problemática da Ordenação,  $P.\gamma$ ), de acordo com o julgamento do decisor (Roy, 1981).

### 1.3.3 Problemática da Escolha, $P.\alpha$

A problemática da escolha,  $P.\alpha$ , é considerada a mais clássica das problemáticas, “*talvez porque em grande parte dos processos busca-se, na decisão final, uma escolha*” (Zanella, 1996, p.65). Mas esta escolha pode ser tanto de uma ação como de um conjunto de ações incomparáveis ou equivalentes (Jacquet-Lagrèze, 1985), conjunto este o mais restrito possível. Usualmente chamamos  $A'$  o sub-conjunto de  $A$  (conjunto das ações potenciais viáveis) que contem a melhor ou melhores ações.

Quando o sub-conjunto  $A'$  é composto por mais de uma ação, ou seja, existe não apenas uma melhor ação, mas sim várias, estas ações foram escolhidas por um dos seguintes motivos (Roy, 1981):

- ou elas eram equivalentes no modelo;
- ou eram incomparáveis por causa da imprecisão dos dados;
- ou ainda eram as melhores em relação a diferentes sistemas de valores (isto pode ocorrer quando existe mais de um decisor envolvido na construção do modelo).

A Figura 4 ilustra esquematicamente a problemática da escolha, onde  $A$  é o conjunto de ações potenciais e  $A'$  é o conjunto de ações consideradas como melhores (que pode ser composto por uma ou mais ações).

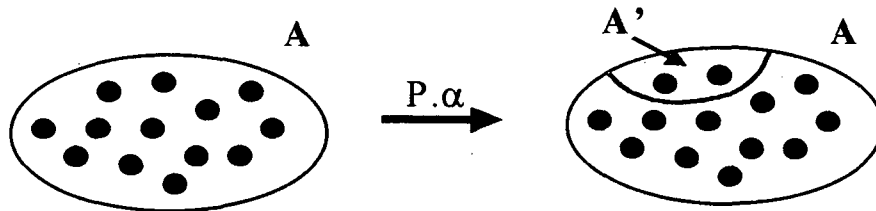


Figura 4 – Ilustração da Problemática da Escolha (adaptada de Zanella, 1996).

#### 1.3.4 Problemática da Ordenação, $P.\gamma$

A problemática da ordenação consiste em ordenar as ações levando em conta uma ordem de preferência decrescente ou através da elaboração de um método de ordenamento (Roy, 1981). “Portanto, a problemática da ordenação se traduz por uma atividade de auxílio a ordenação das ações através da comparação entre elas, tendo em vista o modelo de preferência dos decisores, agrupando-se as ações consideradas ‘equivalentes’ em uma mesma classe e definindo uma estrutura de ordem entre estas classes” (Zanella, 1996, p.73).

Os critérios para proceder a ordenação devem ser um reflexo da superioridade, importância, prioridade ou preferência que o decisor atribui a cada ação do conjunto  $A$ , que é o conjunto das ações potenciais viáveis (Roy, 1981).

Não se deve confundir esta problemática com a da avaliação absoluta. Embora as duas possam classificar as ações em categorias, na avaliação absoluta as categorias são definidas *a priori*, ou seja, cada categoria é definida por uma série de normas *independentes* das ações. Já na problemática da ordenação o significado de cada categoria é apenas relativa, pois depende de sua posição no ordenamento. Ou seja, as ações são comparadas entre si e de acordo com esta comparação, que é *dependente* das ações analisadas, são enquadradas em categorias de ações equivalentes.

### 1.3.5 Problemática Técnica da Rejeição Absoluta, $P.\beta^0$

Outra problemática importante é a da Rejeição Absoluta. Esta problemática é apresentada por Bana e Costa (1995b) e recebe a notação de  $P.\beta^0$ . Ela é um caso particular de triagem onde o decisor define regras que, se não cumpridas pelas ações, as eliminam do conjunto A, que é o conjunto das ações viáveis (Zanella, 1996).

Um conceito importante é o de **critério de rejeição**, que é todo critério de avaliação que poderá levar uma determinada ação a ser eliminada do processo decisório caso não apresente uma performance igual ou superior a um determinado padrão (Bana e Costa *et al.*, 1995). Esta problemática está esquematizada na Figura 5.

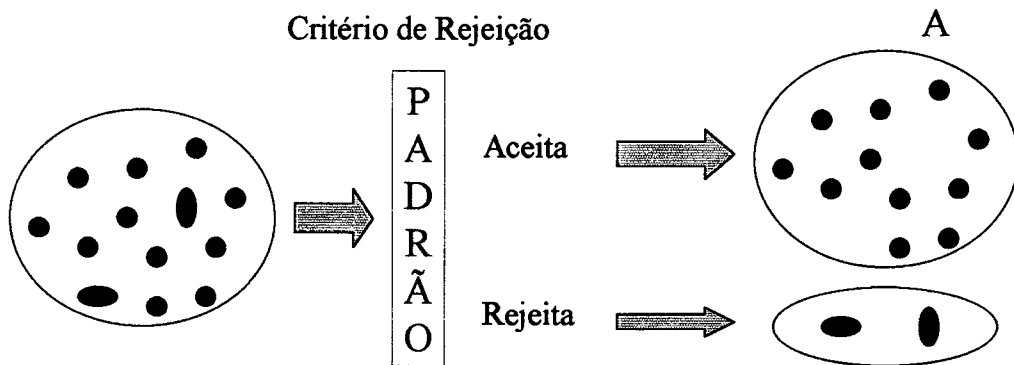


Figura 5 – Ilustração da Problemática Técnica da Rejeição Absoluta (adaptada de Zanella, 1996).

## 1.4 ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO

A definição dos Elementos Primários de Avaliação em conjunto com o decisor (decisores) é muito importante para a construção dos mapas cognitivos (seção 1.5). Segundo Keeney (1992), os elementos primários de avaliação são aspectos que o decisor leva em conta para tomar decisões.

Os EPA's são conseguidos através de "brainstorming" onde o decisor é incentivado a citar os aspectos que ele leva em conta ao analisar o contexto decisório em questão. Para auxiliar o decisor na formulação de EPA's o facilitador pode fazer questionamentos, como (Keeney, 1994):

- Que aspectos são importantes quando você analisa este contexto decisório?
- Quais as características de uma ação potencial ideal com relação a este contexto decisório?
- Quais as características de uma ação potencial anti-ideal (ruim) com relação a este contexto decisório?

A elaboração de uma lista de EPA's termina quando o decisor começa a repetir conceitos ou quando o facilitador julgue os EPA's serem em número suficiente (normalmente superior a dez).

## 1.5 MAPAS COGNITIVOS

Um mapa cognitivo é *“uma representação gráfica de um conjunto de representações discursivas feitas por um sujeito a respeito de um objeto no contexto de uma interação particular”* (Cossete e Audet, 1992). É uma representação gráfica, construída pelo facilitador, do que foi falado por um sujeito sobre um determinado assunto. Não é objetivo do mapa cognitivo representar exatamente o que está na cabeça do decisor e sim fazer com que, através de uma representação gráfica, o decisor possa compreender melhor o seu contexto decisório. Isto é possível na medida em que o mapa permite que o decisor visualize as relações de influência entre os vários aspectos considerados por ele ao refletir sobre um determinado contexto decisório.

O mapa cognitivo é uma representação cognitiva quádrupla defasada no tempo das representações mentais de um determinado ator sobre um problema ou contexto decisório (Montibeller Neto, 1996). É, assim, uma representação gráfica das representações mentais que o facilitador faz emergir das representações discursivas formuladas pelo sujeito sobre um objeto (problema) e esboçadas utilizando a sua (do facilitador) reserva mental de representações mentais (Cossete e Audet, 1992).

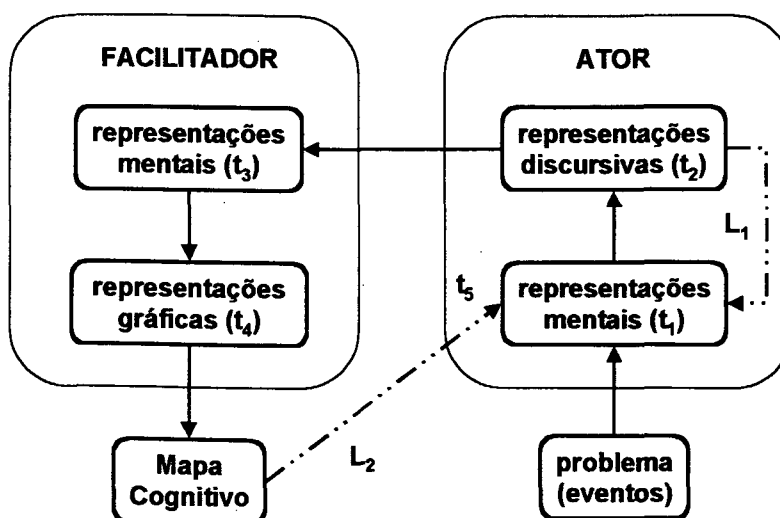


Figura 6 – Representação cognitiva quádrupla do mapa cognitivo (Montibeller Neto, 1996).

A Figura 6 mostra o que vem a ser a representação cognitiva quádrupla proporcionada pelos mapas cognitivos. Na elaboração dos mapas, as representações mentais do ator sobre o problema (eventos) no momento  $t_1$  vão gerar as representações discursivas proferidas no momento  $t_2$  (que irão influenciar na sua maneira de pensar, como é representado pela linha  $L_1$ ). As representações discursivas do ator vão produzir no facilitador representações mentais sobre o problema no momento  $t_3$  que vão gerar representações gráficas no momento  $t_4$ . São estas representações gráficas que vão permitir a construção do mapa cognitivo, que por sua vez irá influenciar novamente o pensamento do ator sobre o problema e desta forma modificar suas representações mentais no momento  $t_5$  (como é representado pela linha  $L_2$ ) (Ensslin *et al*, 1997, Montibeller Neto, 1996).

Como consequência deste processo, as representações mentais do ator no momento  $t_1$  (e que estão representadas no mapa) já não refletem inteiramente suas representações no momento  $t_5$  (na medida em que as representações mentais do ator foram influenciadas via  $L_1$  e  $L_2$ ). Este processo evidencia a característica reflexiva do mapa cognitivo, que permite gerar conhecimento ao ator sobre o seu problema.

Desta forma, o mapa cognitivo é uma “*ferramenta que auxilia a pensar sobre problemas de tal forma complexos que o autor dificilmente conseguiria um nível tão sofisticado de definição sobre eles sem seu uso*” (Montibeller Neto, 1996, p. 71).

### 1.5.1 Estrutura do Mapas Cognitivos

A estrutura de mapa cognitivo usada neste trabalho é aquela proposta por Eden (*apud* Montibeller Neto, 1996). Nesta estrutura, cada bloco do mapa representa um constructo (ou conceito), com um pólo presente (isto é, um rótulo definido pelo ator para descrever uma situação presente); e um pólo oposto (um rótulo que representa o oposto psicológico do pólo presente). Os dois rótulos são ligados pelo símbolo “...” (lido como “ao invés de”). Os rótulos (tanto o do pólo presente quanto o do oposto) devem ser orientados a ação (Ensslin *et al*, 1997, Ackermann *et al*, 1995), ou seja, devem conter um verbo que oriente a ação, como será visto mais adiante nesta seção.

No mapa proposto por Eden, os conceitos tem relações causais (mostradas através de setas entre os conceitos). Cada seta tem um sinal positivo ou negativo para mostrar a direção do relacionamento. Um sinal positivo sobre a seta indica que o pólo presente do conceito  $C_1$  leva ao pólo presente de  $C_2$  (Figura 7.a). Um sinal negativo sobre a seta representa que o pólo presente de  $C_1$  leva ao pólo oposto de  $C_2$  (Figura 7.b).

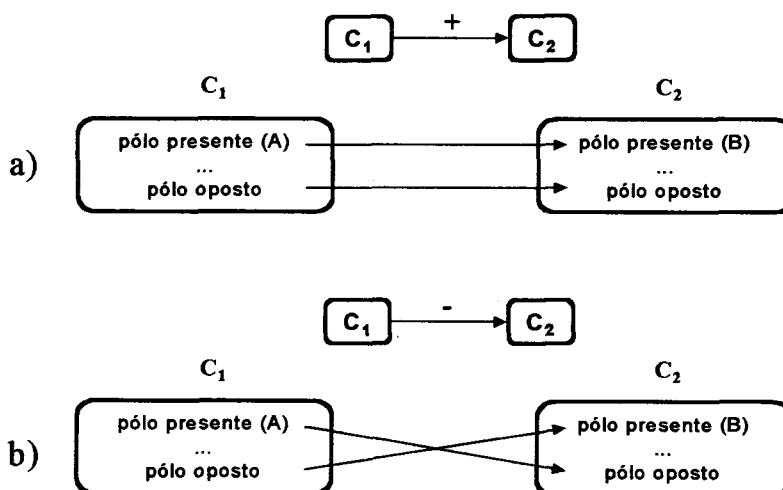


Figura 7 – Relacionamentos entre os conceitos de um mapa cognitivo (Ensslin *et al*, 1997)

Na estrutura de mapa usada neste trabalho, assume-se que as ligações entre os conceitos mostram apenas uma ligação de influência (uma variação no conceito  $C_1$  é uma condição necessária mas não suficiente para variar o conceito  $C_2$ ) ou de possível influência, lembrando que uma variação no conceito  $C_1$  não é nem necessária nem



suficiente para causar uma variação no conceito  $C_2$  (Cossete e Audet, 1992; Montibeller Neto, 1996).

Segundo Cossete e Audet (1992), estas relações podem ser ainda de dois tipos (Figura 7):

- meios-fins:  $C_1$  é considerada um meio para alcançar um fim  $C_2$ .
- causa-efeito:  $C_1$  é considerada como uma causa, algo que repercute um efeito em  $C_2$ .

Neste trabalho, considera-se que a relação mais comum entre os conceitos é a de possível influência entre conceitos que representam meios-fins (Ensslin et al., 1997; Montibeller Neto, 1996).

### 1.5.2 Construção dos Mapas Cognitivos

O processo para construção dos mapas cognitivos expostos neste trabalho foi proposto por Montibeller Neto (1996). O primeiro passo no processo de construção de um mapa cognitivo é definir um rótulo para definir o problema. Após isto, a partir de uma lista de Elementos Primários de Avaliação (seção 1.4) escolhe-se um deles para iniciar o processo de elaboração do mapa. Em seguida, deve-se orientar este EPA a ação e questionar o decisor sobre o seu pólo oposto (um exemplo prático de construção de mapa é mostrado na seção 3.2). Nem sempre é fácil para o decisor conseguir expressar o oposto psicológico. Quando isto ocorre, o melhor é prosseguir na construção do mapa retornando para definir o pólo oposto quando o decisor se sentir mais a vontade (Montibeller, 1996). O conceito assim obtido deve ter no máximo 12 palavras (Ackermann *et al*, 1995).

Estando definido o primeiro conceito ( $C_1$ ) do mapa, o próximo é conseguido questionando o decisor: “Porque  $C_1$  é importante?”. Obtêm-se assim o pólo presente. O facilitador deve orientar a ação a resposta dada pelo decisor e perguntar pelo pólo oposto. O pólo oposto (oposto psicológico) é necessário para representar um conceito, deixando-o completo. Com a resposta a este questionamento define-se o segundo conceito do mapa e continua-se o processo até se chegar nos fins, valores e objetivos do decisor. Desta maneira estamos indo na direção dos “fins”. Para irmos na direção dos “meios” do mapa, questionamos o decisor: “Como se pode fazer para alcançar  $C_1$ ?”. Desta maneira procede-

se seguidamente o processo até encontrar-se os meios (ou ações) que o decisor julga que permitem que ele alcance seus objetivos (Ensslin et al., 1997).

### 1.5.3 Mapas Cognitivos e Grupos

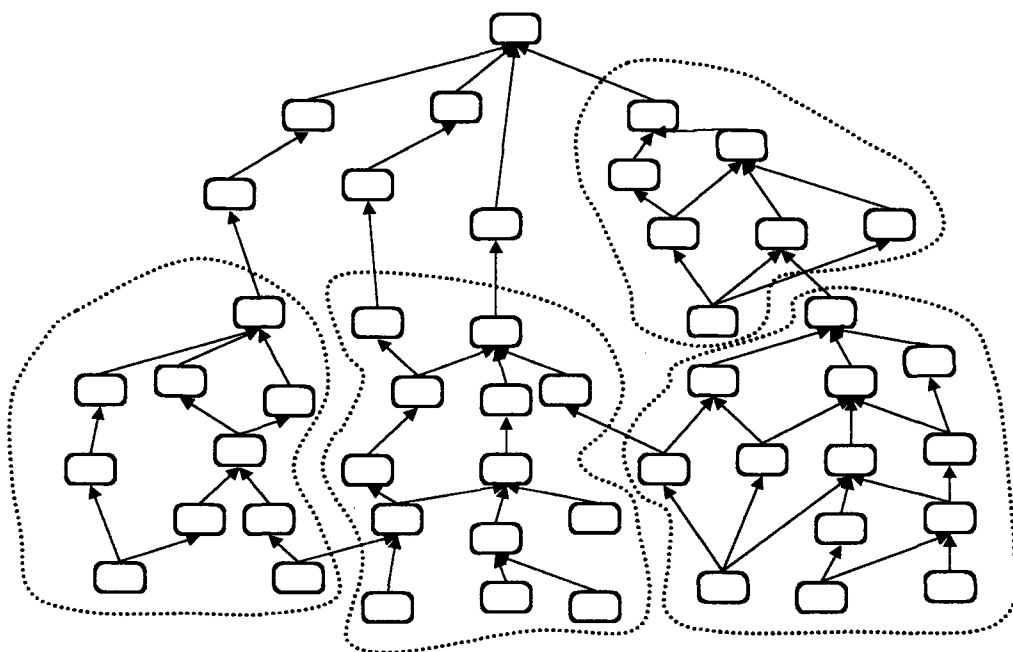
A construção de um mapa cognitivo com um grupo de atores (decisores) é uma representação de como o grupo percebe e entende o seu problema. Existem usualmente duas abordagens para a construção de mapas em grupo: a primeira prega que o mapa deve ser feito em conjunto com todos os decisores simultaneamente e a segunda advoga que é melhor fazer-se mapas individuais e depois agrupá-los.

Neste trabalho utiliza-se a abordagem defendida por Montibeller Neto (1996), que é a de se fazer mapas individuais e depois agrupá-los pois desta forma permite-se que todos os membros do grupo tenham uma participação igualitária na sua construção, evitando que relações de poder no grupo inibam certos componentes de ter uma atuação mais ativa.

Desta forma, após terem sido elaborados os mapas individuais, os mesmos são agrupados através de conceitos comuns. No caso dos mapas terem uma complexidade muito grande, ou seja, possuírem um número elevado de conceitos e ligações entre eles, é aconselhável dividir, antes de tudo, os mapas individuais em “clusters”.

Um “cluster” é um conjunto de conceitos do mapa cujas ligações intra-componentes (dentro do próprio “cluster”) são mais fortes que aquelas ligações inter-componentes, ou seja, as ligações com conceitos que não pertencem ao “cluster” (Montibeller Neto, 1996). O “cluster” pode ser encarado como um conjunto de conceitos que tratam de um mesmo aspecto ou área de interesse.

A Figura 8 ilustra um mapa com 4 “clusters” identificados. É importante salientar que a divisão dos “clusters” não é rígida, pois é comum acontecer de um mesmo conceito pertencer a mais de um “cluster” (Ensslin *et al.*, 1997).



**Figura 8 – “Clusters” de um mapa cognitivo (adaptada de Montibeller Neto, 1996).**

Estando divididos os mapas individuais em “clusters” a agregação dos mapas individuais é feita através deles, aglutinando conceitos comuns e juntando conceitos que aparecem em um mapa mas não aparecem em outros. Isto é possível porque, embora existam muitos conceitos diferentes entre os atores, há também um grande número de conceitos similares no grupo (Eden, 1985).

O mapa resultante desta agregação é chamado “mapa agregado” (Montibeller Neto, 1996) e deve ser preparado somente pelo facilitador sem a presença dos decisores. Este mapa é depois apresentado aos decisores, que devem validá-lo acrescentando e reformulando conceitos e ligações. O mapa validado pelos decisores é chamado por Montibeller Neto (1996) de “mapa congregado”. Este mapa procura ser a representação de como o problema (contexto decisório) é percebido pelos decisores.

#### **1.5.4 Análise dos Mapas Cognitivos**

Uma das análises mais importantes em relação à complexidade dos mapas cognitivos é a da determinação dos “clusters” (Corrêa, 1996). Eden (*apud* Corrêa, 1996) afirma que é provável que os “clusters” formados no mapa, assim como as suas inter-

relações, formem um resumo do mapa como um todo, indicando áreas de interesse do problema.

O objetivo de se fazer a análise do mapa é, além de conhecer melhor o que os decisores pensam sobre o seu problema, identificar candidatos a pontos de vista fundamentais (que serão vistos na próxima seção). Entretanto, (Montibeller Neto, 1996, p.130) “*a transição de um mapa cognitivo para uma árvore (conjunto) de pontos de vista fundamentais não é uma tarefa nem simples nem fácil. Os mapas têm estruturas diferentes das árvores (de pontos de vista fundamentais)*”.

Assim, não existe uma regra geral que permita uma passagem tranquila do mapa para os pontos de vista fundamentais, constituindo-se esta tarefa mais numa arte do que numa ciência. Neste trabalho procurou-se identificar os possíveis candidatos a pontos de vista fundamentais através de uma apurada análise dos “clusters” (Montibeller Neto, 1996).

## 1.6 PONTOS DE VISTA FUNDAMENTAIS

Ponto de vista segundo é Bana e Costa (1995a, p.7) “*todo os aspecto da realidade que um ator (pessoa ou organização) considera como importante para escolher entre as várias alternativas (de um contexto decisório)*”. Entretanto, na presença de múltiplos decisores o número de pontos de vista pode crescer de tal maneira que impossibilite qualquer tipo de análise.

Assim, segundo Montgolfier (apud Bana e Costa, 1995a), os pontos de vista a serem considerados deverão ser em uma quantidade tal que mantenha a comparação entre eles praticável e, ao mesmo tempo, não devem ser tão poucos que levem a negligenciar fatores importantes e interesses fundamentais dos atores. Com isto, dentro do processo de estruturação do problema, as características das ações e os objetivos dos atores unem-se na definição de ponto de vista (Corrêa, 1996).

Bana e Costa (apud Corrêa, 1996) acrescenta ainda a necessidade de distinguir entre Ponto de Vista Fundamental (PVF) e Ponto de Vista Elementar (PVE). Um ponto de vista fundamental reflete um aspecto essencial apontado pelo decisor, ou seja, representa um aspecto mais “fim”. Já os pontos de vista elementares são os meios para se

alcançar pontos de vista fundamentais, isto é, são os aspectos mais complementares que auxiliam a definir os aspectos mais fins. Desta forma, muitas vezes diversos pontos de vista elementares formam um ponto de vista fundamental, ou seja, o PVF representa um fim comum para o qual contribuem diversos valores mais elementares (Corrêa, 1996).

### 1.6.1 Propriedades dos Pontos de Vista Fundamentais

Os pontos de vista para serem considerados fundamentais devem cumprir isoladamente quatro propriedades (Bana e Costa *apud* Montibeller Neto, 1996):

- **Inteligibilidade:** um ponto de vista fundamental deve ser definido de tal forma que permita o perfeito entendimento pelos atores de seu significado, desta forma servindo como base de comunicação, argumentação e confrontação de valores e convicções entre os atores;
- **Consensualidade:** esta propriedade reflete a necessidade de um ponto de vista fundamental ser aceito como suficientemente importante para influenciar a decisão por todos os atores. Só assim um determinado ponto de vista é levado em conta para ser utilizado num modelo de apoio à decisão;
- **Operacionalidade:** para que um PVF seja operacionalizável ele deve permitir que seja construído um descritor (seção 1.7) que o represente. Também deve admitir que ao descritor possa ser associado uma função de valor (seção 1.8) e também permitir que se consiga avaliar as ações através da construção de indicadores de impacto (seção 1.11);
- **Isolabilidade:** um ponto de vista fundamental é considerado isolável se é possível avaliá-lo considerando todos os demais PVFs constantes (ou seja, não há relações de dependência preferencial entre os PVFs). Esta propriedade define, assim, a possibilidade da independência de julgamentos locais o que é primordial num modelo multicritérios de apoio à decisão que utiliza uma fórmula de agregação aditiva (seção 1.12).

### 1.6.2 Propriedades de uma Família de Pontos de Vista Fundamentais

Em uma abordagem multicritérios, existe um conjunto de pontos de vista fundamentais que vão ser utilizados para avaliar as ações existentes (ou que poderão vir a ser construídas). Assim, para que este conjunto seja adequado para os fins propostos, deve obedecer a uma série de propriedades tornando-se assim uma **família de pontos de vista**. Portanto, uma família de pontos de vista é um conjunto de PVFs que respeita certas propriedades exigidas pela metodologia, propriedades estas, que vão tornar possível a agregação de todas as avaliações parciais em uma avaliação global das ações potenciais (Corrêa, 1996).

Desta forma, Roy (apud Lima, 1997) considera que uma família de pontos de vista fundamentais devem ter as seguintes propriedades:

- **Compreensibilidade:** é essencial que a família de pontos de vista fundamentais seja concebida de tal forma que torne-se compreensível por todos os usuários do modelo;
- **Consensualidade:** é essencial que a família de PVFs seja concebida de tal forma que produza o maior consenso possível entre os usuários do modelo;
- **Aceitabilidade:** uma família de PVFs deve ser aceita por todos aqueles que fazem parte do processo decisório;
- **Exaustividade:** deve-se monitorar cuidadosamente para que não ocorra que duas ações sejam pontuadas pelo modelo da mesma forma (consideradas indiferentes), embora sejam consideradas, por alguma razão, passíveis de serem consideradas diferenciadas pelo decisor (uma mais atrativa que outra);
- **Coesividade:** deve existir uma compatibilidade entre o papel que cada PVF tem quando considera-se as preferências do decisor em torno de determinado eixo (objetivo), e o papel mais amplo que a família de PVFs exerce quando integra todas as conseqüências das preferências como um todo;
- **Não-redundância:** evitar que dois PVFs avaliem simultaneamente os mesmos aspectos. Assim, nenhum dos PVFs é considerado redundante se deixando fora um dos PVFs formaria uma família que não satisfaria uma ou duas das propriedades anteriores.

### 1.6.3 Transição de Ponto de Vista Fundamental para Critério de Avaliação

Neste trabalho os eixos de avaliação (aspectos considerados relevantes pelos decisores ao avaliarem as ações potenciais) serão chamados de pontos de vista fundamentais até serem operacionalizados, quando então passarão a ser chamados de critérios de avaliação. A transição de pontos de vista fundamentais para critérios ocorre quando aqueles se tornam operacionais, ou seja mensuráveis. Isto acontece quando se constrói descritores para os pontos de vista fundamentais (vide seção 1.7).

Assim, critério é uma variável real que permite expressar matematicamente um ponto de vista (Bana e Costa, 1995a). É também uma ferramenta que permite comparar alternativas de acordo com um particular eixo de avaliação ou ponto de vista (Roy apud, Bouyssou, 1990). Mais precisamente, um critério “*é uma função real no conjunto  $A$  de alternativas de tal forma que se torna significativo comparar duas alternativas  $a$  e  $b$  de acordo com um particular ponto de vista somente baseando em dois números  $g(a)$  e  $g(b)$* ” (Bouyssou, 1990, p.59). Na definição acima,  $g(a)$  e  $g(b)$  são as avaliações parciais de duas ações num critério (vide seção 1.8).

## 1.7 DESCRITORES

O descritor é um conjunto de níveis de impacto utilizado para descrever as possíveis conseqüências das ações potenciais segundo um determinado Ponto de Vista (Bana e Costa *et al.*, 1995). Adotando uma postura construtivista, nada garante que um descritor de um critério de avaliação seja único, nem que ele seja suficientemente adequado (ou o mais adequado para aquela situação) para medir o impacto das ações (Lima, 1997).

O descritor deve buscar apenas satisfazer os decisores quanto a forma de avaliar as ações potenciais segundo os seus valores. O descritor mede, assim, o grau em que um determinado objetivo do decisor é alcançado (Keeney, 1992).

### 1.7.1 Tipos de Descritores

Segundo Keeney (1992), são três os tipos de descritores: os naturais, os “proxy” (ou indiretos) e os construídos (Figura 9)

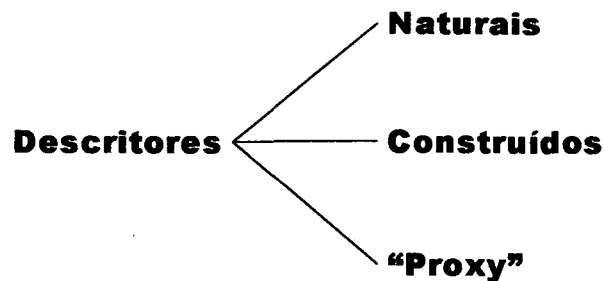


Figura 9 – Tipos de Descritores

Os **descritores naturais** são *“aqueles que tem uma interpretação comum a todos”* (Keeney, 1992, p.101). Assim no caso de se medir um custo, um descritor natural é o custo medido em número de unidades monetárias. Através de um descritor deste tipo, se faz a medição direta do quanto um objetivo foi alcançado, por isto deve-se utilizar sempre que possível um descritor deste tipo. Caso não seja possível, existem ainda os outros dois tipos de descritores, que são os construídos e os “proxy”.

Um **descritor construído** é aquele que é desenvolvido especificamente para um dado contexto decisório. Assim, se quisermos medir aspectos qualitativos, como “melhorar a imagem da empresa” ou “aumentar o prestígio internacional de um país” devemos usar de um descritor construído especificamente para aqueles fins. Um descritor deste tipo envolve características eminentemente subjetivas, difíceis de quantificar através de números.

Finalmente um **descritor “proxy” ou indireto** é aquele utilizado quando não se consegue elaborar nem um descritor natural nem um construído para medir o quanto um objetivo foi alcançado. Um descritor deste tipo utiliza-se de medidas indiretas. Assim, se quisermos, por exemplo, medir o prejuízo causado pela chuva ácida nos monumentos de uma cidade, um descritor indireto seria a concentração de poluentes que causam este tipo de chuva na região daqueles monumentos.



## 1.8 FUNÇÕES DE VALOR

Funções de valor são representações matemáticas de julgamentos humanos. Elas procuram oferecer uma descrição analítica dos sistemas de valor dos indivíduos envolvidos no processo decisório e objetivam representar numericamente os componentes de julgamento humano envolvidos na avaliação de ações. Uma função de valor procura transformar as performances das ações em valores numéricos que representam o grau em que um objetivo é alcançado relativamente a níveis balizadores (Beinat, 1995). Ou ainda, representam numericamente o grau de atratividade de cada nível de impacto em um determinado critério, em relação a uma escala ancorada em níveis pré-fixados.

Matematicamente uma função de valor  $v(a)$  deve observar as seguintes condições:

1. Para todo  $a, b \in A$ ,  $v(a) > v(b)$  se e somente se para o avaliador  $a$  é mais atrativa que  $b$ , isto é,  $a P b$  ( $a$  é preferível a  $b$ );
2. Para todo  $a, b \in A$ ,  $v(a) = v(b)$  se e somente se para o avaliador  $a$  é indiferente a  $b$ , isto é,  $a I b$  ( $a$  é indiferente a  $b$ );
3. Para todo  $a, b, c, d \in A$ ,  $v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$  se e somente se para o avaliador a diferença de atratividade entre  $a$  e  $b$  é maior que a diferença de atratividade entre  $c$  e  $d$ .

Por exemplo, pode-se ver na Figura 10 a função de valor que representa o grau de valoração atribuído ao ganho pecuniário de um consultor executivo, onde os níveis de ancoragem (referência) inferior e superior foram definidos como \$ 40.000 e \$ 80.000, respectivamente. Nesta figura nota-se que um salário de 80.000 unidades monetárias por ano alcança plenamente os objetivos do executivo com relação ao critério remuneração, pois recebe a pontuação máxima na sua escala de valores, no caso 100 pontos. Já uma proposta de emprego que tenha um salário no valor de 40.000 unidades monetárias por ano atende somente as necessidades mínimas do executivo sem comprometer a sua sobrevivência e por isto recebe a pontuação de 0 ponto. Os métodos para construir as funções de valor serão apresentados na seção 1.8.2.

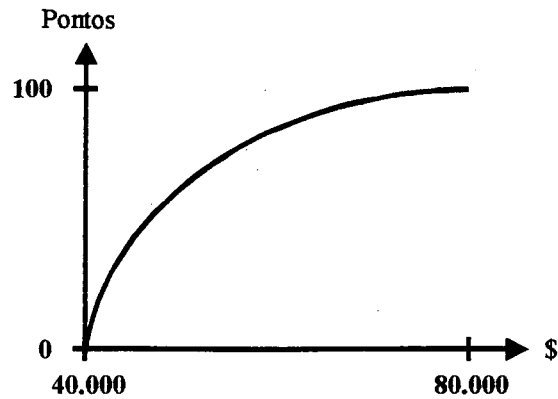


Figura 10 – Exemplo de Função de Valor.

É importante salientar que somente as ações potenciais viáveis devem ser analisadas na construção de funções de valor. Assim, voltando ao exemplo anterior, o executivo considera inviáveis propostas com salários inferiores a \$ 40.000,00 por ano (pois representam uma remuneração inaceitável para o seu juízo de valor) e também aquelas superiores a \$ 80.000 (pois não existe nenhuma empresa disposta a pagar mais do que aquele valor). Caso surgisse uma empresa que estivesse disposta a pagar mais de 80.000 unidades monetárias ou o empresário se tornasse menos exigente quanto a sua remuneração, a função de valor teria que ser reavaliada.

Outro ponto importante é que, para este mesmo contexto decisório (escolha de um emprego), um outro decisor poderia ter uma função de valor totalmente diferente, isto porque uma função de valor representa o juízo de valor do indivíduo e pode (e deve) mudar de uma pessoa para outra.

O processo de construção de uma função de valor não é tão simples, pois ao mesmo tempo que o facilitador procura obter uma escala numérica que represente de maneira o mais clara possível o juízo de valor do decisor, simplificando o processo decisório, ele frequentemente acha difícil obter uma escala numérica confiável que represente os julgamentos de valor do decisor e que seja aprovado por este. Isto acontece porque nenhuma função matemática consegue representar fielmente toda a complexidade do pensamento humano. Existem, assim, dúvidas e hesitações por parte do decisor ao expressar seus julgamentos de valor.

Desta maneira, ao requerer julgamentos numéricos ao decisor, a complexidade destes julgamentos aumenta, mas em compensação a avaliação das ações potenciais se torna frequentemente mais direta (Beinat, 1995). Com isto as funções de

valor possibilitam que se trate os juízos de valor dos decisores de forma mais explícita, lógica e sistemática, visto que são representações matemáticas da realidade percebida pelo decisor.

Muitas vezes são necessárias várias sessões de entrevistas para que o decisor consiga expressar a informação qualitativa necessária para construir as funções de valor. Normalmente o processo para construção de uma função baseia-se na resposta do decisor a questões pré determinadas (Beinat, 1995). Os questionamentos necessários para a construção das funções de valor neste trabalho são mostrados na seção 1.8.2.

### **1.8.1 Escalas**

As escalas representam numericamente as funções de valor do decisor, ou seja, mostra o quanto uma ação é preferível em relação a outra. No caso da Figura 10, os pontos obtidos por cada um das remunerações avaliadas (\$ 80.000 e \$ 40.000) fazem parte de uma escala.

As metodologias multicritérios em apoio a decisão usam, na sua maioria, três tipos de escalas: a ordinal, a de intervalos e a de razões. A seguir serão mostradas as características de cada uma destas escalas numéricas.

#### **1.8.1.1 Escala Ordinal**

Uma escala ordinal é aquela onde os números da escala guardam apenas uma ordem de preferência crescente ou decrescente entre si (Vansnick, 1990), sem que se possa quantificar o quanto um ponto da escala é mais preferível que outro.

Este tipo de escala é usado quando o decisor só consegue ordenar as ações em termos de preferência sem conseguir avaliar o quanto uma ação ou nível é mais preferível que outro. É uma escala que agrega menos informação que as outras duas que são a de intervalo e a de razões. Assim, se o decisor consegue avaliar quanto ele prefere uma ação em relação à outra e não apenas ordená-las quanto a preferência, deve usar a escala de intervalos ou a de razões.

A Figura 11 mostra um exemplo de uma escala deste tipo. Nesta escala  $\mu$  a única informação que temos é a ordem dos níveis, assim, o nível  $\mu(x_5)$  é melhor que o nível  $\mu(x_4)$  (5 é maior do que 4) mas não se sabe o quanto, pois os números associados indicam apenas uma ordenação. Assim, esta escala  $\mu$  poderia também ser representada por letras em que a sua ordenação de forma alfabética agregaria a mesma informação que uma escala numérica.

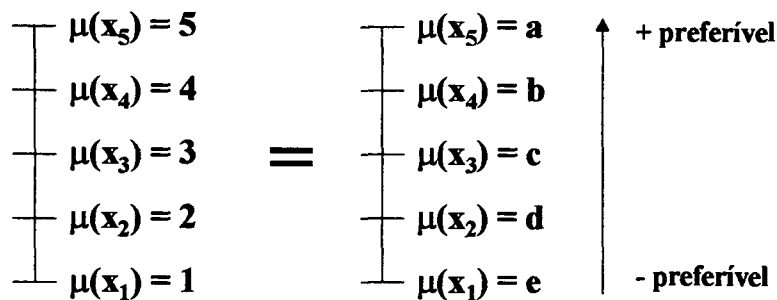


Figura 11 – Exemplo de escala ordinal

### 1.8.1.2 Escala de Intervalos

Uma escala de intervalos é aquela que permite que apenas os intervalos existentes entre os pontos que a compõe possam ser comparados, uma vez que dois de seus valores são arbitrados e usualmente o zero é um deles. Matematicamente, uma escala  $\mu$  é uma escala de intervalos se, e somente se, ela é única quando a ela aplicada uma transformação linear positiva do tipo  $\alpha r + \beta$  (Vansnick, 1990). Os mais conhecidos exemplos de escalas de intervalos são as escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit, que tem os zeros fixados arbitrariamente (no caso da escala Celsius é a temperatura de congelamento da água).

Neste tipo de escala as informações que devem ser percebidas são os intervalos de variação entre dois pontos da escala e não os pontos diretamente. Se fizermos a comparação entre os intervalos na escala Fahrenheit e na escala Celsius obteremos a mesma relação entre os intervalos de variação das temperaturas. Esta é uma característica da escala de intervalo, manter inalteradas as razões entre os intervalos de variação.

Para exemplificar o que é uma transformação linear positiva, vamos usar o caso de quando queremos transformar uma temperatura de graus Celsius para Fahrenheit. Assim, se chamarmos a temperatura medida na escala Celsius de  $r$  e a medida na escala Fahrenheit de  $r'$  temos que:  $r' = \alpha r + \beta$ , onde  $\alpha$  e  $\beta$  são os coeficientes da transformação linear. Neste caso,  $\alpha = 1,8$  e  $\beta = 32$  ( $20^\circ\text{C} \cdot 1,8 + 32 = 68^\circ\text{F}$ ) e tanto  $20^\circ\text{C}$  quanto  $68^\circ\text{F}$  representam a mesma temperatura (Figura 12).

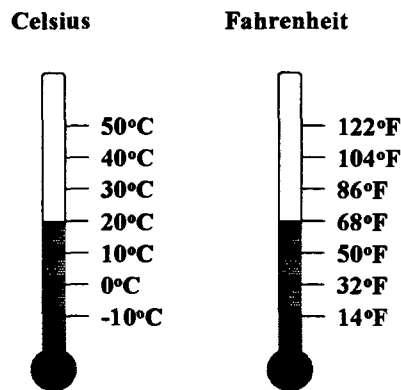


Figura 12 – Equivalência entre duas escalas de intervalos (Graus Celsius e Fahrenheit).

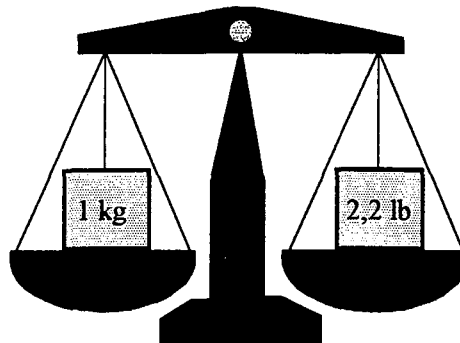
A escala de intervalos é a utilizada neste trabalho em virtude de não existir um zero fixo e sim arbitrário (no caso, nível abaixo do qual o decisor julga que o desempenho naquela dimensão passa a comprometer) na escala que representa a função de valor do decisor.

### 1.8.1.3 Escala de Razões

É aquela que permite que se compare diretamente os pontos que a compõem e onde o zero é fixo (não é arbitrário). Matematicamente, uma escala  $\mu$  é uma escala de razões se, e somente se, ela é única quando aplicada a ela uma transformação de similaridade do tipo  $\alpha r$  (Vansnick, 1990). Um tipo de escala de razão é a massa de um corpo que pode ser medida em gramas ou libras e que possui um zero fixo e natural que é a ausência de massa.

No caso de uma escala de razões é correto afirmar que, por exemplo, uma caixa de 2 kg é duas vezes mais pesada do que outra de 1 kg, pois existe um zero fixo. E

isso é verdade para qualquer unidade de massa que utilizemos pois uma caixa de 2 libras (0,90 kg) também é duas vezes mais pesada do que outra de 1 libra (0,45 kg). Para exemplificar o que é uma transformação de similaridade do tipo  $\alpha r$ , pode-se converter o peso de uma caixa de 1 kg para libras. Assim, se  $r'$  é o peso da caixa em libras e  $r$  o peso da caixa em quilos, temos que:  $r' = \alpha r$ , onde  $\alpha$  é o coeficiente da transformação. Nesta conversão,  $\alpha = 2,2$  e assim  $r' = 2,2.1 = 2,2$  lb (Figura 13).



**Figura 13 - Equivalência entre duas escalas de razões (quilos e libras)**

### 1.8.2 Métodos para Construção de Funções de Valor

Segundo Beinat (1995) todos os métodos para determinação de funções de valor consistem em 5 passos:

1. Definição dos descritores e dos seus níveis máximo e mínimo;
2. Informações qualitativas sobre o comportamento da função de valor (monotocidade, convexidade, concavidade, etc.);
3. Especificação de valores para determinados níveis da função de valor;
4. Ajuste da curva que representa a função de valor;
5. Testes de consistência.

O mesmo autor apresenta uma série de métodos para a construção de funções de valor (Direct rating, Seleção de curva, Bisseção, etc.) não demonstrando preferência entre os métodos. Neste trabalho, utilizar-se-á do Método MACBETH, que

através de julgamentos semânticos oferece uma ponte entre a habilidade de se proferir julgamentos de valor e as especificações numéricas de uma escala que representa uma função de valor (Beinat, 1995).

### 1.8.2.1 Metodologia MACBETH

O método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) objetiva simplificar a construção de funções de valor e a determinação de taxas de substituição (que serão vistas na seção 1.10) através do uso de julgamentos semânticos (Bana e Costa e Vansnick, 1995a). As funções de valor são encontradas através de comparações par a par da diferença de atratividade entre ações potenciais. Como esta informação é qualitativa, modelos de Programação Linear determinam o conjunto de funções de valor que melhor representam as preferências reveladas pelo decisor.

Para construir uma função de valor sobre um conjunto de estímulos, o MACBETH faz uso de um procedimento que consiste em questionar o decisor para que expresse *verbalmente* a diferença de atratividade entre dois estímulos *a* e *b* (com *a* mais atrativo que *b*) escolhendo uma das seguintes categorias semânticas:

- C0 - **nenhuma** diferença de atratividade (**indiferença**)
- C1 - diferença de atratividade **muito fraca**
- C2 - diferença de atratividade **fraca**
- C3 - diferença de atratividade **moderada**
- C4 - diferença de atratividade **forte**
- C5 - diferença de atratividade **muito forte**
- C6 - diferença de atratividade **extrema**

A questão fundamental da metodologia *MACBETH* é:

“Dados os impactos  $i_j(a)$  e  $i_j(b)$  de duas ações potenciais ‘a’ e ‘b’ segundo um critério *j*, sendo ‘a’ julgada mais atrativa (localmente) que ‘b’, a diferença de atratividade entre ‘a’ e ‘b’ é ‘fraca’, ‘forte’, etc.” (Bana e Costa e Vansnick, 1995a, p.5).

Com base nestas informações, constrói-se uma matriz, chamada matriz semântica que contem esquematicamente a resposta do decisor à questão formulada acima. Assim, se o decisor julgar que a diferença de atratividade entre a ação  $a$  e a  $b$  for fraca, coloca-se o valor 2 no cruzamento da linha  $a$  com a coluna  $b$  da matriz (Figura 14). Este número 2 não tem significado numérico absoluto, apenas representa a categoria fraco (C2) do método MACBETH. O mesmo é feito com as outras ações até completar a matriz.

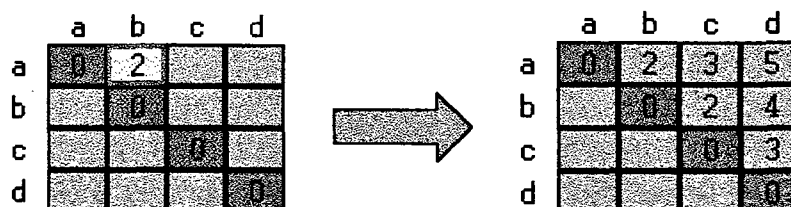


Figura 14 – Construção da matriz semântica usada no método MACBETH.

Com a matriz completa, a metodologia *MACBETH* propõe uma escala numérica que satisfaça (se possível) as seguintes regras de mensuração:

Regra 1:

Para todo  $x, y \in S$ :

$v(x) > v(y)$  se e somente se  $x$  for mais atrativo que  $y$ ;

Regra 2:

Para todo  $k, k' \in \{0,1,2,3,4,5,6\}$  com  $k \neq k'$ , para todo  $x, y \in C_k$  e para todo  $w, z \in C_{k'}$ :

$v(x)-v(y) > v(w)-v(z)$  se e somente se  $k > k'$ .

onde:

$x, y, w$  e  $z$ : ações potenciais;

$S$ : conjunto das ações potenciais viáveis;

$v(x)$ : atratividade da ação  $x$ ;

$k, k'$ : números associados às categorias semânticas do método MACBETH;

$C_k, C_{k'}$ : categorias semânticas do método MACBETH.



Em algumas situações o decisor não consegue manter a consistência de todos os seus juízos de valor, principalmente nos casos onde o modelo construído para apoiar o processo decisório requer um número elevado de julgamentos para a construção da matriz semântica. A inconsistência semântica ocorre quando na matriz de julgamentos semânticos um valor decresce na linha da esquerda para direita ou cresce na coluna de cima para baixo. Na Figura 15 o número 6 desrespeita a regra de consistência, pois analisando a coluna *d* o valor numérico cresce ao invés de decrescer. Assim, bastaria reavaliar o juízo de valor do decisor, informando-o que a categoria C6 (diferença de atratividade extrema) não é aceitável, podendo utilizar as demais abaixo dela (C5, C4, C3, C2 e C1) para representar seu juízo de valor.

	a	b	c	d
a	0	2	3	5
b		0	2	6
c			0	3
d				0

Figura 15 – Ilustração de uma Matriz com Inconsistência Semântica.

## 1.9 NÍVEIS DE REFERÊNCIA BOM E NEUTRO

São níveis de ancoragem necessários para que se possa calcular de forma adequada os pesos (taxas de substituição) dos critérios no modelo (Bana e Costa, 1991, 1995b). O nível Bom representa o nível acima do qual as expectativas com relação a um determinado critério estão acima do esperado e o nível Neutro indica o nível abaixo do qual as expectativas começam a não ser atendidas.

A escala MACBETH original deve ser reescalada de forma a fazer com que o nível Bom sempre tenha uma pontuação de 100 e o Neutro de 0 pontos. Esta transformação é feita utilizando uma transformação linear do tipo  $\alpha x + \beta$ .

Assim, após estimar as escalas das funções de valor, fixa-se o valor da escala referente ao nível Neutro em cada critério no valor 0 e a do nível Bom em 100. Isto é necessário para que se possa utilizar os níveis Bom e Neutro na determinação das taxas de substituição, ou pesos dos critérios (vide seção 1.10).

Isto é feito porque, como será mostrado posteriormente, as taxas de substituição do modelo são fatores de escalarização, ou seja, transformam valores locais de preferência (avaliados em cada critério) em valores globais de preferência (agregando as avaliações locais das ações potenciais numa única avaliação global). As taxas de substituição são calculadas levando em conta o intervalo de variação entre o nível Bom e o nível Neutro de cada critério.

Para efetuar esta conversão é usada uma transformação linear do tipo  $\alpha v + \beta$ , onde  $v$  é a escala de intervalos original. Na escala MACBETH original (escala  $v$ ), o nível Bom vale  $x$  pontos e o nível Neutro  $y$  pontos e quer-se construir uma nova escala,  $u$ , com a mesma significância da anterior (Vansnick, 1990). Para isto temos que achar o valor de  $\alpha$  e  $\beta$  de tal forma que:

$$\text{Para o nível Bom:} \quad \alpha x + \beta = 100 \quad [1]$$

$$\text{Para o nível Neutro:} \quad \alpha y + \beta = 0 \quad [2]$$

Analisando o sistema de equações acima, podemos resolvê-lo pelo método da substituição e desta forma, ao isolarmos a variável  $\beta$ , temos:

$$\beta = -y.\alpha \quad [3]$$

Agora, substituindo [3] na equação [1]:

$$\alpha.x - y.\alpha = 100$$

$$(x-y).\alpha = 100$$

$$\alpha = 100/(x-y)$$

Para encontrar o valor de  $\beta$ , substituímos o valor de  $\alpha$  em [3]:

$$\beta = -y.\alpha$$

$$\beta = -y. 100/(x-y)$$

Agora, usamos os coeficientes  $\alpha$  e  $\beta$  encontrados para calcular a nova escala

$r'$ :

$$u = \alpha v + \beta \quad [4]$$

$$u = (100/(x-y)) + -y. 100/(x-y) \quad [5]$$

onde:

$v$  – escala MACBETH original;

$u$  – escala MACBETH reescalada onde o nível Bom recebe o valor 100 e Neutro 0;

$x$  – valor do nível Bom na escala MACBETH original;

$y$  – valor do nível Neutro na escala MACBETH original.

Novamente é importante salientar que esta transformação não altera a significância da escala, ou seja, embora os números das duas escalas (a original e a que sofreu a transformação linear) sejam diferentes, representam da mesma forma o juízo de valor do decisor.

É também necessário lembrar que esta transformação só é possível em escalas de intervalos, onde são os intervalos, ou seja, as diferenças entre os pontos da escala que tem significado. Assim nas duas escalas (a original e a transformada), as proporções se mantêm as mesmas para os intervalos entre os pontos. Isto garante que as duas escalas tem a mesma significância.

### **1.10 TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO (PESOS)**

A taxa de substituição de um critério é a sua importância relativa no modelo ou, de forma mais simples, o seu peso no modelo. Numa definição mais formal, taxa de substituição é um fator de escalarização (Bana e Costa, 1995a, p.11). Em suma, taxas de substituição são fatores de escala que modulam a contribuição de cada função de valor (critério) no valor global do perfil de uma ação.

As taxas de substituição transformam valores locais de preferência (avaliados em cada critério) em valores globais de preferência (agregando as avaliações locais das ações potenciais numa única avaliação global). Se pensarmos que os diversos critérios são diferentes moedas e o valor global é a quantia que estas representam em dólar, as taxas de conversão destas moedas para o dólar podem ser encaradas como taxas de substituição.

Devem ser tomados alguns cuidados ao se calcular as taxas de substituição, já que se considera que elas representam a importância relativa que cada critério possui no modelo. O problema nesta abordagem é que muitas vezes não leva-se em conta qual o intervalo de variação entre a opção (ação) mais preferida e a menos preferida em cada critério, e isto pode fazer com que o modelo não passe mais a refletir o juízo de valor do decisor (Goodwin e Wright, 1991). Por este motivo, é necessário definir cuidadosamente os níveis de referência Bom e Neutro.

### 1.10.1 Metodologia MACBETH

O procedimento para obtenção das taxas de substituição usando o método MACBETH é semelhante ao utilizado para determinar as funções de valor, que já foi apresentado anteriormente. Por este motivo, aqui será mostrado o que há de diferente com relação ao que já foi descrito em seções anteriores.

Para calcular as taxas de substituição usando o MACBETH é necessário primeiro ordenar preferencialmente os critérios, ou seja, determinar o mais preferível, depois o segundo mais preferível, e assim por diante, até o menos preferível dos critérios avaliados. Visando efetuar esta ordenação, utiliza-se uma Matriz de Ordenação, que será explicada a seguir.

O primeiro passo para a construção desta matriz é elaborar ações, que tenham um impacto no nível bom em um dos critérios e no nível neutro nos demais, como visto na Figura 16 (Bana e Costa e Vansnick, 1995a).

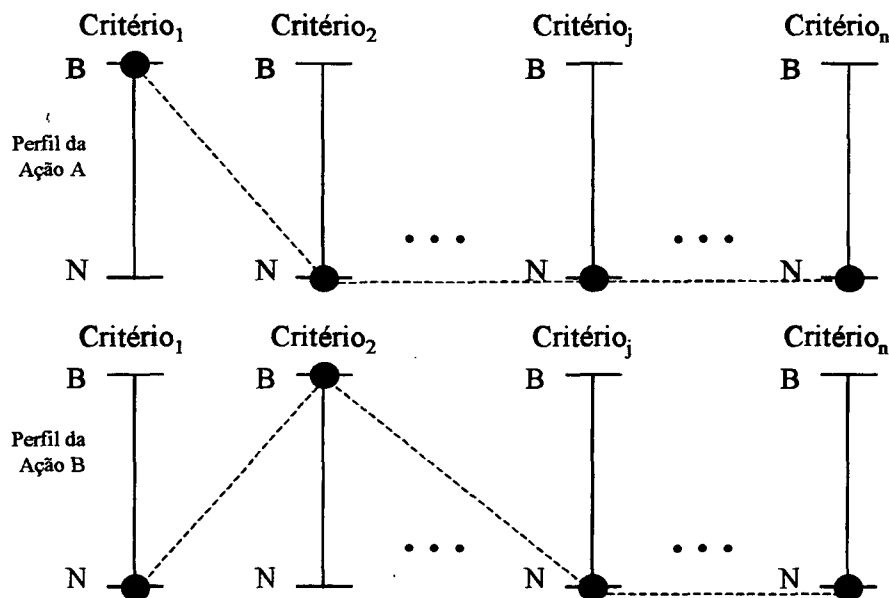


Figura 16 – Perfis de impacto das ações A e B.

Logo após deve-se montar uma matriz com  $n$  colunas e  $n$  linhas onde  $n$  é o número de critérios. Para uma melhor compreensão do método, vamos considerar que o

contexto decisório apresenta 6 critérios, conforme a Tabela 1 (para maiores detalhes e fundamentação matemática, ver Roberts, 1979, capítulo 3).

**Tabela 1 – Matriz 6 x 6 usada para ordenar preferencialmente os critérios de avaliação.**

	Critério <sub>1</sub>	Critério <sub>2</sub>	Critério <sub>3</sub>	Critério <sub>4</sub>	Critério <sub>5</sub>	Critério <sub>6</sub>
Critério <sub>1</sub>						
Critério <sub>2</sub>						
Critério <sub>3</sub>						
Critério <sub>4</sub>						
Critério <sub>5</sub>						
Critério <sub>6</sub>						

Com esta matriz montada o facilitador deve inquirir o decisor com a seguinte questão:

*“Dada uma ação A que tenha um impacto no nível bom no critério 1 e no nível neutro no critério 2 e uma ação B com um impacto no nível neutro no critério 1 e no nível bom no critério 2 (vide Figura 16), qual delas é preferível, a ação A ou a B?”.*

Se a resposta for ação A, o critério 1 é preferível ao critério 2 e o número 1 deve ser colocado no cruzamento da linha *Critério<sub>1</sub>* com a coluna *Critério<sub>2</sub>* e o algarismo zero no cruzamento da linha *Critério<sub>2</sub>* com a coluna *Critério<sub>1</sub>* (Tabela 2). Caso contrário, ou seja, a ação B seja preferível a A, deve ser colocado 0 no cruzamento da linha *Critério<sub>1</sub>* com a coluna *Critério<sub>2</sub>* e o 1 no cruzamento da linha *Critério<sub>2</sub>* com a coluna *Critério<sub>1</sub>*. Se as duas ações foram indiferentes para o decisor (ou seja, A não é preferível à B e B também não é preferível a A), deve-se colocar 0 no cruzamento da linha *Critério<sub>1</sub>* com a coluna *Critério<sub>2</sub>* e o 0 no cruzamento da linha *Critério<sub>2</sub>* com a coluna *Critério<sub>1</sub>*.

**Tabela 2 – Ilustração de como preencher a Matriz de Ordenação dos critérios.**

	Critério <sub>1</sub>	Critério <sub>2</sub>	Critério <sub>3</sub>	Critério <sub>4</sub>	Critério <sub>5</sub>	Critério <sub>6</sub>
Critério <sub>1</sub>		1				
Critério <sub>2</sub>	0					
Critério <sub>3</sub>						
Critério <sub>4</sub>						
Critério <sub>5</sub>						
Critério <sub>6</sub>						

Fazendo este mesmo procedimento para todas as combinações possíveis par-a-par dos critérios, teremos uma matriz de zeros e uns como a mostrada na Tabela 3.

**Tabela 3 – Matriz de Ordenação completa dos critérios.**

	Critério <sub>1</sub>	Critério <sub>2</sub>	Critério <sub>3</sub>	Critério <sub>4</sub>	Critério <sub>5</sub>	Critério <sub>6</sub>
Critério <sub>1</sub>		1	1	1	1	1
Critério <sub>2</sub>	0		1	1	1	1
Critério <sub>3</sub>	0	0		0	0	0
Critério <sub>4</sub>	0	0	1		0	0
Critério <sub>5</sub>	0	0	1	1		1
Critério <sub>6</sub>	0	0	1	1	0	

Tendo sido completada esta matriz, faz-se agora o somatório das linhas da coluna para saber a ordenação dos critérios, do mais preferível para o menos preferível. O mais preferível é aquele que obtém o maior número de 1 na sua linha na matriz (maior soma total) e o menos preferível o que obtém um menor número de 1 na sua linha na matriz (menor soma total), como pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Matriz de Ordenação mostrando a ordem de preferência dos critérios.**

	Critério <sub>1</sub>	Critério <sub>2</sub>	Critério <sub>3</sub>	Critério <sub>4</sub>	Critério <sub>5</sub>	Critério <sub>6</sub>	Soma	Ordem
Critério <sub>1</sub>		1	1	1	1	1	5	1 <sup>o</sup>
Critério <sub>2</sub>	0		1	1	1	1	4	2 <sup>o</sup>
Critério <sub>3</sub>	0	0		0	0	0	0	6 <sup>o</sup>
Critério <sub>4</sub>	0	0	1		0	0	1	5 <sup>o</sup>
Critério <sub>5</sub>	0	0	1	1		1	3	3 <sup>o</sup>
Critério <sub>6</sub>	0	0	1	1	0		2	4 <sup>o</sup>

Desta forma, o critério 1 foi o mais preferível, a seguir o critério 2, depois o quinto critério e assim por diante até o critério 3 que é o menos preferível.

A partir daí, o procedimento é parecido com aquele executado para encontrar as funções de valor, onde é pedido ao decisor que faça um julgamento semântico entre as ações:

*“Dada uma ação A que tenha um impacto no nível bom no critério 1 e no nível neutro no critério 2 e uma ação B com um impacto no nível neutro no critério 1 e no nível bom no critério 2 e sabendo que a ação A é melhor que a B, a diferença de atratividade quando se troca a ação A pela B é”:*

- C0 - nenhuma
- C1 - muito fraca
- C2 - fraca
- C3 - moderada
- C4 - forte
- C5 - muito forte
- C6 - extrema

Se o decisor responder que esta diferença de atratividade é moderada, o número 3 (representando a categoria C3) é colocado na interseção da linha  $PVF_1$  com a coluna  $PVF_2$ . O mesmo procedimento é feito em relação às todas as outras combinações possíveis, até completar a matriz. A única diferença desta matriz para aquela construída para determinar as funções de valor (vide seção 1.8.2) é a introdução de uma ação de referência A0, que possui todos os impactos no nível neutro (Tabela 5). A ação A0 é utilizada para que o método MACBETH possa identificar a importância relativa do critério menos preferível relativamente à ação A0.

**Tabela 5 – Matriz com os julgamentos semânticos usada para determinar os pesos pelo Método MACBETH.**

	Critério <sub>1</sub>	Critério <sub>2</sub>	Critério <sub>3</sub>	Critério <sub>4</sub>	Critério <sub>5</sub>	Critério <sub>6</sub>	A0
Critério <sub>1</sub>		3	3	4	6	6	6
Critério <sub>2</sub>			3	3	5	6	6
Critério <sub>3</sub>				3	5	6	6
Critério <sub>4</sub>					4	5	6
Critério <sub>5</sub>						3	3
Critério <sub>6</sub>							2
A0							

De posse desta matriz, o facilitador utiliza o software MACBETH para calcular as taxas de substituição (pesos) dos critérios, conforme será mostrado no exemplo a seguir. Deve ficar claro que os pesos encontrados através do programa não devem ser considerados como verdades absolutas e sim como uma sugestão ao decisor que pode aceitá-la ou não. Caso o decisor não se sinta confortável ou não ache que aquelas taxas de substituição refletem o seu juízo de valores, o programa MACBETH permite que se façam pequenas alterações nos valores encontrados. Se ainda assim o decisor não estiver satisfeito, devem ser reconsiderados os julgamentos que originaram a matriz semântica e a

mesma deve ser refeita, parcial ou totalmente, até que o decisor sinta que as taxas de substituição representem o seu entendimento do contexto decisório analisado.

### 1.10.2 Pesos Internos aos Critérios

No caso de um critério de avaliação composto de dois ou mais sub-critérios, deve-se encontrar a importância relativa (pesos internos) dos sub-critérios em relação ao critério a que pertencem. O procedimento para encontrar esta importância relativa é igual ao realizado para encontrar as taxas de substituição dos critérios de avaliação.

### 1.11 INDICADORES DE IMPACTO

Tendo sido estruturado o problema e determinado o conjunto de ações potenciais a serem analisadas (que pode ainda, nesta fase ser ampliado), parte-se para a fase de definição dos Indicadores de Impacto do modelo. Isto é feito analisando as ações e levando em conta os critérios que compõe o modelo que foi construído.

O indicador de impacto permite fazer a projeção da ação sobre o descritor do critério de avaliação, de tal forma que seja possível escolher um determinado nível considerado como representativo do impacto real (característica) de cada ação (Bana e Costa apud Zanella, 1996). Em outras palavras, o indicador de impacto associa a uma ação um nível na escala de um Critério (ou sub-critério) de acordo com as características da ação (Bana e Costa e Vasnick, 1997), conforme Figura 17.

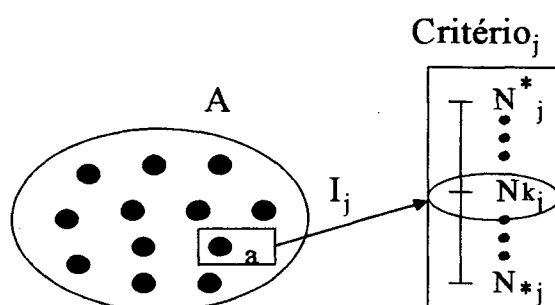


Figura 17 – Indicador de Impacto de uma Ação Potencial (adaptado de Montibeller Neto, 1996).



## 1.12 FÓRMULA DE AGREGAÇÃO ADITIVA

O procedimento de agregação aditiva é certamente o mais simples e, talvez por isto, o mais utilizado dos métodos de agregação adotados em Modelos Multicritérios (Bana e Costa et al., 1995). O que esta fórmula de agregação pretende é transformar unidades de atratividade local (medidas nos critérios) em unidades de atratividade global, ou seja, o que se quer é transformar um modelo que tem múltiplos critérios, num modelo com um único critério que é a pontuação final que uma determinada ação recebe (Bana e Costa, 1988).

O que se faz é uma soma ponderada da pontuação obtida pela ação em cada critério de avaliação, sendo que a ponderação é dada pelos pesos (taxas de substituição) atribuídos aos critérios. Assim, se por exemplo o peso de um critério for 0,20 (ou 20%) cada unidade de valor parcial valeria 0,20 unidades de valor global ( $0,20 \times 1 = 0,20$ ) (Bana e Costa et al., 1995).

A fórmula de agregação aditiva é dada, matematicamente, pelas equações abaixo (Bana e Costa e Silva, 1994):

$$V(a) = v_1(a).w_1 + v_2(a).w_2 + v_3(a).w_3 + \dots + v_n(a).w_n \quad \text{ou} \quad [6]$$

$$V(a) = \sum_i^n v_i(a) \cdot w_i \quad [7]$$

onde:

$V(a)$  – Valor Global da ação  $a$ .

$v_1(a), v_2(a), \dots, v_n(a)$  – Valor parcial da ação  $a$  nos critérios 1, 2, ..., n.

$w_1, w_2, \dots, w_n$  – Pesos ou Taxas de Substituição dos critérios 1, 2, ..., n.

A equação fornece a soma ponderada dos valores parciais obtidos por uma determinada ação nos diversos critérios de avaliação, sendo que a ponderação é feita pelos pesos de cada critério. A segunda equação é uma representação matemática simplificada da primeira, sendo que o símbolo  $\Sigma$  representa o somatório dos termos apresentados na primeira equação.

As equações acima estão submetidas as seguintes restrições:

A somatória dos pesos deve ser igual a 1.

$$\sum_i^n w_i = 1 \quad [8]$$

O valor dos pesos deve ser maior do que 0 e menor do que 1.

$$1 > w_i > 0 \quad \forall i \quad [9]$$

O valor parcial de uma ação com impacto no nível Bom é igual a 100 em todos os critérios.

$$v_i(a_B) = 100 \quad \forall i \quad [10]$$

O valor parcial de uma ação com impacto no nível Neutro é igual a 0 em todos os critérios.

$$v_i(a_N) = 0 \quad \forall i \quad [11]$$

O valor global de uma ação com todos os impactos no nível Bom é 100 (já que o somatório dos pesos é 1 e os valores parciais de uma ação com impacto no nível Bom é 100 para todos os critérios).

$$V(\text{Bom}) = 100 \quad [12]$$

O valor global de uma ação com todos os impactos no nível Neutro é 0 (já que o somatório dos pesos é 1 e os valores parciais de uma ação com impacto no nível Neutro é 0 para todos os critérios).

$$V(\text{Neutro}) = 0 \quad [13]$$

## **2. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE E RELAÇÕES OUTRANKING**

Métodos Multicritérios de agregação são desenvolvidos para construir uma prescrição (uma solução) a partir de um conjunto de ações potenciais de acordo com as preferências do decisor ou de um grupo de decisores. Em geral, a prescrição é imediatamente derivada do processo de agregação. Entretanto, em muitos casos, informações adicionais são necessárias para construir a prescrição (Vanderpooten, 1990) e entre estas informações adicionais, está a análise de sensibilidade do modelo.

Neste capítulo serão apresentadas as motivações que tornam necessário efetuar a análise de sensibilidade quando se usam Metodologias Multicritérios em Apoio à Decisão, bem como será introduzida a análise de sensibilidade mas comum que é aquela feita analisando a robustez do modelo à pequenas variações nos pesos dos critérios.

### **2.1 ALGUMAS FONTES DE IMPRECISÃO EM MODELOS DECISÓRIOS**

Roy (1989) e Bouyssou (1989) citam uma série de possíveis fontes de imprecisão quando da construção de um modelo de apoio à decisão. Aqui serão apresentadas resumidamente alguns destes fatores.

#### **1. O “mapa” não é o “território”**

Um dos propósitos do apoio à decisão é auxiliar a comparar alternativas complexas inseridas num contexto decisório. Mas se queremos usar um processo formal de apoio à decisão, muitas vezes a complexidade destas alternativas e de suas conseqüências faz com que se torne virtualmente impossível compará-las diretamente. Esta comparação é feita então usando-se “mapas” (modelos) destes “territórios” (contexto decisório). Estes mapas criam uma “linguagem” que permite uma efetiva comunicação entre os vários atores do processo decisório e provêm bases adequadas para a comparação de alternativas.

Entretanto, a representação fornecida pelo modelo de um contexto decisório inevitavelmente envolve muitas simplificações, omissões e distorções que introduzem no modelo uma série de imprecisões. Assim, quando forçados a usar um “mapa” para

representar um “território”, os atores do processo fazem uma compensação entre riqueza e legibilidade: quanto mais “rico” é um mapa, mais próximo está de representar o “território”, mas em compensação torna-se mais difícil de ser compreendido.

## **2. O “futuro” não é o “presente” que se repetirá**

As alternativas que são comparadas utilizando-se um modelo de apoio à decisão serão implementadas apenas num futuro que pode ser próximo ou distante, dependendo do contexto decisório. Assim, as consequências da implementação de uma alternativa são de uma certa forma imprevisíveis, na medida em que o ambiente no momento que for implantada pode ser diferente do atual e até mesmo ser influenciado pela implementação da própria alternativa.

Outro fator de imprevisibilidade reside no fato que frequentemente as possíveis ações a serem implementadas não estão completamente especificadas no momento da construção do modelo. Desta forma, mesmo se for possível prever com um elevado grau de precisão as consequências da implantação de uma dada alternativa, ainda existe um certo grau de imprecisão residindo no fato que a alternativa é ainda um “projeto”.

## **3. Os dados não são o resultado de medidas exatas**

É importante compreender que a maioria das representações numéricas usadas em modelos de apoio à decisão são apenas “ordens de magnitude” e não quantidades exatas. Isto ocorre não só porque há falhas no processo de medição do modelo, mas também porque em muitas situações, a definição do que deve ser medido é muito imprecisa. Assim, a imprecisão decorrente de não se ter certeza do que se deve medir é pelo menos tão importante quanto aquela inerente a qualquer processo de mensuração.

## **4. O modelo não é uma descrição exata de um evento real**

Esta fonte de imprecisão provém do fato de que o modo como o facilitador procura obter informações do decisor influencia significativamente as suas respostas. Isto é verdade porque na grande maioria das vezes o sistema de preferências de um ator não está completamente estruturado: áreas de firme convicção convivem lado a lado com áreas de hesitação e ambigüidade que podem ser facilmente influenciáveis pela maneira que o facilitador aborda a modelagem do contexto decisório. Desta forma, no decorrer do

processo, o decisor pode mudar sua maneira de pensar sobre o contexto decisório ainda mais quando existem múltiplos decisores onde o julgamento de valor de um decisor influencia os dos demais.

## 2.2 CONFLITOS ENTRE RESULTADOS ANALÍTICOS E INTUITIVOS

Quando é apresentada ao decisor a avaliação final das ações no modelo, pode ocorrer deste resultado final surpreender o decisor. Assim, o decisor antes de construir o modelo, ao analisar holisticamente e de forma intuitiva as ações pode “sentir” que uma ação é a melhor delas e quando da aplicação do modelo esta ação ter uma pontuação inferior a outra.

Isto pode ocorrer por uma série de razões (Goodwin e Wright, 1991):

- O problema é muito grande e complexo e assim o decisor não é capaz de, numa análise intuitiva, levar em conta todas as variáveis envolvidas no contexto decisional. Com isto as preferências do decisor acabam não sendo refletidas nesta decisão holística e intuitiva. Quanto mais complexo é o problema, menos confiáveis são os julgamentos holísticos (Winterfeld e Edwards *apud* Goodwin e Wright, 1991);
- Pode ocorrer de um critério que o decisor leva em conta não estar representado no modelo. Com isto, embora o decisor saiba intuitivamente que uma ação é melhor que outra, o modelo não é capaz de refletir isto. Nestes casos houve uma falha na fase de estruturação do problema, e deve-se reestruturar o modelo multicritério;
- Existe uma interação entre dois critérios existentes no modelo que o decisor e o facilitador não conseguiram identificar. Por exemplo, pode ocorrer uma interação entre o preço de um carro e seu status (um carro com grande status tem sempre alto preço) e assim estes critérios podem não ser preferencialmente independentes, o que é necessário quando se usa uma função de agregação aditiva. Nestes casos deve-se redefinir os critérios que interagem;
- Houve falha na determinação de algum dos parâmetros do modelo (pesos, escalas, funções de valor, descritores, níveis de impacto, etc.) e assim uma determinada ação pode ser prejudicada em detrimento das demais.

Os conflitos entre o julgamento intuitivo e o analítico devem ser cuidadosamente analisados pois se o decisor não se sentir satisfeito com a avaliação final do modelo, o mesmo deve ser refeito de modo a refletir da melhor forma possível as preferências do decisor. Cabe lembrar que nenhum modelo consegue refletir exatamente as preferências do decisor e, sendo uma representação simplificada destas preferências, pode apresentar falhas.

### **2.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

A Análise de Sensibilidade é usada para examinar se o modelo é robusto a alterações nos seus parâmetros (Goodwin e Wright, 1991). Esta análise permite que se saiba se uma pequena alteração, por exemplo, do peso de um critério vai causar uma grande variação na avaliação das ações potenciais. Se uma pequena variação de algum parâmetro causar grandes variações na avaliação final das ações, o modelo não é robusto e os resultados obtidos devem ser encarados com cuidado, sendo necessário muitas vezes uma reavaliação dos parâmetros utilizados.

A análise de sensibilidade é importante também porque o modo como se fixa os parâmetros num modelo multicritérios é uma tarefa difícil e complicada, propensa a ser feita de uma forma arbitrária. Isto pode minar a confiança que os decisores têm nos resultados do modelo, a menos que se faça um empenho em analisar a robustez dos resultados. Esta análise consiste, usualmente, em mudar os valores dos parâmetros e observar o que acontece no resultado final. Esta é uma fase importante na aplicação de qualquer modelo, contribuindo para superar a falta de precisão na determinação dos valores dos parâmetros, para aprender sobre o contexto decisório e, finalmente, aumentar a confiança nos resultados obtidos (Dias *et al.*, 1997). Isto pode ser uma tarefa muito demorada, por uma série de razões: o número de parâmetros a serem analisados cresce grandemente a medida que o número de critérios do modelo aumenta, algumas vezes os decisores não compreendem inteiramente o significado de alguns parâmetros do modelo e, no caso de haver muitos participantes (decisores) na elaboração do modelo, cada decisor pode querer propor uma variação de parâmetro diferente da do resto do grupo.

Segundo Beinat (1995, p. 225), “*A Análise de Sensibilidade é compulsória em todas as aplicações*”. Esta afirmação revela a importância atribuída a esta fase do processo de avaliação dada por muitos pesquisadores. É esta análise que permite que tanto o decisor quanto o facilitador tenha confiança no modelo construído por eles em conjunto.

### **2.3.1 Robustez do Modelo à Variação dos Pesos dos Critérios**

Como as preferências dos decisores são construídas e a quantificação de seus juízos de valores não é um processo natural em termos cognitivos, os valores dos parâmetros do modelo devem ser encarados como **aproximados**. Portanto, tais parâmetros na verdade são uma faixa de valores representados no modelo por somente um ponto (valor). Daí a necessidade da análise de robustez frente à variações de tais parâmetros.

Um dos parâmetros do modelo que pode influenciar de maneira mais forte o resultado final da avaliação é o peso dos critérios. Como explicado anteriormente neste trabalho, são os pesos que permitem que uma atratividade local (avaliação parcial) medida nos critérios possa ser convertida em uma atratividade global (avaliação global). Assim o modelo deve ser bastante estável à pequenas variações nos pesos dos critérios (variações em torno de 10% para mais e para menos).

Existem alguns programas que auxiliam na elaboração da análise de sensibilidade como o HIVIEW (Barclay, 1984) e o VISA (Belton e Vickers, 1990; Belton *et al*, 1997). Estes programas permitem que se façam gráficos demonstrando os efeitos na avaliação global devido a mudanças nos pesos dos critérios. O software HIVIEW será usado posteriormente para auxiliar na avaliação das ações potenciais na parte prática deste trabalho.

A necessidade de utilizar-se de programas que auxiliem a visualização das análises de sensibilidade acontece porque, mesmo em problemas envolvendo poucos critérios, a quantidade de informação a ser tratada pelo decisor e pelo facilitador pode se tornar muito extensa, fazendo com que se tenha dificuldade de se extrair alguma informação que seja útil (Bana e Costa e Vincke, 1990).

Se o modelo sofrer grandes alterações no resultado final devido a pequenas flutuações nos pesos, os mesmos devem ser analisados com cuidado para confirmar se

realmente refletem o juízo de valor do decisor. Caso o decisor não concorde com os valores dos pesos dos critérios no modelo, os mesmos devem ser revistos e, se necessário, recalculados.

Além da análise de sensibilidade aqui apresentada que trata de compreender o que ocorre com o modelo quando há uma alteração nos pesos dos critérios, outras análises para verificar a robustez do modelo são possíveis (ver Bana e Costa, 1988 e Bana e Costa e Fernandes, 1995). Pode-se alterar levemente as escalas relacionadas aos níveis de impacto, alterar os pesos internos, reavaliar os níveis onde uma determinada ação impacta, etc. Mais adiante será apresentada uma análise de sensibilidade baseada nas relações Outranking, que serão explicadas na próxima seção. O importante é que ao final do processo de avaliação o decisor tenha confiança no modelo construído.

## 2.4 RELAÇÕES OUTRANKING

Os métodos Outranking foram desenvolvidos no final da década de 60 por Bernard Roy (Vanderpooten, 1997; Roy e Vanderpooten, 1996; Bana e Costa et al., 1995) para solucionar problemas reais onde existiam dificuldades na aplicação das abordagens até então utilizadas (principalmente aquelas que usavam somas ponderadas no modelo de agregação). A proposta dos métodos Outranking é enriquecer as relações de dominância (Brans e Mareschal, 1990). Desta forma as relações outranking foram concebidas para representar, no modelo de agregação, casos onde o decisor não tem condições de julgar se uma determinada ação  $a$  é melhor ou igual que outra ação  $b$  (Ostanello, 1985). Isto ocorre muitas vezes devido a própria personalidade do decisor (que não se sente capaz de emitir uma opinião quanto a seu sistema de preferências), incerteza quanto as ações e imprecisão nos dados. Existe assim um “*intervalo de indeterminação*” (Bana e Costa e Vincke, 1995, p.3) onde o decisor tem dúvidas ao avaliar comparativamente duas determinadas ações.



### 2.4.1 Notações e Definições

Antes de mais nada, é preciso definir as suposições assumidas quando se utiliza as relações outranking (Roy, 1991; Ostanello, 1985; Vanderpooten, 1990, 1997):

1. Um conjunto finito  $A$  de ações potenciais (ou alternativas) é considerado. Estas ações não precisam ser necessariamente exclusivas, ou seja, elas podem ser postas em operação conjuntamente.
2. Uma família  $F$  consistente de  $n$  critérios tem que ser definida (Bouyssou, 1990). Isto significa que as preferências dos decisores com relação aos pontos de vista fundamentais do processo decisório estão refletidas adequadamente pelos critérios de  $F$ .
3. A função  $v_j(a)$  é a performance da ação  $a$  em relação ao  $j$ -ésimo critério da família  $F$  de critérios.  $v_j(a)$  é um número real e  $\forall a \in A$  e  $b \in A$ ,  $v_j(a) \geq v_j(b) \Rightarrow a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$  se nós considerarmos apenas o ponto de vista refletido pelo  $j$ -ésimo critério.

Resumidamente, uma relação outranking  $S$  é a relação binária através da qual, considerando as ações potenciais  $a$  e  $b$ ,  $a S b$  se é razoável aceitar, sob o ponto de vista do decisor, que “ $a$  é pelo menos tão bom quanto  $b$ ” (Vanderpooten, 1990). Desta forma, uma situação de indiferença entre  $a$  e  $b$  (denotada como  $a I b$ ) pode ser representada tanto por  $a S b$  quanto por  $b S a$ .

O decisor em questão aqui, pode tanto ser uma pessoa como um grupo de pessoas que tenham um modelo de preferências compreensível. O modelo de preferências não é necessariamente uma descrição de preferências claramente definidas e firmemente fixadas na mente do decisor (ou grupo de decisores). Este modelo de preferências deve fornecer, contudo, elementos para que se possa responder a certos questionamentos que envolvem os juízos de valor do decisor (Roy, 1991). Sob estas condições, o modelo de preferência do decisor pode fazer com que ele hesite entre dois dos três casos apresentados a seguir:

**$a I b$ :**  $a$  é indiferente a  $b$  (ou seja,  $a$  é tão atrativo quanto  $b$ );

**$a P b$ :**  $a$  é estritamente preferível a  $b$  ( $a$  é mais atrativo que  $b$ );

**$b P a$ :**  $b$  é estritamente preferível a  $a$  ( $b$  é mais atrativo que  $a$ ).

De acordo com os tipos de hesitação, pode haver dois tipos de relações (Roy, 1991):

1. preferência fraca (relação Q):

- $a Q b$  se a hesitação está entre  $a I b$  e  $a P b$  (estando o decisor certo que não existe motivos para considerar que  $b P a$ ).
- $b Q a$  se a hesitação está entre  $b I a$  e  $b P a$  (estando o decisor certo que não existe motivos para considerar que  $b P a$ ).

2. incomparabilidade (relação R):

- $a R b$  (ou  $b R a$ ) se a hesitação está entre  $a P b$  e  $b P a$  (o decisor é incapaz de comparar as duas ações)

Com base nestas relações, é possível, para cada critério associar uma *relação outranking restrita*  $S_j$  (Roy, 1991). Por definição,  $S_j$  é uma relação binária:  $a S_j b$  se os valores das performances  $v_j(a)$  e  $v_j(b)$  dão um argumento suficientemente forte para que a seguinte afirmação seja verdadeira para o juízo de valor do decisor (decisores):

‘a ação potencial  $a$ , com respeito apenas ao  $j$ -ésimo critério, é pelo menos tão boa quanto a ação potencial  $b$ ’.

É importante ressaltar que a expressão ‘pelo menos tão boa quanto’ deve ser considerada equivalente a ‘não é pior que’ (Roy, 1991). Desta forma o decisor tem certeza que a ação  $a$  não é pior que a  $b$  mas não tem certeza se as duas são indiferentes ou se  $a$  é melhor que  $b$ .

Neste ponto é necessário introduzir o conceito de *limiar de indiferença*  $q_j$  associado a  $v_j$ . Por definição, o limiar de indiferença é um número positivo de forma que:

$$a I b \text{ se e somente se } v_j(a) - v_j(b) \leq q_j.$$

Neste caso:

$$a S b \text{ se e somente se } v_j(a) \geq v_j(b) - q_j.$$

Graficamente, temos:

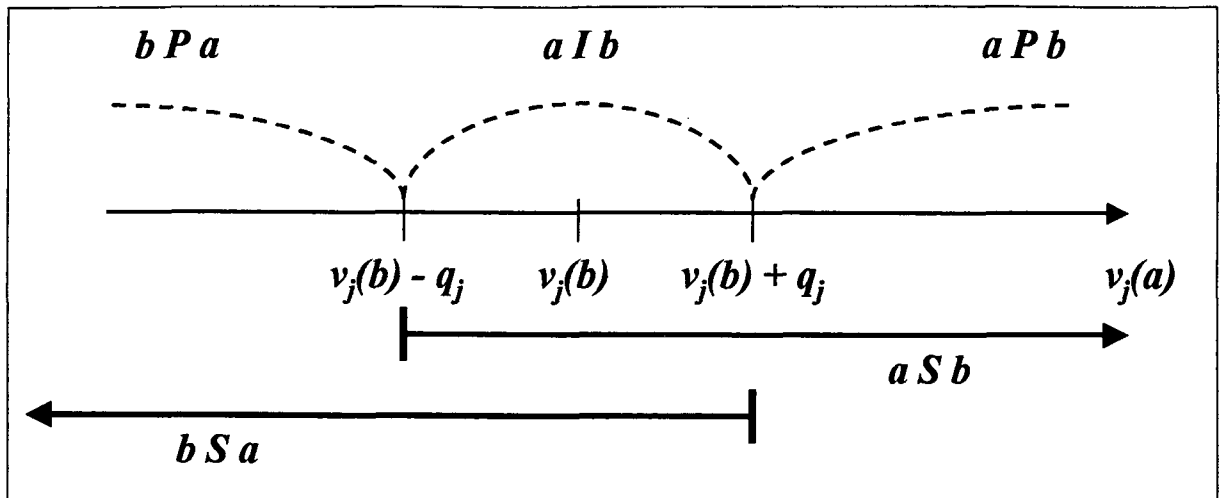


Figura 18 – Representação gráfica de uma Relação Outranking (adaptado de Vanderpooten, 1997).

Na Figura 18 temos no eixo  $v_j(a)$  os possíveis valores que a performance da ação potencial  $a$  pode assumir no  $j$ -ésimo critério. Assim, se o valor de  $v_j(a)$  estiver no intervalo entre  $v_j(b) - q_j$  e  $v_j(b) + q_j$  (onde  $q_j$  é o limiar de indiferença no  $j$ -ésimo critério),  $a I b$  (a ação potencial  $a$  é indiferente a ação potencial  $b$  com relação ao  $j$ -ésimo critério). Se o valor de  $v_j(a)$  for maior que  $v_j(b) + q_j$  neste caso  $a P b$  ( $a$  é preferível a  $b$ ). Nestes dois casos, a ação potencial  $a$  é pelo menos tão boa quanto a ação  $b$  e assim pode-se dizer que  $a S b$  (a ação potencial  $a$  'outrank' a ação potencial  $b$ ). A mesma lógica pode ser aplicada no lado esquerdo da Figura 18 para encontrar as relações que fazem com que  $b S a$ .

Numericamente, podemos considerar o conjunto de performances de três ações potenciais no  $j$ -ésimo de um modelo qualquer que tenha uma família  $F$  de critérios (Roy, 1991) com um limiar de indiferença associado a este critério  $q_j = 5$ :

$$v_j(a) = 50$$

$$v_j(b) = 55$$

$$v_j(c) = 42$$

Então temos que:

$$a S b \text{ pois } v_j(a) \geq v_j(b) - q_j [50 \geq (55 - 5)]$$

$$b S a \text{ pois } v_j(b) \geq v_j(a) - q_j [55 \geq (50 - 5)]$$

$$a S c \text{ pois } v_j(a) \geq v_j(c) - q_j [50 \geq (42 - 5)]$$

$$b S c \text{ pois } v_j(b) \geq v_j(c) - q_j [55 \geq (42 - 5)]$$

Entretanto  $c S a$  e  $c S b$  não são aceitáveis pois  $v_j(c) \leq v_j(a) - q_j [42 \leq (50 - 5)]$  e  $v_j(c) \leq v_j(b) - q_j (42 \leq 55 - 5)$ .

Assim, a imprecisão, ou a incerteza ou ainda inexatidão da determinação das preferências (Roy, 1989) do decisor (ou decisores) com relação as ações potenciais podem levá-lo a julgar que (Roy, 1991):

1.  $a$  é indiferente a  $b$  quando  $v_j(a) = v_j(b) \forall j \neq k$  mesmo se  $v_k(a) \neq v_k(b)$  (a diferença entre  $v_k(a)$  e  $v_k(b)$  está dentro do limiar de indiferença);
2.  $a$  é estritamente preferível a  $b$  quando  $v_j(a) = v_j(b) \forall j \neq k$  apenas se a diferença  $v_k(a) - v_k(b)$  é suficientemente significativa (ou seja, maior que um dado limiar de indiferença).

Estas duas últimas afirmações são as bases da análise de sensibilidade utilizando relações outranking, que será apresentada a seguir.

## 2.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE UTILIZANDO AS RELAÇÕES OUTRANKING

Bana e Costa (1995a) apresenta um tipo de análise de sensibilidade num modelo de agregação aditivo utilizando o conceito de limiar de veto (ou seja, se a diferença de atratividade entre duas ações for maior que este limiar, a ação que tem a pior performance é vetada, ou eliminada do processo de escolha). A intenção aqui é apresentar um outro tipo de análise de sensibilidade, agora baseado no limiar de indiferença  $q_j$ , já apresentado anteriormente.

Do ponto de vista de uma análise de sensibilidade, pode ser muito útil trabalhar com as incertezas e imprecisões associadas ao modelo separadamente em cada critério. Uma maneira de considerar a imprecisão dos dados e da representação do juízo de valor do decisor é tentar definir para cada critério de avaliação (do modelo usado para apoiar uma decisão) uma estrutura de preferência levando em conta o fato que pequenas diferenças entre as performances das ações em cada critério podem não ser significantes.

Pode ocorrer então uma zona de hesitação entre indiferença e preferência entre duas ações com relação a um critério quando a diferença de suas performances ( $v_j(a) - v_j(b)$ ) é “*nem tão pequena para justificar uma indiferença nem tão grande para corresponder a uma preferência claramente estabelecida*” (Roy, 1989, p.1249). Para lidar com esta hesitação de preferência, pode-se usar o conceito de limiar (limiar de indiferença  $q_j$ ), sendo “*a diferença entre duas avaliações significativa apenas se ela é suficientemente*

*grande*” (Bouyssou, 1989, p.84), ou seja, se for maior que o limiar de indiferença associado ao critério avaliado.

É interessante usar uma análise de sensibilidade deste tipo, pois como explicitado por Bouyssou (1989) e Roy (1989) há uma série de aproximações associadas a determinação dos parâmetros de um modelo multicritérios em apoio à decisão. Na verdade, o que se pode determinar são ordens de magnitude com relação a estes parâmetros e não números exatos. Isto ocorre porque é impossível modelar de forma exata o juízo de valor do decisor com relação a dado contexto decisório (e esta tarefa torna-se ainda mais árdua quando trata-se de um grupo de decisores). Deste modo, há imprecisão na determinação das funções de valor, das taxas de substituição e até mesmo nos níveis de impacto associados a cada ação potencial.

Assim, ao se introduzir o conceito de limiar de indiferença como uma nova forma de análise de sensibilidade, o que se pretende é modelar de forma mais completa o juízo de valores do decisor e assim fazer com que ele compreenda melhor o contexto decisório onde ele é instado a tomar uma decisão.

Desta forma, ao se aplicar uma análise de sensibilidade utilizando o limiar de indiferença, compara-se duas determinadas ações potenciais tendo em vista os critérios de avaliação do modelo de apoio à decisão, e só serão considerados na avaliação global os critérios onde a diferença de atratividade entre as ações potenciais for maior que o limiar de indiferença associado a cada critério. Nos critérios onde a diferença de atratividade entre as ações potenciais encontrar-se dentro do limiar de indiferença, as ações potenciais serão consideradas equivalentes.

Analicamente, tem-se:

$$\forall v_j(a) \text{ e } v_j(b), v_j(a) = v_j(b) \text{ se e somente se } |v_j(a) - v_j(b)| \leq q_j, j = 1, \dots, n.$$

$$\forall v_j(a) \text{ e } v_j(b), v_j(a) \neq v_j(b) \text{ se e somente se } |v_j(a) - v_j(b)| > q_j, j = 1, \dots, n.$$

onde:

$a$  e  $b$  – ações potenciais;

$v_j(a)$  e  $v_j(b)$  – atratividade local das ações potenciais  $a$  e  $b$  no  $j$ -ésimo critério;

$q_j$  – limiar de indiferença no  $j$ -ésimo critério;

$|v_j(a) - v_j(b)|$  - módulo (valor absoluto) da diferença entre  $v_j(a)$  e  $v_j(b)$ .

Vamos supor agora que nos  $k$  primeiros critérios de um modelo multicritérios de apoio à decisão com  $n$  critérios a diferença de atratividade local entre as ações  $a$  e  $b$  encontra-se dentro do limiar de indiferença e que nos demais critérios esta diferença seja superior ao limiar de indiferença. Assim, tem-se:

$$|v_j(a) - v_j(b)| \leq q_j \text{ e } v_j(a) = v_j(b); j = 1, \dots, k.$$

$$|v_j(a) - v_j(b)| > q_j \text{ e } v_j(a) \neq v_j(b); j = k+1, \dots, n.$$

Com isso, a diferença de atratividade global entre as ações potenciais  $a$  e  $b$  levando em conta os limiares de indiferença é dada por:

$$V(a) - V(b) = \sum_n^1 w_j \cdot v_j(a) - \sum_n^1 w_j \cdot v_j(b) \quad [14]$$

onde:

$V(a)$ ,  $V(b)$  – atratividade global das ações  $a$  e  $b$ , respectivamente;

$w_j$  – peso (taxa de substituição) do  $j$ -ésimo critério;

$v_j(a)$  e  $v_j(b)$  – atratividade local das ações potenciais  $a$  e  $b$  no  $j$ -ésimo critério.

Pode-se reescrever  $V(a)$  e  $V(b)$  separando-as em duas parcelas: uma representando os critérios onde a diferença de atratividade local entre as ações  $a$  e  $b$  encontra-se dentro do limiar de indiferença e a outra com os demais critérios:

$$V(a) = \left( \sum_k^1 w_j \cdot v_j(a) + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(a) \right) \quad [15]$$

$$V(b) = \left( \sum_k^1 w_j \cdot v_j(b) + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(b) \right) \quad [16]$$

Deste modo:

$$V(a) - V(b) = \left( \sum_k^1 w_j \cdot v_j(a) + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(a) \right) - \left( \sum_k^1 w_j \cdot v_j(b) + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(b) \right) \quad [17]$$

como  $v_j(a) = v_j(b)$  para  $j = 1, \dots, k$ , tem-se:

$$V(a) - V(b) = \left( \cancel{\sum_k^1 w_j \cdot v_j(a)} + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(a) \right) - \left( \cancel{\sum_k^1 w_j \cdot v_j(b)} + \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(b) \right)$$

$$V(a) - V(b) = \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(a) - \sum_n^{k+1} w_j \cdot v_j(b) \quad [18]$$

E assim se considera, quando da comparação da atratividade global entre duas ações  $a$  e  $b$ , somente aqueles critérios onde a diferença de atratividade global é significativa de acordo com o modelo de preferência do decisor.

Para exemplificar uma aplicação de uma análise de sensibilidade deste tipo, considere-se um modelo multicritérios de apoio à decisão com 5 critérios de avaliação. Sob a ótica deste modelo duas ações potenciais são avaliadas e suas atratividades locais estão representadas na Tabela 6. Nesta tabela também estão os limiar de indiferença e o peso para cada critério.

**Tabela 6 – Ilustração de uma Análise de Sensibilidade utilizando relações Outranking.**

	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5
$v_j(a)$	50	65	60	89	48
$v_j(b)$	67	53	78	100	38
$q_j$	18	10	20	12	10
$w_j$	0,2	0,3	0,1	0,16	0,24

Num primeiro momento, são desconsiderados os limiares de indiferença para calcular a diferença de atratividade global entre as ações  $a$  e  $b$ . Usando a equação 14, temos:

$$V(a) - V(b) = \sum_n^1 w_j \cdot v_j(a) - \sum_n^1 w_j \cdot v_j(b)$$

$$V(a) - V(b) = (w_1 \cdot v_1(a) + w_2 \cdot v_2(a) + w_3 \cdot v_3(a) + w_4 \cdot v_4(a) + w_5 \cdot v_5(a)) - (w_1 \cdot v_1(b) + w_2 \cdot v_2(b) + w_3 \cdot v_3(b) + w_4 \cdot v_4(b) + w_5 \cdot v_5(b))$$

$$V(a) - V(b) = (0,2 \times 50 + 0,3 \times 65 + 0,1 \times 60 + 0,16 \times 89 + 0,24 \times 48) - (0,2 \times 67 + 0,3 \times 53 + 0,1 \times 78 + 0,16 \times 100 + 0,24 \times 38)$$

$$V(a) - V(b) = 61,26 - 62,22 = -0,96$$

Assim, como a diferença  $V(a) - V(b)$  deu um valor negativo (-0,96) a ação potencial  $b$  é um pouco mais atrativa que a ação potencial  $a$ . Como a diferença é muito pequena, vale a pena então considerar os limiares de indiferença para avaliar a diferença de atratividade global entre as duas ações potenciais. Para isto é preciso primeiro identificar aqueles critérios onde a diferença de atratividade local é maior que o limiar de indiferença:

$$\text{Critério 1: } |v_1(a) - v_1(b)| = |50 - 67| = 17 < q_1 \rightarrow \text{menor que o limiar}$$

$$\text{Critério 2: } |v_2(a) - v_2(b)| = |65 - 53| = 12 > q_2 \rightarrow \text{maior que o limiar}$$

Critério 3:  $|v_3(a) - v_3(b)| = |60 - 78| = 18 < q_3 \rightarrow$  menor que o limiar

Critério 4:  $|v_4(a) - v_4(b)| = |89 - 100| = 11 < q_4 \rightarrow$  menor que o limiar

Critério 5:  $|v_5(a) - v_5(b)| = |48 - 38| = 10 = q_5 \rightarrow$  igual ao limiar

Desta forma, ao considerar-se os limiares de indiferença, para estimar a diferença de atratividade global entre a ação potencial  $a$  e  $b$  usa-se apenas a avaliação parcial no critério 2 pois este é o único critério onde a diferença de atratividade local é maior que o limiar de indiferença:

$$V(a) - V(b) = w_2 \cdot v_2(a) - w_2 \cdot v_2(b) = 0,3 \times 65 - 0,3 \times 53 = 19,5 - 15,9 = 3,6$$

Assim, se forem considerados os limiares de indiferença quando da comparação entre a ação potencial  $a$  e  $b$ , a ação  $a$  passa ser mais atrativa do que a  $b$  pois agora a diferença entre as duas avaliações globais é positiva (3,6). Com isto, o decisor tem mais uma informação para auxiliá-lo a tomar uma decisão que é a de que se ele considerar apenas os critérios onde existe realmente uma diferença significativa entre  $a$  e  $b$ , a ação potencial  $a$  é mais preferível do que a  $b$ , sempre levando em conta o juízo de valor do decisor (pois é ele que estima, em conjunto com o facilitador, os valores dos parâmetros usados no modelo).

Finalmente, deve-se observar que o que se está propondo aqui é mais um tipo de análise de sensibilidade, objetivando que com a sua aplicação o decisor passe a aprender mais sobre o seu contexto decisório (problema). É importante também ressaltar que este tipo de análise só pode ser feita quando se compara as ações potenciais par-a-par, não se podendo, pela própria definição das relações outranking, aplicar uma análise de sensibilidade deste tipo para cada ação potencial individualmente ou para um conjunto de ações potenciais (entendendo-se aqui como sendo conjunto um número de ações potenciais maior do que dois).

É importante salientar também que este tipo de análise de sensibilidade obtêm melhores resultados quando o par de ações potenciais onde é aplicada, tem uma avaliação global semelhante ou quando o decisor está em dúvida quanto a diferença da avaliação global entre duas ações potenciais que ele julga importantes.

Em alguns casos, pode ocorrer do decisor considerar que para certos critérios não exista limiar de indiferença ( $q_j = 0$ ). Neste caso, qualquer variação na atratividade local nestes critérios é considerada significativa para o decisor. Isto é mais



comum de acontecer nos critérios onde é feita uma avaliação qualitativa das ações potenciais (por exemplo, no caso de se avaliar uma dada ação potencial quanto a critérios eminentemente subjetivos, como o status associado a compra de um carro). Entretanto, isto não se constitui numa regra geral.

### **3. CONSTRUÇÃO DE UM MODELO MULTICRITÉRIOS PARA APOIAR A DECISÃO DA ESCOLHA DO COMBUSTÍVEL PARA ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS USADAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Este capítulo objetiva apresentar como foi elaborado o Modelo Multicritérios para Apoiar a Decisão da Escolha do Combustível para alimentação de caldeiras usadas na indústria têxtil. Esta parte prática do trabalho foi realizada na unidade Itororó da Hering Têxtil S.A., localizada em Blumenau, Santa Catarina. O autor deste trabalho atuou como facilitador e os decisores foram engenheiros da empresa que trabalham na área de projeto, manutenção e operação das caldeiras da unidade.

Será abordado o contexto decisório em que está inserido o problema da escolha do “Combustível” e toda a fase de estruturação do modelo. A seguir será apresentada a fase de avaliação onde são analisadas as ações potenciais viáveis sob a ótica do modelo. Ao final do capítulo serão efetuadas análises de sensibilidade com os resultados obtidos visando aumentar o conhecimento dos decisores sobre o modelo e o seu contexto decisório. Os passos para a construção do modelo seguem basicamente aqueles descritos nos capítulos 1 e 2 deste trabalho.

#### **3.1 DEFINIÇÃO DO CONTEXTO DECISÓRIO**

A Hering Têxtil S.A. foi fundada em 1880 pelos irmãos Hermann e Bruno Hering na cidade de Blumenau, Estado de Santa Catarina. É a maior indústria de confecção do Brasil, produzindo cerca de 6 milhões de peças por mês. Teve um faturamento no ano de 1997 de aproximadamente 343 milhões de reais, abastecendo os mercados norte-americano, europeu e da América Latina. A unidade onde foi aplicado o modelo descrito neste trabalho é a unidade Itororó, localizada no Bairro Velha, também em Blumenau. Esta unidade é responsável pelo beneficiamento, tingimento, talharia (corte da malha), estamparia e confecção das malhas produzidas pela Hering.

A Hering, como as demais indústrias, vem sentindo nos últimos anos pressões da sociedade com relação aos impactos que o processo produtivo causa ao meio ambiente. Se na época em que surgiram as primeiras indústrias as preocupações ambientais eram poucas e a fumaça das chaminés era vista como sinal de progresso, hoje em dia ocorre o inverso, pois esta mesma fumaça é vista como uma anomalia e não uma vantagem (Donaire, 1994).

Desta forma preservar o meio ambiente, para as empresas de hoje que vivem num ambiente globalizado, deixou de ser uma exigência punida com multas, passando a ser uma vantagem competitiva usada pelas empresas para galgar posições no mercado. A dimensão ambiental deixou de ser um fator externo à organização empresarial passando a ser um condicionante significativo na tomada de decisões (Guimarães *et al*, 1995). E a sua importância tende a aumentar ainda mais com as restrições impostas a produtos cujo processo produtivo agride ao meio ambiente feitas pelos tratados que regulam o comércio exterior, como o GATT – Acordo Geral de Comércio e Tarifas (Guimarães, 1994).

A preocupação ambiental levou também a ISO (*International Standardization Organization*) a formar em 1991 um comitê visando estudar a necessidade de uma abordagem mundial comum com relação a gestão do meio ambiente. Assim, em 1995 surge a série ISO 14001, que tem como objetivo harmonizar as normas nacionais e internacionais existentes em uma linguagem internacionalmente aceita (Nahuz, 1995).

Tendo em vista o exposto acima, a Hering sempre foi uma empresa que se preocupou com os impactos que poderia causar ao meio ambiente, sendo uma das primeiras indústrias da região a ter preocupações ambientais (Coelho, 1996). Em 1995, a Hering iniciou o processo para conquistar o certificado ISO 14001. O certificado ISO 14001 foi conseguido em abril de 1998, através das empresas certificadoras DQS (*Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen mbH*), alemã, e da Fundação Carlos Alberto Vanzolini, brasileira.

Entretanto, mesmo preocupada com a questão ambiental, as emissões atmosféricas das chaminés das caldeiras, embora dentro dos limites legais permitidos pelos órgãos ambientais do Estado, estão acima das metas ambientais definidas pela empresa. As caldeiras, alimentadas por lenha e óleo combustível, são utilizadas no processo de tingimento, onde é necessária grande quantidade de calor.

As metas ambientais da empresa prevêem que até o final de 1999, as emissões atmosféricas geradas pelas três caldeiras da unidade Itororó deverão ser no

mínimo 10% inferiores às atuais (vide anexo I). Atualmente o controle das emissões é feito semanalmente, com a regulação dos equipamentos, e a cada dois anos, com a contratação de uma empresa externa, a RCLF Medições Ambientais, de São Paulo.

Neste sentido, foi percebido que deveria se atuar nas caldeiras de forma a diminuir estas emissões, e isto poderia ser conseguido trocando-se o combustível da caldeiras ou instalando-se filtros nas chaminés. Mas os contextos decisórios que envolvem aspectos ambientais são muito complexos e com isto os métodos tradicionais de análise econômica que procuram julgar tudo em termos monetários são de difícil aplicação nesta área (Holz, 1998). Um contexto decisório complexo é segundo Churchill (1990) aquele que necessita um grande esforço na sua fase de estruturação porque envolve diversos atores com distintas relações de poder, cada um com diferentes valores, percepções e objetivos.

As abordagens Multicritérios em Apoio à Decisão (MCDA) tem como característica principal considerar que os processos decisórios são complexos: existem muitos atores, cada um com sua própria interpretação dos eventos relacionados com o problema e com seus próprios sistemas de valores (Roy e Vanderpooten, 1996). As abordagens MCDA reconhecem os limites da objetividade, e assim levam em conta a subjetividade dos atores (Roy, 1993). Por estes motivos esta é a abordagem a ser adotada neste trabalho.

Foram definidos quatro engenheiros da unidade Itororó da Hering como decisores para a estruturação do modelo e avaliação das ações potenciais: o gerente de Engenharia e Manutenção e mais três engenheiros da área de projetos, manutenção e operação das caldeiras. Estes decisores foram escolhidos pela empresa para participar do processo por seus grandes conhecimentos sobre o assunto, tendo em vista a experiência por eles adquirida na operação e manutenção das caldeiras da unidade. A seguir são apresentados os passos para a construção do modelo.

### **3.2 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO**

Para elaborar um modelo para solucionar este problema, o autor contou, como exposto anteriormente, com a ajuda de quatro engenheiros que cuidam da manutenção e operação das caldeiras. Foram feitas 10 visitas a unidade Itororó da Hering

Têxtil e nessas visitas foram feitas reuniões com os decisores (individuais e em grupo). Sete destas visitas foram necessárias para a fase de estruturação do modelo (seções 3.2 à 3.4) e 3 para a parte de avaliação (seções 3.5 à 3.8).

Na primeira visita foi feita uma reunião com todos os decisores para uma rápida apresentação do método a ser empregado, onde os decisores expuseram o contexto decisório que queriam modelar. Nesta reunião também foi definida a problemática técnica de avaliação a ser utilizada (vide seção 1.3). Por se tratar de selecionar uma das ações potenciais a problemática que melhor se ajustava ao contexto era a Problemática Técnica da Escolha (P.α).

### **3.2.1 Elementos Primários de Avaliação**

Na primeira reunião foi ainda solicitado aos decisores que pensassem num rótulo para definir a sua situação problemática. O rótulo escolhido foi:

“Modelo Multicritérios para Apoiar a Decisão da Escolha do Combustível para Alimentação de Caldeiras Usadas na Unidade Itororó da Hering Têxtil levando em conta Aspectos Ambientais.”

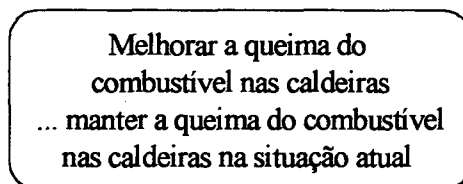
Ao final desta primeira visita foi solicitado a cada um dos decisores que refletissem em aspectos que consideravam importantes quando pensavam no problema das emissões atmosféricas das caldeiras.

A segunda e a terceira visitas constituíram-se de reuniões individuais com os decisores. Na primeira meia hora de cada uma destas reuniões foram definidos os elementos primários de avaliação (vide seção 1.4). Os elementos primários de avaliação (EPA's) são aspectos que os decisores julgam importante para analisar um determinado contexto decisório. Cada decisor citou em torno de 10 EPA's e o processo de obtenção terminava quando o decisor começava a repetir os mesmos conceitos só que expressos de formas diferentes. No anexo II são apresentados os EPA's obtidos com cada um dos decisores.

### 3.2.2 Mapas Cognitivos Individuais

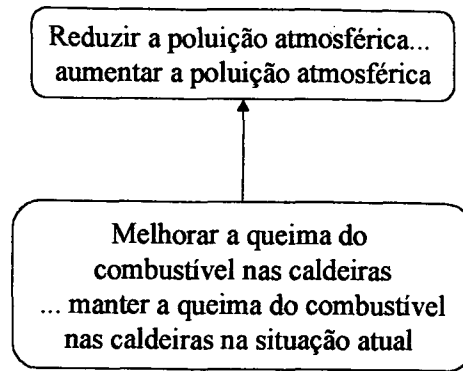
Na mesma reunião em que foram definidos os EPA's de cada decisor, foi iniciada a construção dos mapas cognitivos (vide seção 1.5). Para isto, dentre os EPA's enunciados pelo decisor um era escolhido como o ponto de partida para iniciar o processo de elaboração do mapa cognitivo individual. No caso do decisor A (para manter sigilo quanto a identidade dos decisores, os mesmos serão chamados, a partir deste ponto, de "A", "B", "C" e "D") o elemento primário de avaliação escolhido foi "processo de queima da caldeira".

A seguir foi solicitado ao decisor que orientasse a ação este EPA (Ackermann et al, 1995). O decisor assim definiu o pólo presente do conceito como sendo "Melhorar a queima do combustível nas caldeiras". A partir daí foi solicitado ao decisor que expressasse o oposto de "melhorar a queima do combustível nas caldeiras". Para o decisor o pólo oposto é "Manter a queima do combustível nas caldeiras na situação atual". Assim foi definido o primeiro conceito do mapa, com o seu pólo presente e seu pólo oposto: "Melhorar a queima do combustível nas caldeiras... manter a queima do combustível nas caldeiras na situação atual" (Figura 19).



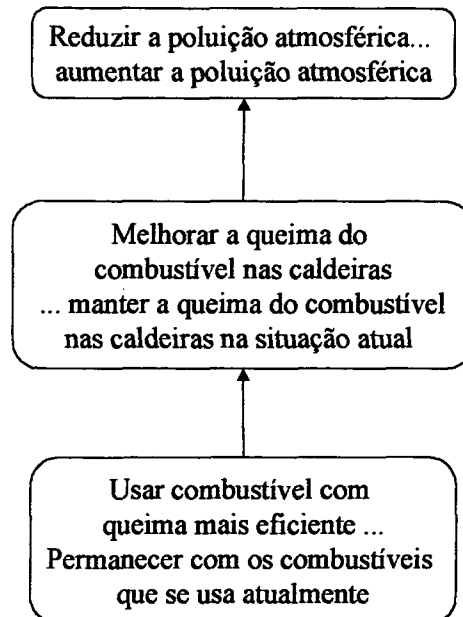
**Figura 19 – Conceito inicial do Mapa Cognitivo do Decisor "A".**

A partir daí o facilitador questionou "Por que melhorar a queima do combustível nas caldeiras é importante?", tendo como resposta "que é importante para reduzir a poluição atmosférica". Novamente o decisor é solicitado a expressar o seu oposto psicológico com relação ao pólo presente "reduzir a poluição atmosférica": "aumentar a poluição atmosférica". Estabelece-se então uma relação de influência meios-fins entre os dois conceitos expressos pelo decisor, conforme a Figura 20.



**Figura 20 – Mapa Cognitivo do Decisor “A” indo em direção aos fins.**

O facilitador agora questiona o decisor como fazer para “Melhorar a queima do combustível nas caldeiras”. O decisor respondeu que isto é obtido procurando se “usar combustível com queima mais eficiente”. O oposto psicológico a este constructo é, segundo o decisor, “Permanecer com os combustíveis que se usa atualmente”. O mapa então fica, então representado, até este momento, pela Figura 21.



**Figura 21 - Mapa Cognitivo do Decisor “A” indo em direção aos meios.**

O mesmo procedimento é repetido para os novos conceitos obtidos, sempre perguntado “porque este conceito é importante” (indo em direção aos fins) e “como este conceito é obtido” (indo desta maneira em direção aos meios). O mapa completo do

decisor “A” é apresentado na Figura 61 do anexo III. Os mapas individuais dos outros decisores também são apresentados no anexo III.

A construção dos mapas dos decisores levou em torno de uma hora e meia para cada decisor. Construído o mapa é necessário validá-lo, pois na primeira iteração com o decisor o mapa fica muito difícil para ser analisado. Para facilitar a análise, utiliza-se o software COPE (Ackermann *et al*, 1995, Belton *et al*, 1997), que permite que se reorganize o mapa juntando numa mesma área conceitos que tratam dos mesmos aspectos. Desta forma, na quarta visita foram feitas novamente reuniões individuais (cada uma de no máximo meia hora) com os decisores onde o mapa após ser reorganizado é apresentado ao decisor que pode desta forma acrescentar, excluir ou modificar os conceitos presentes no mapa. Os mapas apresentados no anexo III já são os mapas validados pelos decisores.

### **3.2.3 Mapas Cognitivos do Grupo**

Tendo sido construídos os mapas individuais, o próximo passo é agregá-los num mapa do grupo de maneira a tentar representar o que o grupo de decisores leva em consideração ao analisar o problema da diminuição da emissão de poluentes atmosféricos pelas caldeiras. O facilitador então procurou juntar os conceitos dos mapas individuais em “clusters”. Os “clusters” podem ser definidos como um conjunto de conceitos que tratam do mesmo aspecto (Eden, 1985), ou seja, que tem uma relação de influência forte.

Sendo assim, na quinta visita foi feita uma reunião com todos os decisores para apresentação dos “clusters” encontrados nos mapas individuais pelo facilitador. Estes “clusters” formam o chamado mapa agregado do grupo (Montibeller Neto, 1996). Nesta reunião, os “clusters” foram apresentados e os decisores ficaram livres para efetuar modificações nos conceitos, inclusive na sua disposição. A apresentação do mapa agregado do grupo por “clusters” é uma forma de facilitar o entendimento do mesmo (Eden, 1985), já que um mapa completo facilmente ultrapassa 100 conceitos.

O mapa modificado pelo grupo é então novamente analisado pelo facilitador e assim na sexta visita a empresa foi feita uma reunião para apresentar o mapa congregado do grupo, ou seja, o mapa que foi modificado e validado pelo grupo na reunião anterior. A



Figura 22 ilustra o “cluster” ‘Meio Ambiente’ do mapa congregado do grupo. O anexo III mostra todo os sete “clusters” identificados no mapa congregado do grupo de decisores.

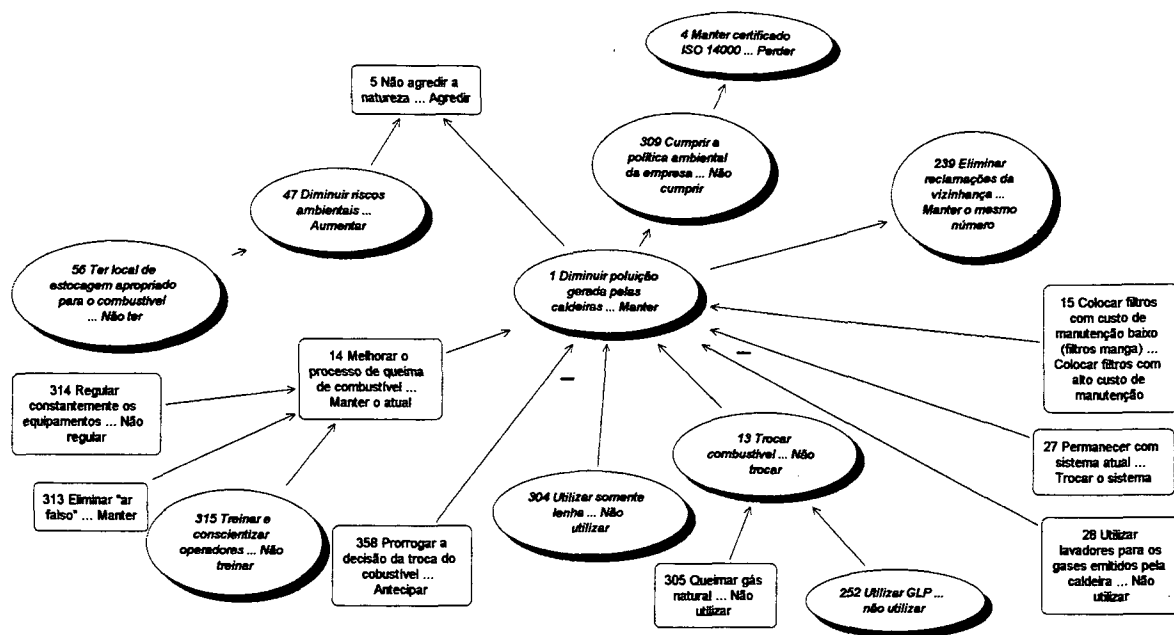


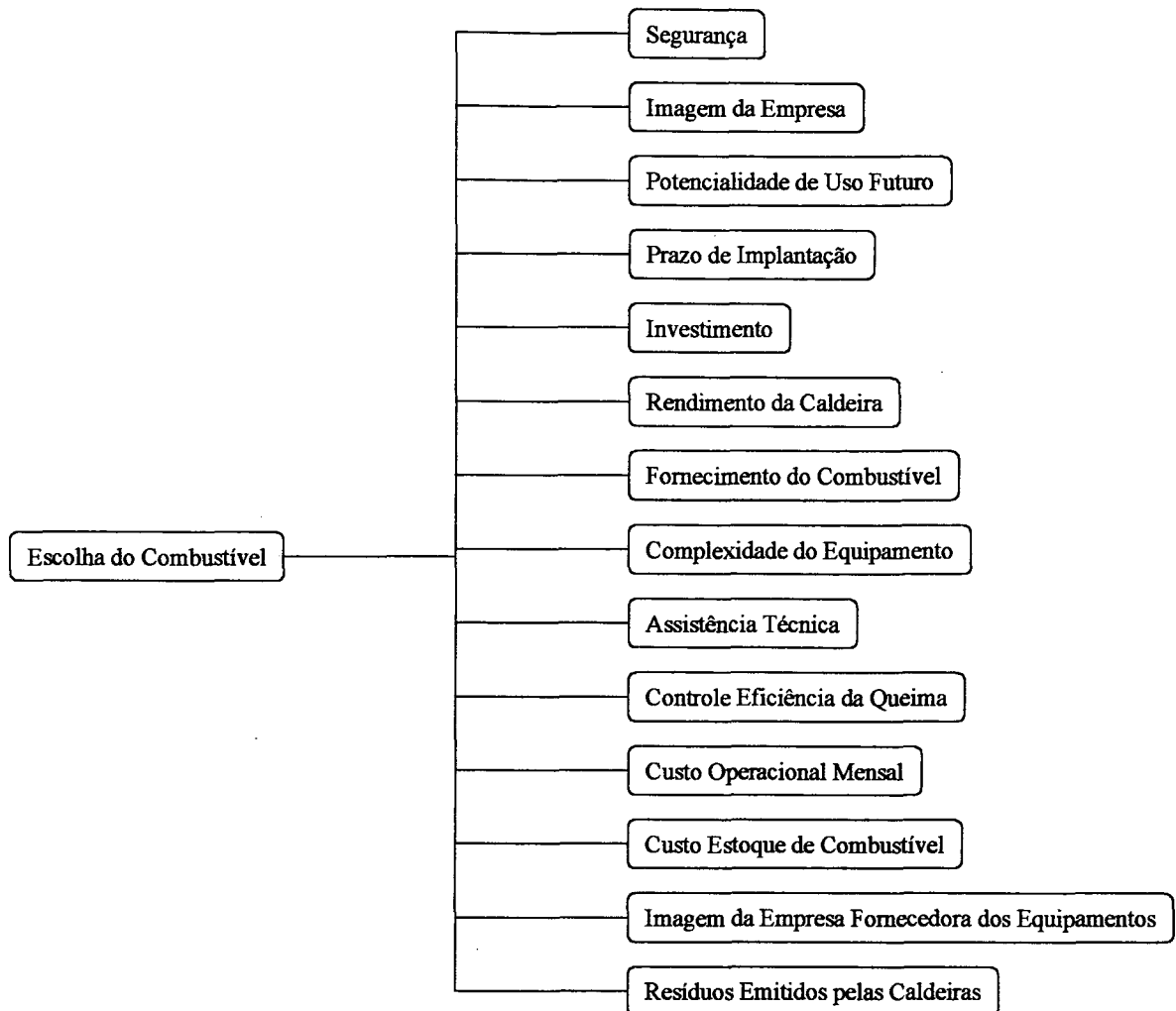
Figura 22 - Mapa Cognitivo da Área de Interesse Ambiente.

É importante salientar que a divisão do mapa em “clusters” não é rígida, pois muitos conceitos influenciam mais de um “cluster” simultaneamente (Ensslin *et al.*, 1997). Nos mapas do anexo III os conceitos numa moldura oval indicam aqueles conceitos que aparecem em mais de um “cluster”.

### 3.2.4 Arborescência de Pontos de Vista Fundamentais

A partir dos “clusters” do mapa congregado foram identificados pelo facilitador os candidatos a pontos de vista fundamentais do modelo (Montibeller Neto, 1996, Lima, 1997 e Ensslin *et al.*, 1997). O processo de transição dos mapas para a arborescência de Pontos de Vista Fundamentais deve ser preferencialmente feita pelo facilitador sem a presença dos decisores (Belton *apud* Montibeller Neto, 1996), pois é muito difícil explicar para os decisores a forma como é obtida a arborescência de PVFs a

partir dos mapas. Na Figura 23 é apresentada uma arborescência de Candidatos a Pontos de Vista Fundamentais para o modelo.



**Figura 23 – Arborescência de Candidatos a Pontos de Vista Fundamentais.**

Assim, na sexta visita a empresa, além da apresentação dos mapas congregados, foi apresentada a arborescência de candidatos a PVFs. Os decisores, ao analisarem em conjunto com o facilitador a arborescência, decidiram que os PVFs “imagem da empresa fornecedora de equipamentos no mercado” e “resíduos emitidos pelas caldeiras” eram critérios de rejeição (seção 3.4). Os PVFs Fornecimento de combustíveis e assistência técnica também foram modificados ao serem subdivididos em pontos de vista elementares (Figura 24).

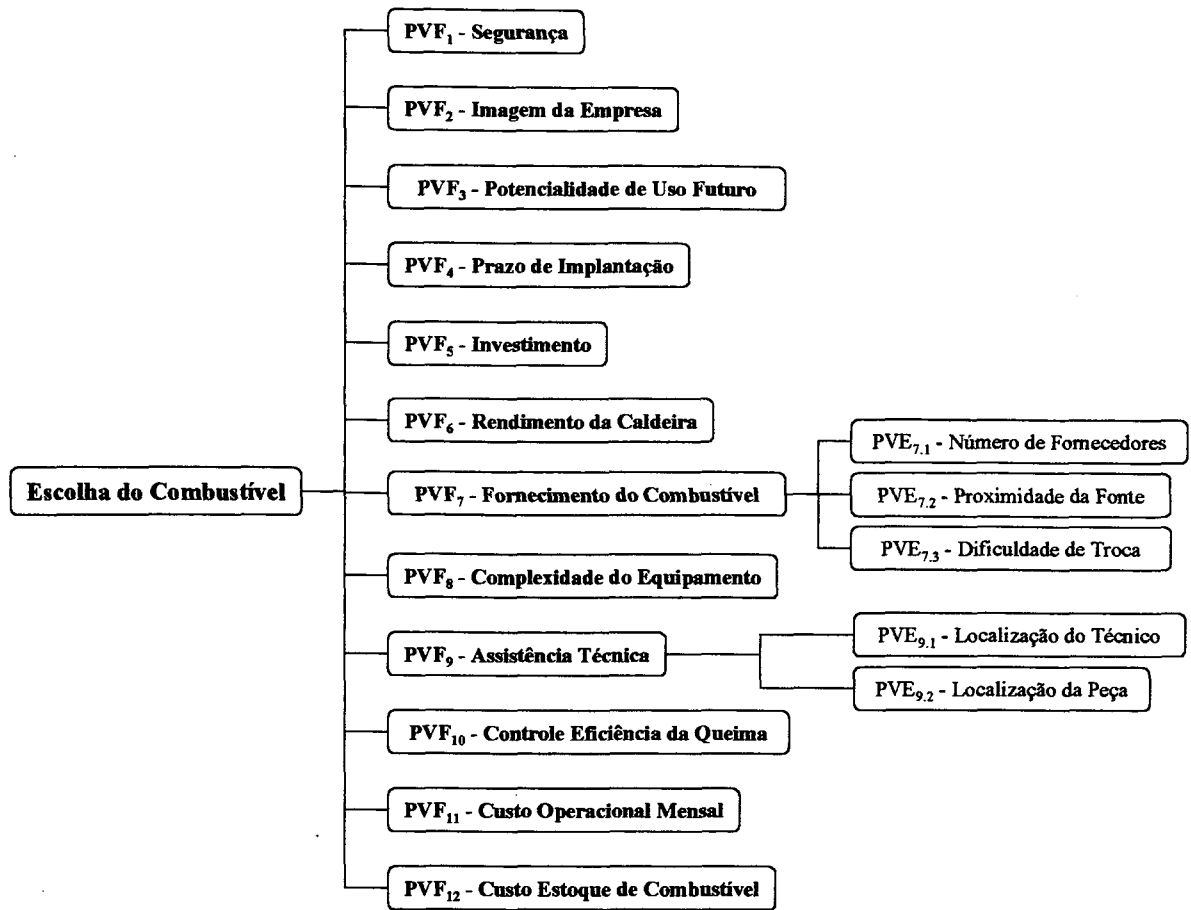


Figura 24 - Arborescência de Pontos de Vista Fundamentais.

### 3.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Na sétima visita fez-se a operacionalização dos pontos de vista fundamentais. Isto é feito com a construção de descritores e determinação das funções de valor (escalas de atratividade local) que permitem medir as características das ações potenciais em relação a um dado Ponto de Vista Fundamental. As funções de valor dos descritores foram construídas pelos decisores em conjunto com o facilitador na oitava visita deste a empresa. Este procedimento é a transição dos pontos de vista fundamentais para critérios de avaliação (vide seção 1.6.3).

Neste modelo, em muitos critérios de avaliação os decisores optaram por utilizar descritores construídos baseados nas ações potenciais julgadas por eles viáveis. Estas ações potenciais acabaram por surgir quando da elaboração dos EPA's e dos Mapas Cognitivos e são elas: lenha com filtro (para os gases provenientes da sua combustão), óleo

combustível com filtro, GLP (gás liquefeito de petróleo), gás natural e GLP e gás natural (ou seja, esta ação potencial representa a utilização dos combustíveis em conjunto, sendo que preferencialmente se utilizar-se-á do gás natural usando-se o GLP como uma alternativa à falta daquele).

Nas próximas seções são descritos os critérios de avaliação utilizados no modelo.

### 3.3.1 Segurança

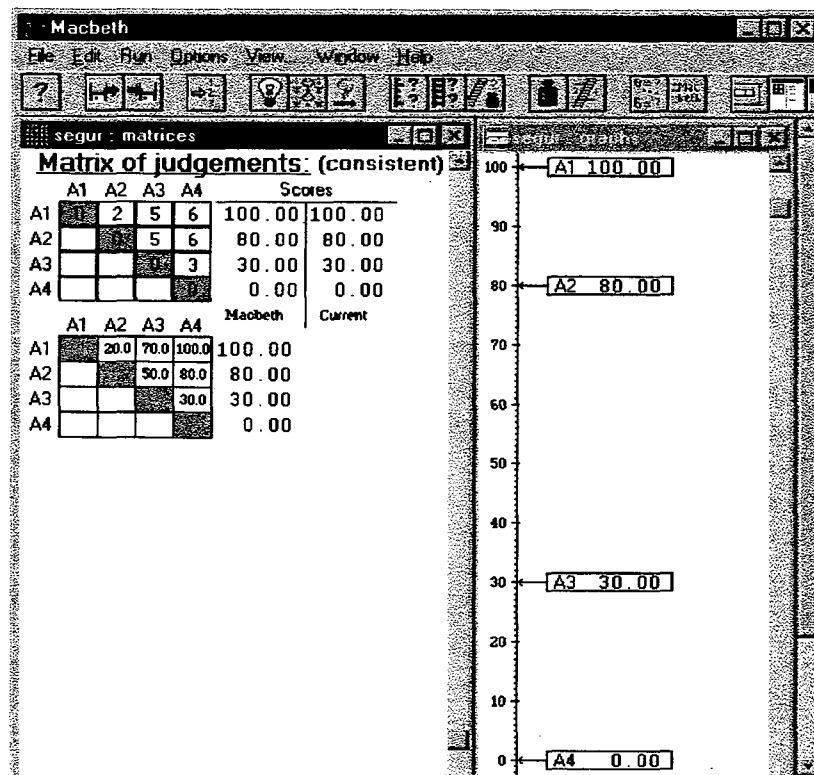
Este critério avalia as ações potenciais (alternativas de combustível) em relação a segurança proporcionada pelo combustível. Neste critério são avaliados vários aspectos: segurança na armazenagem, no manuseio do combustível, na alimentação da caldeira, na operação da caldeira, riscos ambientais causado por um eventual vazamento, se o combustível é sólido, líquido ou gasoso (sendo que o sólido é mais seguro e o gasoso é o que apresenta menor segurança), segurança na manutenção dos estoques entre outros.

No mapa cognitivo congregado do grupo de decisores que representa a área *Segurança*, pode-se visualizar os aspectos que foram levados em conta na construção deste descritor (vide anexo III). Por considerar um grande número de aspectos, os decisores optaram por avaliar este critério utilizando-se de um descritor construído baseado diretamente nas ações potenciais viáveis. Desta forma, o melhor nível ( $N_4$ ) representa a segurança proporcionada pela lenha (vale ressaltar que ao se falar em lenha está se considerando a sua utilização com filtro para as emissões atmosféricas advindas da sua queima) e o pior ( $N_1$ ) é representado pela segurança que os decisores julgam que o GLP oferece. As outras ações potenciais oferecem uma segurança percebida entre estes dois extremos, sendo que o óleo combustível é melhor neste quesito em relação ao gás natural. A Tabela 7 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Segurança*.

Tabela 7 – Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Segurança*.

Critério 1: Segurança		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>	Combustível com segurança semelhante àquela proporcionada pela <b>lenha</b> .	100
N <sub>3</sub>	Combustível com segurança semelhante àquela proporcionada pelo <b>óleo combustível</b> .	80
N <sub>2</sub>	Combustível com segurança semelhante àquela proporcionada pelo <b>gás natural</b> .	30
N <sub>1</sub>	Combustível com segurança semelhante àquela proporcionada pelo <b>GLP</b> .	0

A escala MACBETH referida acima é a representação da função de valor, associada a este critério, que reflete a diferença de atratividade que os decisores julgam existir entre os níveis de impacto do descritor associado ao critério *Segurança*. A escala MACBETH é encontrada utilizando-se o procedimento descrito na seção 1.8 gerando assim uma matriz semântica que é introduzida no software MACBETH. A Figura 25 apresenta a escala MACBETH que melhor representa os juízos de valores dos decisores apresentados na matriz semântica (as matrizes semânticas de todos os critérios e sub-critérios usadas pelo método MACBETH estão no anexo IV).

Figura 25 – Escala MACBETH para o critério *Segurança*.

Esta escala foi apresentada aos decisores e por eles validada através do questionamento se as diferenças de atratividade entre os níveis do descritor do critério *Segurança* estavam representadas pela escala calculada pelo programa. Como a resposta a este questionamento foi positiva, ou seja, os juízos de valor dos decisores estavam adequadamente representadas pela escala MACBETH encontrada, procedeu-se o próximo passo da fase de estruturação do modelo que é a obtenção do níveis de referência Bom e Neutro (seção 1.9).

No caso deste critério, o nível Bom foi considerado pelos decisores como sendo representado pelo nível  $N_4$  (segurança proporcionada pelo uso da lenha) e o nível Neutro foi julgado ser o  $N_3$  (segurança proporcionada pelo uso do óleo combustível). De posse destas informações, o software MACBETH recalcula automaticamente a escala, atribuindo o valor 100 para o nível Bom e 0 para o nível Neutro, utilizando o mesmo procedimento descrito na seção 1.9. A nova escala pode ser vista a direita na Figura 26.

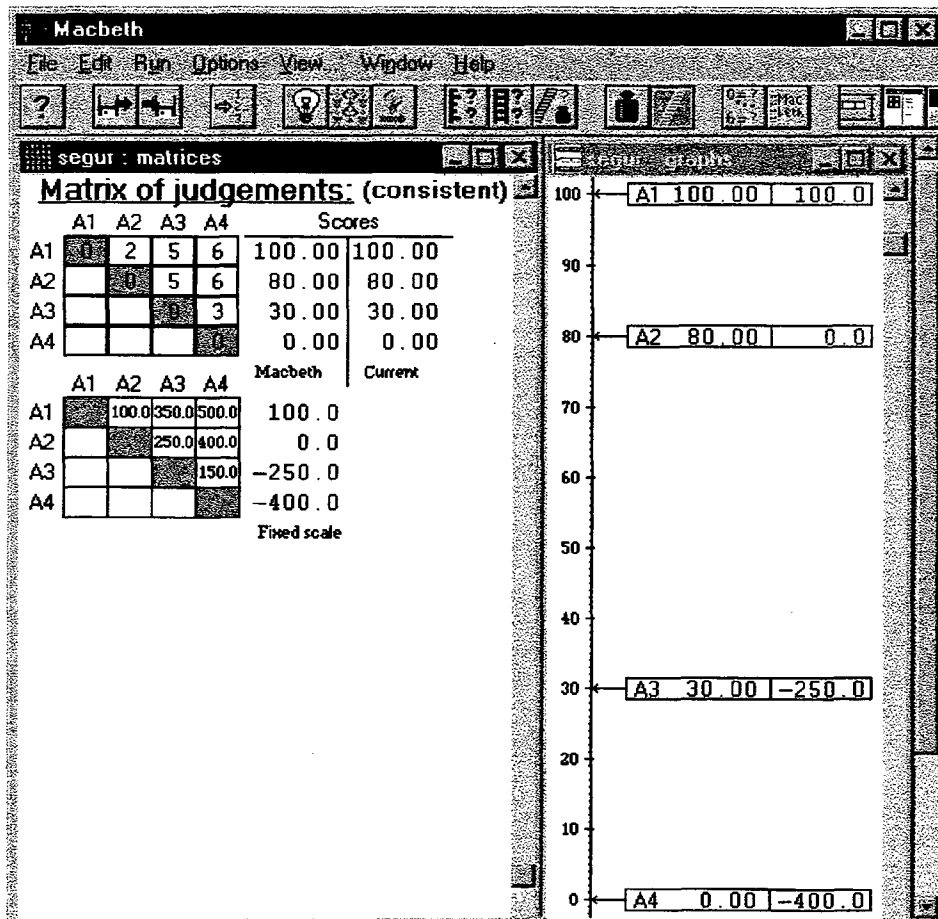
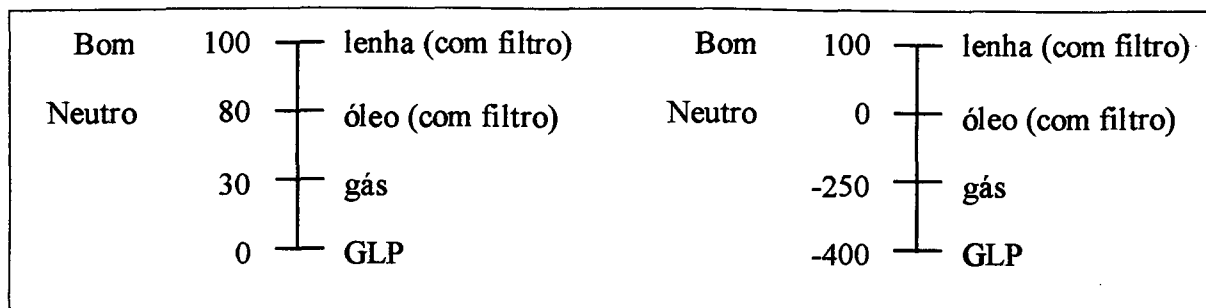


Figura 26 - Escala MACBETH original e rescalonada para o critério *Segurança*

Já a Figura 27 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Segurança*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.



**Figura 27 – Escala MACBETH original e reescalada associadas aos níveis de impacto do critério *Segurança*.**

A escala MACBETH encontrada para os níveis de impacto do critério *Segurança* representa a atratividade (preferência) local que cada um destes níveis têm para os decisores. Este mesmo procedimento para estimar a atratividade local dos níveis de impacto foi aplicado aos demais critérios do modelo. A seguir são apresentadas os descritores, os níveis de impacto e a escala MACBETH calculada dos demais critérios de avaliação do modelo.

### 3.3.2 Imagem da empresa

Este critério avalia a influência que o combustível utilizado na caldeira tem para a imagem da empresa junto ao público. Foi considerado que a utilização de determinados combustíveis repercutem positivamente para a imagem da empresa (como o gás natural e GLP) enquanto que outros repercutem negativamente (óleo combustível e lenha).

Por este ser um critério de avaliação eminentemente subjetivo, os decisores em conjunto com o facilitador elaboraram um descritor construído baseado diretamente nas ações potenciais viáveis. Desta forma, o melhor nível de impacto ( $N_3$ ) foi associado à imagem gerada pela utilização de do gás natural e GLP (pois os decisores consideraram

indiferentes estas duas ações potenciais com relação a este critério) e o pior nível ( $N_1$ ) o uso da lenha, ficando o óleo combustível numa posição intermediária.

Maiores detalhes sobre os aspectos considerados neste critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área *Imagem da empresa* no Anexo III. A Tabela 8 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Imagem da empresa*.

Tabela 8 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Imagem da Empresa*.

Critério 2: Imagem da Empresa		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
$N_3$	Combustível que influencia a imagem da empresa de forma semelhante ao gás natural e GLP.	100
$N_2$	Combustível que influencia a imagem da empresa de forma semelhante ao óleo combustível.	35
$N_1$	Combustível que influencia a imagem da empresa de forma semelhante à lenha.	0

A Figura 28 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Imagem da empresa*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

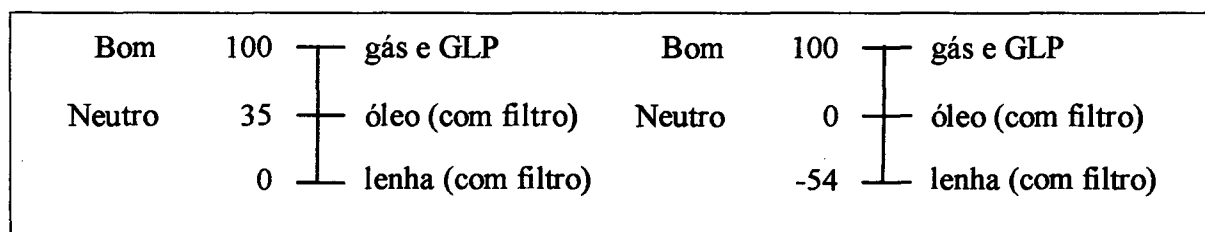


Figura 28 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Imagem da empresa*.

### 3.3.3 Potencialidade de uso futuro

Este critério avalia a potencialidade de uso futuro proporcionada pelo combustível a ser utilizado na caldeira. Foi considerado que determinados combustíveis tem um maior potencial de uso futuro, ou seja, podem ser usado por mais tempo sem que



se tenha que se trocar equipamentos ou até mesmo o próprio combustível (por mudanças na legislação ambiental ou na política da empresa em relação ao meio ambiente). Com isso os decisores avaliaram que o GLP e o gás natural tem um maior potencial de uso futuro que a lenha e o óleo combustível.

Assim, o descritor construído para este critério tem apenas dois níveis: o melhor,  $N_2$ , que é o uso do GLP ou do gás natural e o pior que é o uso da lenha ou do óleo combustível. Os decisores mostraram indiferença entre os impactos da lenha e do óleo combustível e entre o GLP e o gás natural neste critério de avaliação.

Maiores detalhes sobre os aspectos considerados neste critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Novos Equipamentos no Anexo III. A Tabela 9 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Potencialidade de uso futuro*.

Tabela 9 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Potencialidade de Uso Futuro*.

<b>Critério 3: Potencialidade de Uso Futuro</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
$N_2$	Combustível com potencialidade de uso futuro semelhante àquela proporcionada pelo gás natural e GLP.	100
$N_1$	Combustível com potencialidade de uso futuro semelhante àquela proporcionada pela lenha e óleo combustível.	0

A Figura 29 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Potencialidade de uso futuro*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

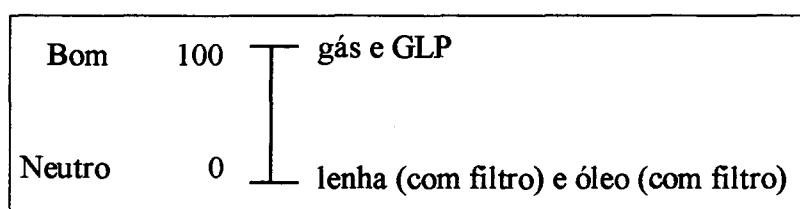


Figura 29 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Potencialidade de Uso Futuro*.

### 3.3.4 Prazo de implantação

Neste critério é avaliado o prazo estimado para a implantação da alternativa. No caso do óleo combustível e da lenha este prazo representa o tempo necessário para implantar um sistema de filtros que reduza as emissões de poluentes geradas pela queima nas caldeiras destes combustíveis. Já para o caso do GLP, é o prazo estimado para a troca do equipamento atual por um que permita a utilização deste combustível. Quanto ao gás natural, o prazo estimado é o da implantação do sistema de canalização de gás vindo da Bolívia.

Neste caso foi utilizado um descritor direto (número de meses para ser implantada cada ação potencial) e foram identificados 5 níveis de impacto para a construção da função de valor representada pela escala MACBETH. A Tabela 10 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Prazo de implantação*. O melhor nível representa uma ação potencial que pode ser implantada em até 3 meses e o pior uma alternativa que pode ser implantada em até 24 meses. Prazos maiores do que 24 meses e menores do que 3 meses não foram considerados viáveis pelos decisores.

Tabela 10 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Prazo de Implantação*.

<b>Critério 4: Prazo de Implantação</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>5</sub>	O prazo de implantação estimado da alternativa é de <b>3 meses</b> .	100
N <sub>4</sub>	O prazo de implantação estimado da alternativa é de <b>6 meses</b> .	67
N <sub>3</sub>	O prazo de implantação estimado da alternativa é de <b>12 meses</b> .	20
N <sub>2</sub>	O prazo de implantação estimado da alternativa é de <b>18 meses</b> .	8
N <sub>1</sub>	O prazo de implantação estimado da alternativa é de <b>24 meses</b> .	0

Na Figura 30 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o critério *Prazo de implantação*.

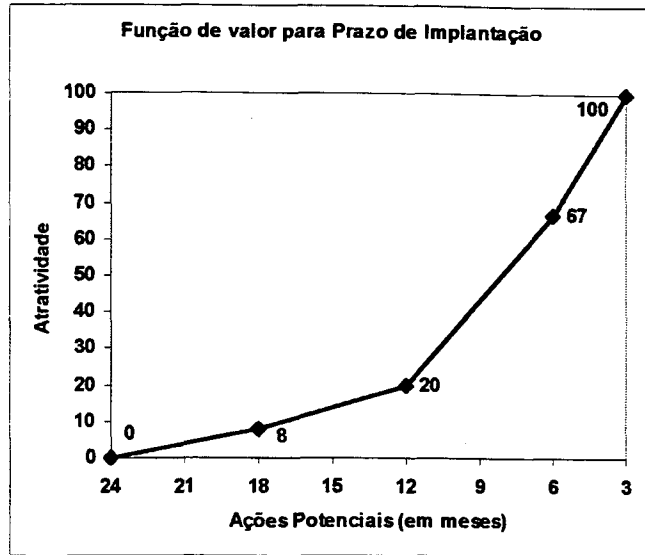


Figura 30 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério *Prazo de Implantação*.

A Figura 31 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Prazo de implantação*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

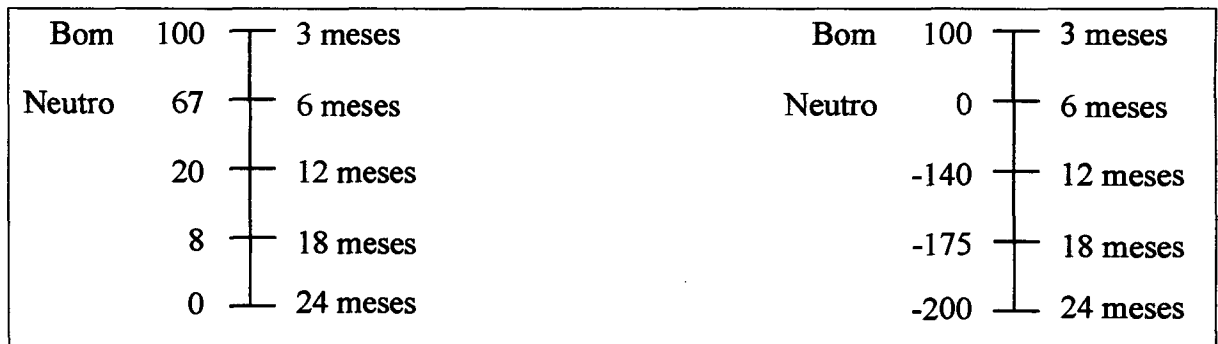


Figura 31 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Prazo de Implantação*.

### 3.3.5 Investimento

Este critério avalia o valor estimado do investimento necessário para a implantação de determinada alternativa de combustível. Neste critério é considerado o valor líquido do investimento, ou seja, o que efetivamente seria gasto quando da implantação de determinada alternativa. Assim, é considerado como valor do investimento

o valor da compra de um novo equipamento descontado do valor obtido pela venda do equipamento antigo (se for o caso), entre outros aspectos.

Foi elaborado um descritor direto baseado no valor de investimento em reais para a implantação da ação potencial. Foram definidos pelos decisores cinco níveis de impacto que foram utilizados para estimar a função de valor deste critério. O melhor nível representa um investimento de R\$ 60.000,00 e o pior um investimento de R\$ 600.000,00. Valores acima destes dois limites foram considerados inviáveis para os decisores.

Maiores detalhes sobre outros aspectos levados em conta na construção deste critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Financeira no Anexo III. A Tabela 11 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Investimento*.

**Tabela 11 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Investimento*.**

<b>Critério 5: Investimento</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>5</sub>	O valor estimado do investimento necessário para implantar a alternativa é <b>R\$ 60.000,00</b> .	100
N <sub>4</sub>	O valor estimado do investimento necessário para implantar a alternativa é <b>R\$ 100.000,00</b> .	92
N <sub>3</sub>	O valor estimado do investimento necessário para implantar a alternativa é <b>R\$ 200.000,00</b> .	75
N <sub>2</sub>	O valor estimado do investimento necessário para implantar a alternativa é <b>R\$ 400.000,00</b> .	41
N <sub>1</sub>	O valor estimado do investimento necessário para implantar a alternativa é <b>R\$ 600.000,00</b> .	0

Na Figura 32 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o critério *Investimento*.

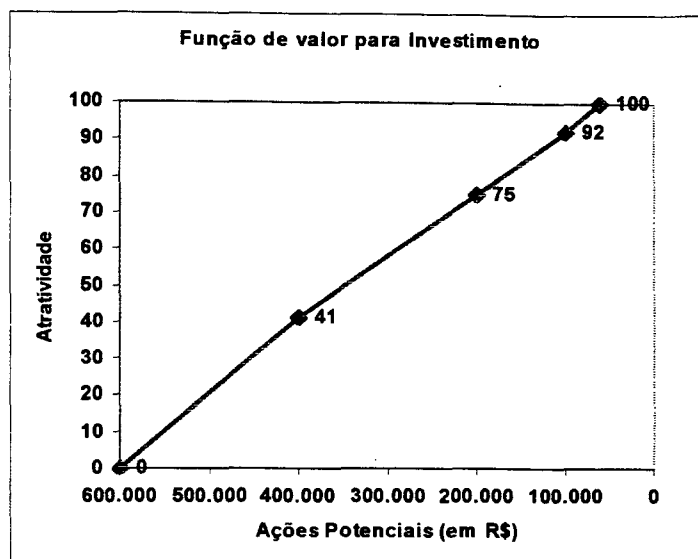


Figura 32 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério *Investimento*.

A Figura 33 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Investimento*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

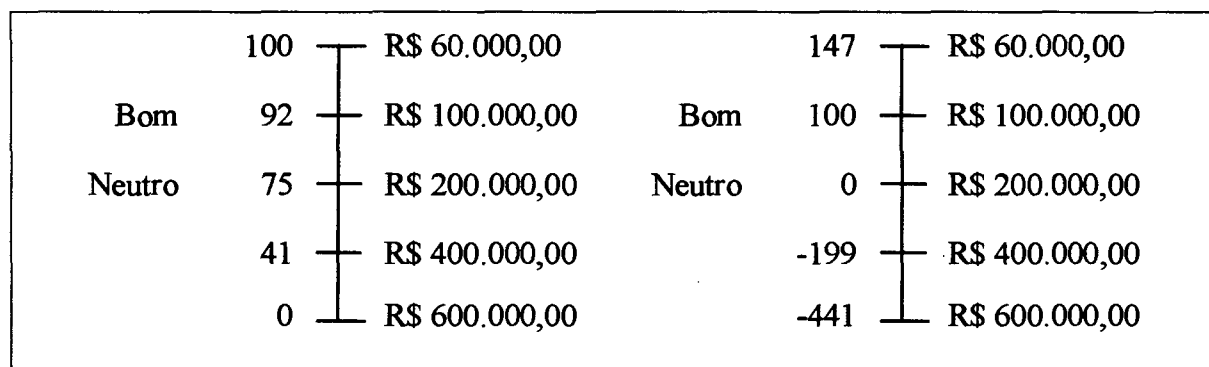


Figura 33 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Investimento*.

### 3.3.6 Rendimento da caldeira

Este critério avalia o rendimento da caldeira, ou seja, a quantidade de combustível que vira calor. Neste critério é estimada a eficiência térmica da caldeira de acordo com o combustível utilizado, dado este fornecido pelos decisores. Foi utilizado um descritor direto que é a eficiência térmica medida em porcentagem de calor gerado que é

aproveitado para geração de vapor. O melhor nível viável foi 92% e o pior 75%, sendo que os decisores julgaram que a introdução de apenas um nível intermediário a estes dois já seria suficiente para estimar de forma adequada a função de valor associada a este critério.

A Tabela 12 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Rendimento da caldeira*.

Tabela 12 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Rendimento da Caldeira*.

<b>Critério 6: Rendimento da Caldeira</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>3</sub>	O combustível tem eficiência térmica estimada de 92%.	100
N <sub>2</sub>	O combustível tem eficiência térmica estimada de 88%.	85
N <sub>1</sub>	O combustível tem eficiência térmica estimada de 75%.	0

Na Figura 34 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o critério *Rendimento da caldeira*.

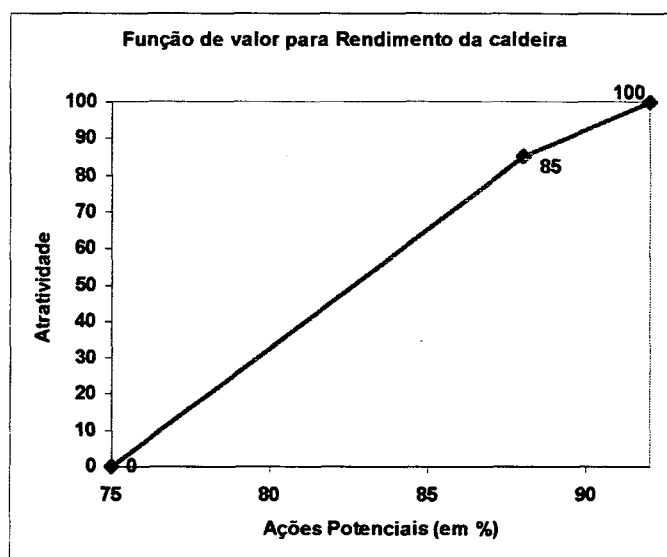


Figura 34 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério *Rendimento da Caldeira*.

A Figura 35 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Rendimento da caldeira*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

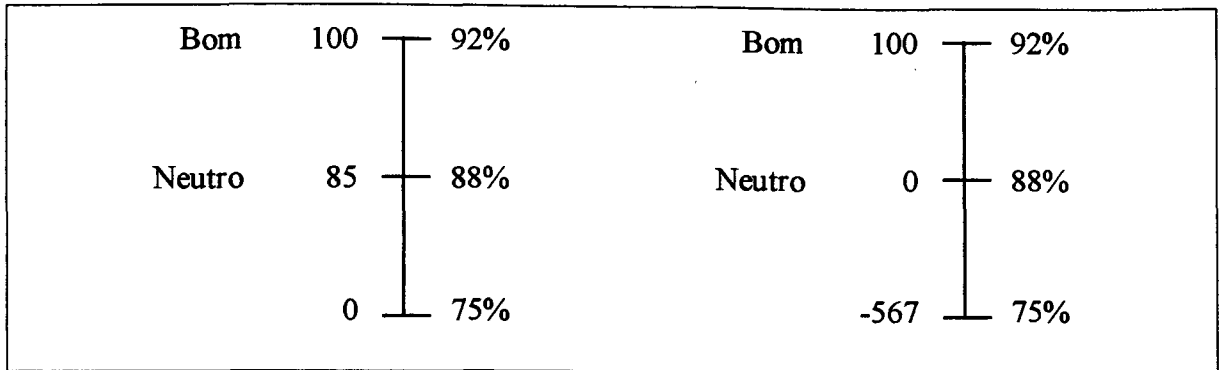


Figura 35 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Rendimento da Caldeira*.

### 3.3.7 Fornecimento do combustível

Neste critério é avaliado o fornecimento de uma dada alternativa de combustível. Este critério é subdividido em 3 sub-critérios: número de fornecedores do combustível, a proximidade da fonte fornecedora do combustível e a dificuldade para a troca do fornecedor de um combustível. A seguir é dada uma descrição mais aprimorada destes sub-critérios. A importância relativa de cada um destes sub-critérios é apresentada na seção Pesos dos Critérios.

#### 3.3.7.1 Número de fornecedores

Este sub-critério avalia o fornecimento do combustível através de um descritor natural que é o número de fornecedores viáveis que determinada alternativa apresenta. Considera-se que quanto maior o número de fornecedores do combustível maior o poder de barganha da empresa para negociar a compra do combustível. Assim a empresa pode conseguir um preço melhor para obtenção do combustível. Além disto, quanto maior o número de fornecedores, maior a confiabilidade de fornecimento.

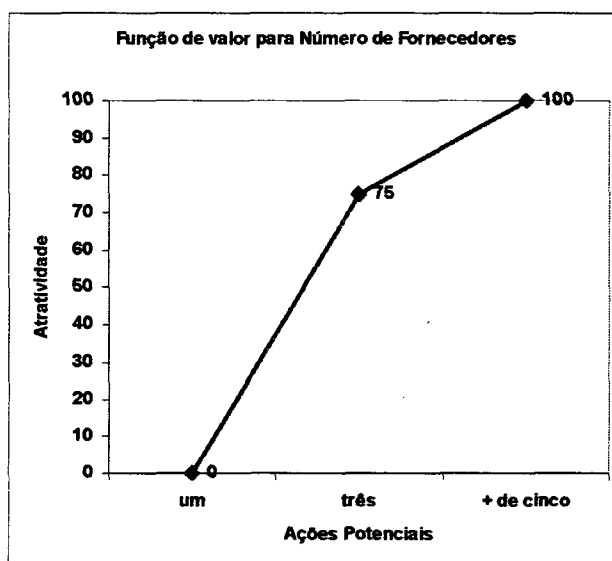
O melhor nível é representado pelo combustível que apresentar mais de 5 fornecedores e o pior o que só apresentar um. Os decisores consideraram que com a inclusão de apenas mais um nível intermediário (3 fornecedores) seria possível avaliar de forma adequada todas as ações potenciais viáveis.

Maiores detalhes sobre outros aspectos levados em conta na construção deste sub-critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Combustível Eficiente no Anexo III. A Tabela 13 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do sub-critério *Número de fornecedores*.

**Tabela 13 - Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério *Número de Fornecedores*.**

<b>Sub-Critério 7.1: Número de Fornecedores</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>3</sub>	Combustível com número de fornecedores <b>superior a 5</b> .	100
N <sub>2</sub>	Combustível com número de fornecedores <b>igual a 3</b> .	75
N <sub>1</sub>	Combustível com número de fornecedores <b>igual a 1</b> .	0

Na Figura 36 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o sub-critério *Número de fornecedores*.



**Figura 36 - Representação Gráfica da Função de Valor para o sub-critério *Número de Fornecedores*.**

A Figura 37 ilustra graficamente os níveis de impacto do sub-critério *Número de fornecedores*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.



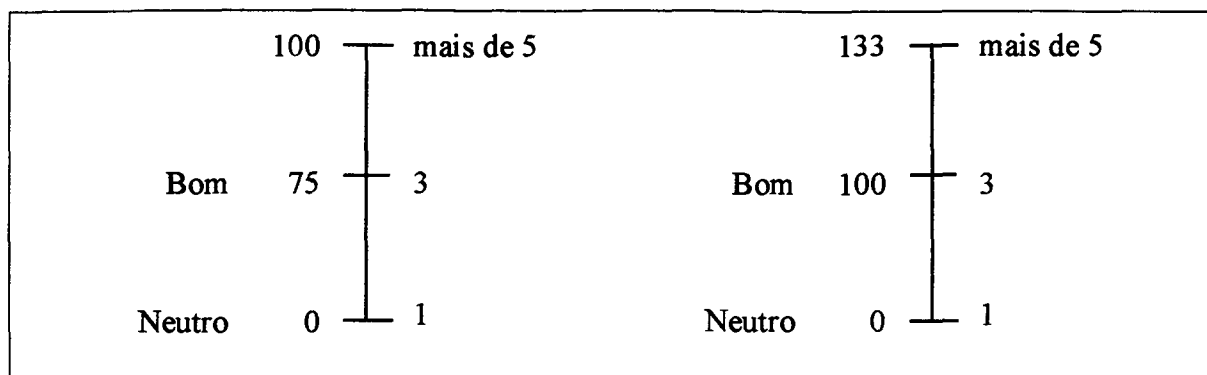


Figura 37 - Escala MACBETH original e rescalonada do sub-critério *Número de Fornecedores*.

### 3.3.7.2 Proximidade da fonte

Este sub-critério avalia o fornecimento do combustível através da proximidade de sua fonte com a unidade Itororó da Hering Têxtil S.A.. Os decisores consideraram que este aspecto influi diretamente na confiabilidade do fornecimento do combustível das caldeiras. Para avaliar este sub-critério os decisores utilizaram um descritor construído que representa a proximidade da fonte pela localização geográfica dos fornecedores de combustível. Isto foi feito porque os decisores consideraram que o acesso à fonte de combustível não deveria ser avaliado apenas através da distância, mas também pela dificuldade de transporte do combustível da fonte até o ponto consumidor. Simultaneamente, os decisores acharam difícil separar estes dois aspectos de modo a avaliá-los de forma independente, decidindo assim, em conjunto com o facilitador, construir o descritor usando quatro possíveis fontes de combustível.

O melhor nível foi considerado o combustível cuja fonte está em Blumenau e o pior aquele cuja fonte está em Curitiba, sendo que foram identificados mais dois níveis intermediários representados pelas localidades de Itajaí e Rio Negrinho (ambas localizadas em Santa Catarina). Maiores detalhes sobre outros aspectos levados em conta na construção deste sub-critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Combustível Eficiente no Anexo III. A Tabela 14 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do sub-critério *Proximidade da fonte*.

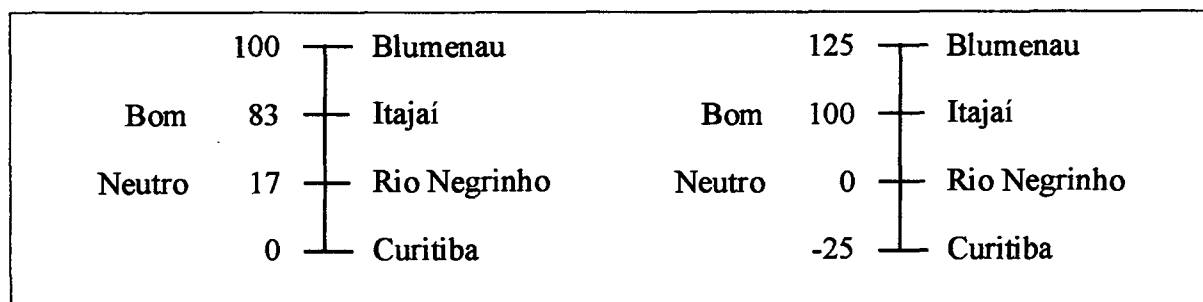
Tabela 14 - Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério *Proximidade da Fonte*.

Sub-Critério 7.2: Proximidade da Fonte		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>	A fonte do combustível localiza-se em <b>Blumenau</b> .	100
N <sub>3</sub>	A fonte do combustível localiza-se em <b>Itajaí</b> .	83
N <sub>2</sub>	A fonte do combustível localiza-se em <b>Rio Negrinho</b> .	17
N <sub>1</sub>	A fonte do combustível localiza-se em <b>Curitiba</b> .	0

Na Figura 38 estão representados num mapa os níveis de impacto da Tabela 14.

Figura 38 – Representação Pictórica dos níveis de impacto do descritor para o sub-critério *Proximidade da Fonte*.

A Figura 39 ilustra graficamente os níveis de impacto do sub-critério *Proximidade da fonte*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

Figura 39 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério *Proximidade da Fonte*.

### 3.3.7.3 Dificuldade de troca do fornecedor

Este sub-critério avalia o fornecimento do combustível através da dificuldade estimada pelos decisores para trocar de fornecedor. Foi considerado que o combustível que apresenta a maior dificuldade de troca é o gás natural e o que apresenta a menor dificuldade é a lenha. Os decisores julgaram que este é um fator que pode interferir na confiabilidade de operação das caldeiras. Aqui os decisores julgaram que um descritor construído representado diretamente pelas ações potenciais seria uma boa maneira de refletir as suas preferências com relação a este aspecto do modelo. O melhor nível foi considerado como aquele representado pela lenha e o pior o representado pelo gás natural, sendo que o óleo combustível e o GLP ocupam um nível intermediário de preferência.

Maiores detalhes sobre outros aspectos levados em conta na construção deste sub-critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Combustível Eficiente no Anexo III. A Tabela 15 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do sub-critério *Dificuldade de troca do fornecedor*.

**Tabela 15 - Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério *Dificuldade de Troca do Fornecedor*.**

<b>Sub-Critério 7.3: Dificuldade de Troca do Fornecedor</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>3</sub>	O combustível proporciona uma dificuldade de troca de fornecedor semelhante à <b>lenha</b> .	100
N <sub>2</sub>	O combustível proporciona uma dificuldade de troca de fornecedor semelhante ao <b>óleo combustível e GLP</b> .	60
N <sub>1</sub>	O combustível proporciona uma dificuldade de troca de fornecedor semelhante ao <b>gás natural</b> .	0

A Figura 40 ilustra graficamente os níveis de impacto do sub-critério *Dificuldade de troca do fornecedor*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

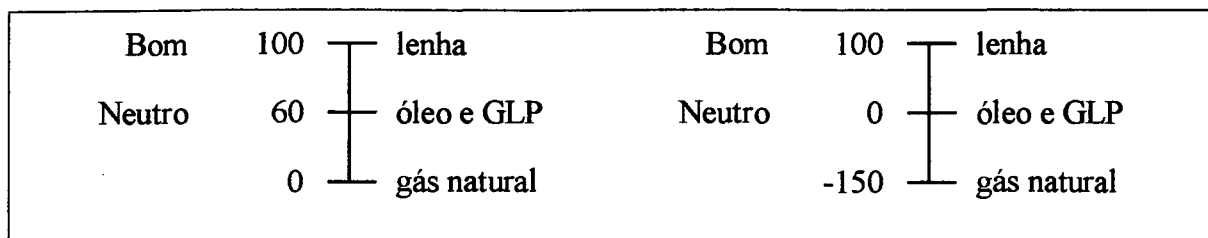


Figura 40 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério *Dificuldade de Troca do Fornecedor*.

### 3.3.8 Complexidade do equipamento

Este critério avalia o combustível através da complexidade do equipamento (caldeira) quanto a sua manutenção. Os decisores avaliaram que o combustível cujo equipamento usado para a sua queima apresenta maior dificuldade de manutenção é o óleo combustível e o que apresenta menor complexidade de manutenção é a caldeira que utiliza lenha. Utilizou-se assim um descritor construído para operacionalizar este critério.

Maiores detalhes sobre os aspectos considerados neste critério podem ser encontrados no mapa cognitivo congregado da área Confiabilidade da Solução no Anexo III. A Tabela 16 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Complexidade do equipamento*.

Tabela 16 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Complexidade do Equipamento*.

<b>Critério 8: Complexidade do Equipamento</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>3</sub>	Combustível com dificuldade de manutenção semelhante àquela proporcionada pela <b>lenha</b> .	100
N <sub>2</sub>	Combustível com dificuldade de manutenção semelhante àquela proporcionada pelo <b>GLP e gás natural</b> .	40
N <sub>1</sub>	Combustível com dificuldade de manutenção semelhante àquela proporcionada pelo <b>óleo combustível</b> .	0

A Figura 41 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Complexidade do equipamento*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

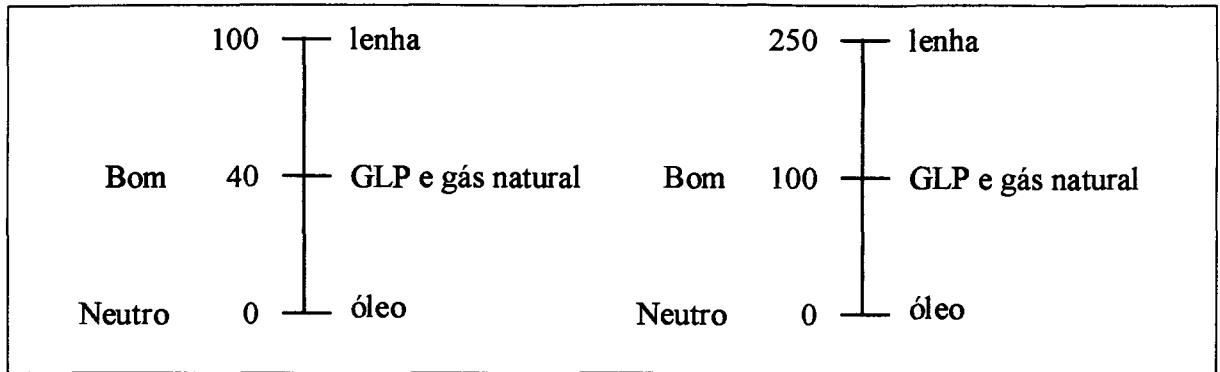


Figura 41 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Complexidade do Equipamento*.

### 3.3.9 Assistência técnica

Este critério procura avaliar a assistência técnica dos equipamentos que compõem o sistema das caldeiras utilizando-se para isso de dois sub-critérios: Localização do técnico e localização das peças de reposição. Os decisores consideraram que a escolha de um determinado combustível decisivamente influi na assistência técnica dos equipamentos do sistema das caldeiras. A seguir é dada uma descrição mais apurada dos sub-critérios que compõem este critério.

#### 3.3.9.1 Localização do técnico.

Neste sub-critério os decisores consideraram que a localização do técnico tem importância quando se considera a assistência técnica proporcionada aos equipamentos do sistema das caldeiras. Para avaliar este sub-critério os decisores utilizaram um descritor construído baseado nas ações potenciais que representam municípios onde ficam os representantes dos equipamentos das caldeiras. Desta forma a localização do técnico não é avaliada apenas através da distância mas também pela dificuldade de transporte do local até Blumenau. Semelhantemente ao que ocorreu no descritor relativo ao sub-critério Proximidade da Fonte, os decisores também preferiram construir um descritor usando diretamente possíveis locais onde se encontraria um técnico responsável pela manutenção das caldeiras.

Os decisores avaliaram que a melhor situação possível seria a do técnico já estar trabalhando em Blumenau e a pior situação aceitável seria aquela onde o técnico teria que se deslocar desde São Paulo para atender um chamado da empresa. Para os decisores apenas mais um nível de impacto intermediário, representado pela situação onde o técnico estaria na cidade de Curitiba, foi considerado necessário para definir este descritor. A Tabela 17 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do sub-critério Localização do Técnico.

Tabela 17 - Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério *Localização do Técnico*.

Sub-Critério 9.1: Localização do Técnico		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>	O técnico localiza-se em <b>Blumenau</b> .	100
N <sub>2</sub>	O técnico localiza-se em <b>Curitiba</b> .	43
N <sub>1</sub>	O técnico localiza-se em <b>São Paulo</b> .	0

A Figura 42 ilustra graficamente os níveis de impacto do sub-critério Localização do Técnico, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

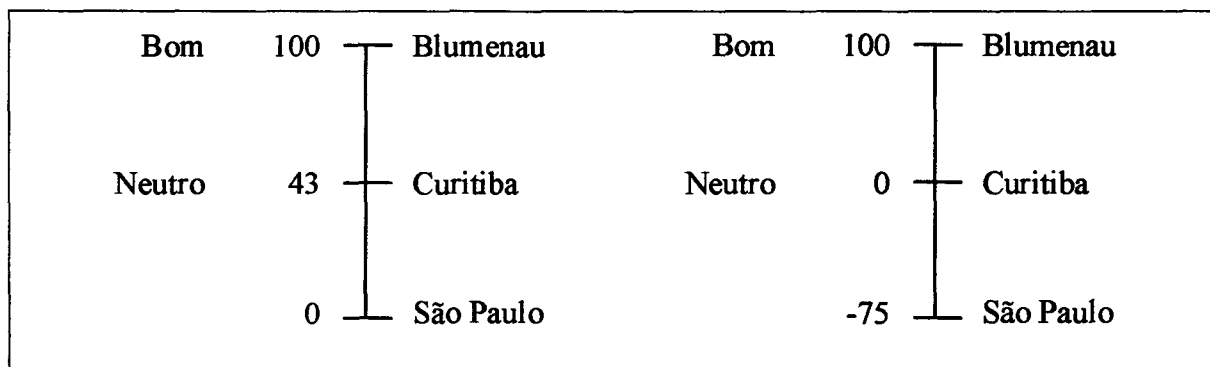


Figura 42 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Localização do Técnico.

### 3.3.9.2 Localização das peças

Neste sub-critério os decisores consideraram que a localização das peças de reposição tem importância quando se considera a assistência técnica proporcionada aos

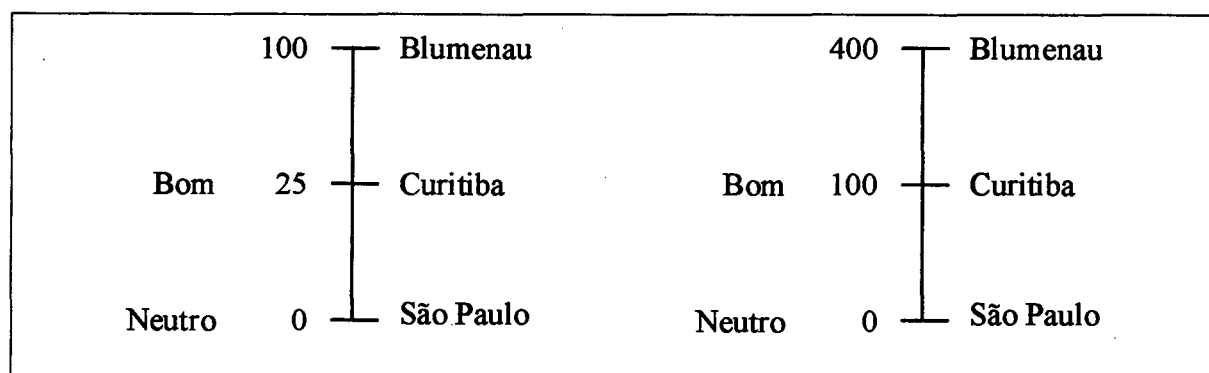
equipamentos do sistema das caldeiras. Para avaliar este sub-critério os decisores utilizaram também um descritor construído baseado nas ações potenciais que representam possíveis localizações das peças, pois esta localização não é avaliada apenas através da distância mas também pela dificuldade de transporte do local até Blumenau. Novamente, os decisores e o facilitador resolveram elaborar um descritor que avaliasse diretamente os possíveis locais onde se encontrariam as peças de reposição das caldeiras, de modo similar ao feito para o sub-critério Localização do Técnico.

Os níveis considerados viáveis para o descritor deste sub-critério são os mesmos avaliados no sub-critério anterior. A Tabela 18 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do sub-critério Localização das Peças.

**Tabela 18 - Níveis de impacto e escala MACBETH do sub-critério Localização das Peças.**

<b>Sub-Critério 9.2: Localização das Peças</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>3</sub>	A peça localiza-se em <b>Blumenau</b> .	100
N <sub>2</sub>	A peça localiza-se em <b>Curitiba</b> .	25
N <sub>1</sub>	A peça localiza-se em <b>São Paulo</b> .	0

A Figura 43 ilustra graficamente os níveis de impacto do sub-critério Localização das Peças, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.



**Figura 43 - Escala MACBETH original e reescalada do sub-critério Localização das Peças.**

### 3.3.10 Controle da eficiência da queima

Este critério procura avaliar a dificuldade do controle da combustão proporcionada por cada alternativa de combustível. Os decisores procuram assim avaliar o grau de dificuldade de controle da eficiência da queima da caldeira através de um descritor construído, onde os níveis possíveis eram representados pelas ações potenciais viáveis de combustível. Esta diferença ocorre pois dependendo do combustível utilizado, há variações nos procedimentos necessários para manter a queima eficiente do combustível.

Desta forma, para os decisores o controle da queima proporcionado pelo gás natural e GLP foi considerado o mais fácil e o do lenha o mais complicado, ficando o óleo combustível num nível intermediário. A Tabela 19 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Controle da eficiência da queima*.

Tabela 19 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Controle da Eficiência da Queima*.

Critério 10: Controle da Eficiência da Queima		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>	Combustível com controle da eficiência da queima semelhante àquela proporcionada pelo gás natural e GLP.	100
N <sub>2</sub>	Combustível com controle da eficiência da queima semelhante àquela proporcionada pelo óleo combustível.	75
N <sub>1</sub>	Combustível com controle da eficiência da queima semelhante àquela proporcionada pela lenha.	0

A Figura 44 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Controle da eficiência da queima*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

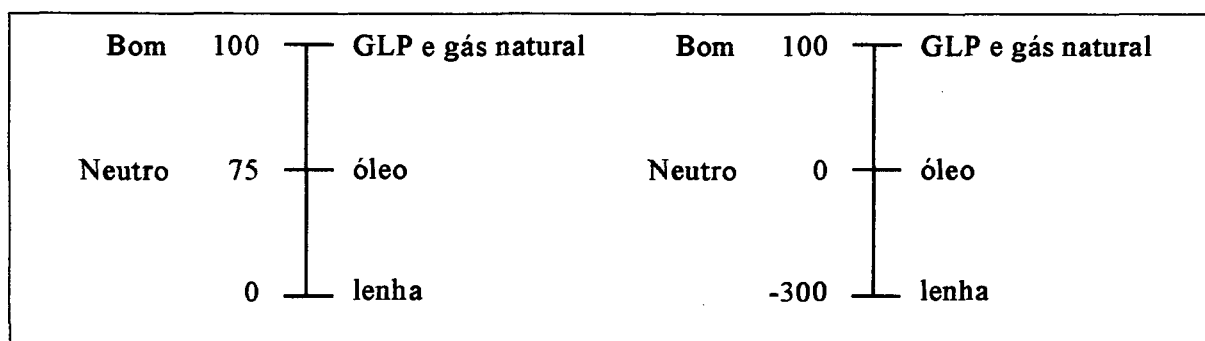


Figura 44 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Controle da Eficiência da Queima*.



### 3.3.11 Custo Operacional Mensal

Neste critério é avaliado o custo operacional mensal de uma determinada alternativa de combustível. Os decisores procuraram avaliar este critério através de um descritor direto, que é o custo da tonelada de vapor gerado pela queima do combustível. Este custo é um custo global, onde entram os custos operacionais e de manutenção, constituindo-se na verdade de um custo médio mensal. No caso do GLP e gás natural (que ainda não estão implantados) este custo foi estimado pelos decisores em função de dados apurados junto aos fornecedores destes combustíveis.

Com isso, os decisores avaliaram que a melhor situação possível seria aquela onde o custo por tonelada de vapor seria US\$ 10 (dez dólares) e o pior nível aceitável seria aquele representado por um custo de US\$ 16 (dezesseis dólares), sendo considerados inviáveis valores inferiores e superiores a estes. Para construir a função de valor associada a este descritor, os decisores definiram que mais dois níveis intermediários de custo seriam necessários, US\$ 12/tonelada de vapor e US\$ 14/tonelada de vapor. A Tabela 20 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Custo Operacional Mensal*.

Tabela 20 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Custo Operacional Mensal*.

<b>Critério 11: Custo Operacional Mensal</b>		
<b>Nível de Impacto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Escala MACBETH</b>
N <sub>4</sub>	Combustível com custo operacional de \$ 10/tonelada de vapor.	100
N <sub>3</sub>	Combustível com custo operacional de \$ 12/tonelada de vapor.	60
N <sub>2</sub>	Combustível com custo operacional de \$ 14/tonelada de vapor.	27
N <sub>1</sub>	Combustível com custo operacional de \$ 16/tonelada de vapor.	0

Na Figura 45 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o critério *Custo Operacional Mensal*.

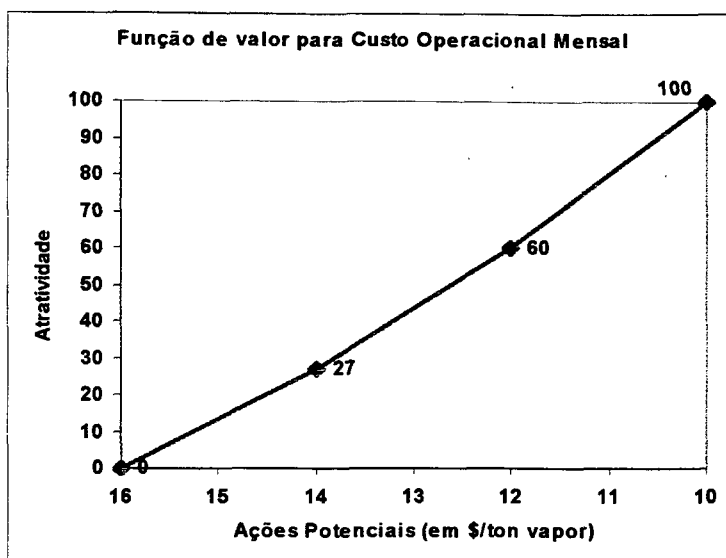


Figura 45 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério *Custo Operacional Mensal*.

A Figura 46 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Custo Operacional Mensal*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

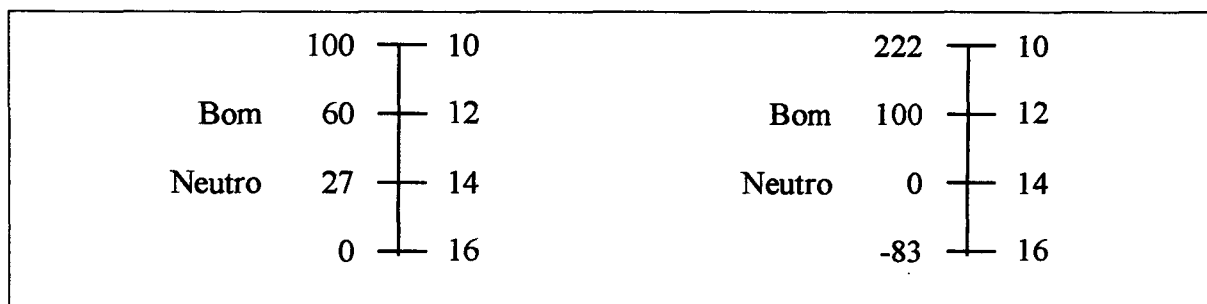


Figura 46 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Custo Operacional Mensal*.

### 3.3.12 Custo do estoque de combustível

Este critério avalia o custo com estoque de combustível necessário para determinada alternativa de combustível. Os decisores avaliaram este critério através de um descritor indireto que avalia o custo do estoque de combustível através da sua quantidade medida em número de dias que o estoque daquele combustível na fábrica leva para ser consumido em condições normais de operação. A permanência de um determinado estoque

de combustível na fábrica é necessário para que a mesma opere com uma margem de segurança quanto ao fornecimento do combustível.

Assim, o melhor caso possível seria operar sem ser necessário um estoque de combustível e o pior nível aceitável seria trabalhar com um estoque de até 21 dias do combustível. Para auxiliar na construção da função de valor associada a este critério, os decisores optaram por incluir mais dois níveis intermediários: 7 dias de estoque e 14 dias de estoque. A Tabela 21 mostra a descrição dos níveis de impacto e a escala MACBETH do critério *Custo do estoque de combustível*.

Tabela 21 - Níveis de impacto e escala MACBETH do critério *Custo do Estoque de Combustível*.

Critério 12: Custo do Estoque de Combustível		
Nível de Impacto	Descrição	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>	O custo do estoque de combustível é equivalente ao de um estoque de <b>0 dia</b> .	100
N <sub>3</sub>	O custo do estoque de combustível é equivalente ao de um estoque de <b>7 dias</b> .	55
N <sub>2</sub>	O custo do estoque de combustível é equivalente ao de um estoque de <b>14 dias</b> .	27
N <sub>1</sub>	O custo do estoque de combustível é equivalente ao de um estoque de <b>21 dias</b> .	0

Na Figura 47 é mostrada a representação gráfica da função de valor definida pelos decisores para o critério *Custo do estoque de combustível*.

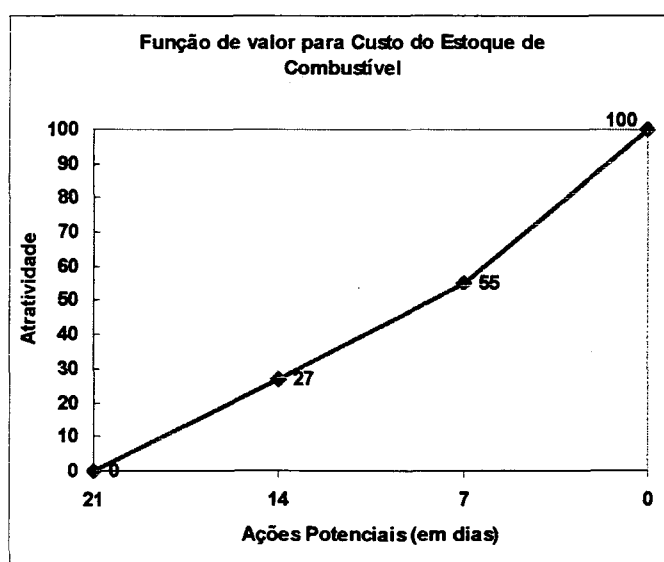


Figura 47 - Representação Gráfica da Função de Valor para o critério *Custo do Estoque de Combustível*.

A Figura 48 ilustra graficamente os níveis de impacto do critério *Custo do estoque de combustível*, o nível Bom e Neutro, a escala MACBETH original e a escala MACBETH reescalada em função dos níveis Bom e Neutro.

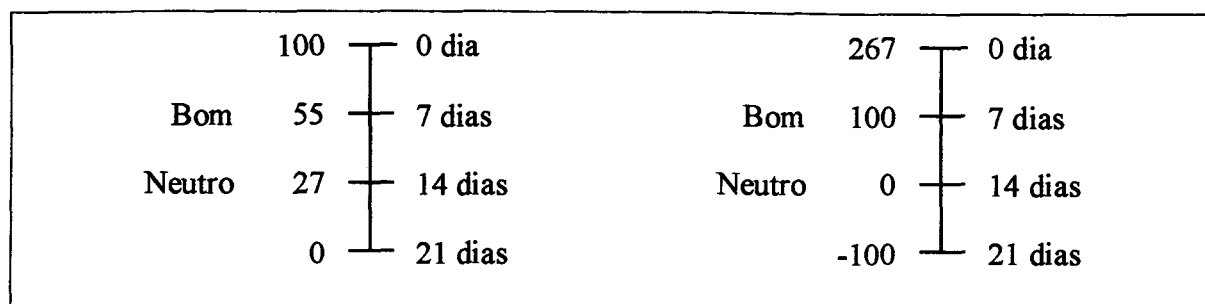


Figura 48 - Escala MACBETH original e reescalada do critério *Custo do Estoque de Combustível*.

### 3.4 CRITÉRIOS DE REJEIÇÃO

Os decisores consideraram que existem no modelo dois critérios de rejeição (vide seção 1.3.5). Um critério de rejeição é aquele que se não for atendido elimina automaticamente a ação potencial da avaliação.

#### 3.4.1 Imagem da empresa fornecedora dos equipamentos no mercado.

Os decisores consideraram que só podiam participar do processo de escolha de alternativas de combustível aquelas cujos fabricantes dos equipamentos tivessem uma imagem consolidada no mercado e com tradição de prestar bons serviços.

#### 3.4.2 Resíduos emitidos pelas chaminés das caldeiras.

Os decisores concluíram que uma alternativa de combustível só seria considerada viável se atende-se a legislação ambiental com relação a emissão de material

particulado e de SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre), tendo em vista a grande importância atribuída pelos decisores em relação à proteção do meio ambiente. Com isto, não foram consideradas ações potenciais viáveis o uso da lenha sem filtro e do óleo sem filtro. Por este motivo no modelo apenas cinco alternativas são consideradas viáveis: o uso da lenha com filtro, óleo com filtro, GLP, gás natural e GLP em conjunto com gás natural.

### 3.5 PESOS DOS CRITÉRIOS

Os pesos representam a importância relativa de cada critério no modelo (vide seção 1.10). Neste trabalho estes pesos (ou taxas de substituição) foram calculados utilizando o método MACBETH. Os pesos internos representam a importância relativa que cada sub-critério tem no interior do critério de que faz parte. Os pesos dos critérios e dos sub-critérios foram calculados na nona visita que o decisor fez a empresa numa reunião onde participaram conjuntamente todos os decisores.

#### 3.5.1 Pesos internos dos sub-critérios do critério Fornecimento de Combustível

O primeiro passo para estimar as importâncias relativas de cada sub-critério do critério Fornecimento de Combustível é montar junto aos decisores uma matriz de ordenação dos sub-critérios (vide seção 1.10). Esta matriz é apresentada na Tabela 22.

**Tabela 22 – Matriz de ordenação dos sub-critérios do Critério Fornecimento de Combustível.**

	Núm. Forn.	Dif. troca	Prox. Fonte	Soma	Ordem
Num. Forn.		1	1	2	1 <sup>o</sup>
Dif. troca	0		1	1	2 <sup>o</sup>
Prox. Fonte	0	0		0	3 <sup>o</sup>

Elaborada a matriz de ordenação, passa-se a fazer o julgamento semântico das importâncias relativas de cada sub-critério e assim montar a matriz de julgamento

semântico para o uso da metodologia MACBETH. Esta matriz e os pesos determinados pelo software MACBETH estão representados na Figura 49. Assim como foi feito no caso da determinação da função de valor dos critérios, é necessário que os decisores validem os pesos apresentados, ou seja, confirmem que estes pesos refletem os seus juízos de valor.

Matrix of judgements: (consistent)						
	A1	A2	A3	A4	Scores	
A1		5	5	6	100.00	100.00
A2			5	5	64.29	64.29
A3				4	28.57	28.57
A4					0.00	0.00

	A1	A2	A3	A4	Macbeth	Current
A1		18.52	37.04	51.85	51.85	
A2			18.52	33.33	33.33	
A3				14.81	14.81	
A4					0.00	

Weights

**Figura 49 – Matriz semântica e pesos internos dos sub-critérios do Critério *Fornecimento de Combustível*.**

A Tabela 23 apresenta de forma resumida a Escala MACBETH e os pesos internos dos sub-critérios do Critério *Fornecimento de Combustível*.

**Tabela 23 – Escala MACBETH e Pesos Internos dos Sub-Critérios do Critério *Fornecimento de Combustível*.**

Sub-critério	Escala MACBETH	Peso interno
Número de Fornecedores	100	52%
Dificuldade de Troca do Fornecedor	64	33%
Proximidade da Fonte	29	15%

Na Figura 50 são mostrados os pesos internos da tabela anterior de forma gráfica para melhor visualização.

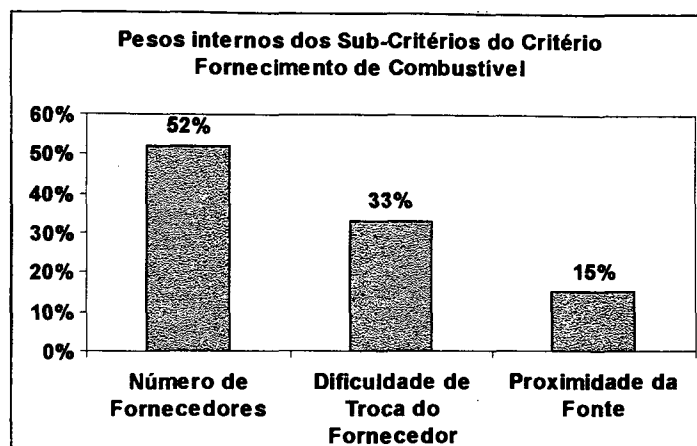


Figura 50 – Representação gráfica dos pesos internos dos sub-critérios do Critério *Fornecimento de Combustível*.

### 3.5.2 Pesos internos dos sub-critérios do critério Assistência Técnica

Aqui é usado o mesmo procedimento da seção anterior para determinação dos sub-critérios. Como neste critério existem apenas dois sub-critérios, não é necessário montar uma matriz de ordenação, bastando questionar os decisores qual dos dois sub-critérios é o mais importante, o sub-critério Localização do Técnico ou Localização das Peças. Os decisores escolheram o sub-critério Localização das Peças de Reposição como o mais importante. A Figura 51 mostra a matriz semântica utilizada para a obtenção dos pesos internos através do software MACBETH.

pvf9 : matrizes

**Matrix of judgements: (consistent)**

	A2	A1	A3	Scores	
A2		3	4	100.00	100.00
A1			3	50.00	50.00
A3				0.00	0.00
				Macbeth	Current
A2		33.33	66.67	66.67	
A1			33.33	33.33	
A3				0.00	
				Weights	

Figura 51 - Matriz semântica e pesos internos dos sub-critérios do Critério *Assistência técnica*.

A Tabela 24 apresenta de forma resumida a Escala MACBETH e os pesos internos dos sub-critérios do Critério *Assistência técnica*.

Tabela 24 - Escala MACBETH e Pesos Internos dos Sub-Critérios do Critério *Assistência técnica*.

Sub-critério	Escala MACBETH	Peso interno
Localização da Peças	100	67%
Localização do Técnico	50	33%

Na Figura 52 são mostrados os pesos internos da tabela anterior de forma gráfica para melhor visualização.

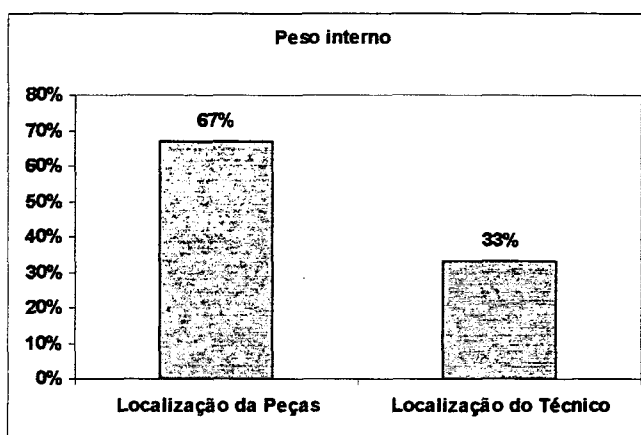


Figura 52 - Representação gráfica dos pesos internos dos sub-critérios do Critério *Assistência técnica*.

### 3.5.3 Pesos dos critérios no modelo

O primeiro passo para determinar os pesos dos critérios é construir a matriz de ordenação dos critérios, conforme procedimento descrito na seção 1.10. Assim, o número 1 na interseção da coluna  $C_2$  com a linha  $C_1$  indica que, para o decisor, o Critério  $C_1$  (Segurança) tem uma importância relativa maior que o Critério  $C_2$  (Imagem da Empresa). São feitas comparações do mesmo tipo entre todos os sub-critérios e assim é montada a matriz de ordenação dos critérios do modelo. Para saber a ordem de importância dos critérios, basta somar os números na linha da matriz, sendo que quanto maior o somatório, mais importante é o critério. A Tabela 25 apresenta esta matriz de ordenação.



Tabela 25 – Matriz de ordenação dos critérios do modelo.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	Soma	Ordem
C <sub>1</sub>		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11 <sup>o</sup>
C <sub>2</sub>	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12 <sup>o</sup>
C <sub>3</sub>	1	1		1	1	1	1	1	1	1	0	1	10	2 <sup>o</sup>
C <sub>4</sub>	1	1	0		0	0	0	0	1	0	0	0	3	9 <sup>o</sup>
C <sub>5</sub>	1	1	0	1		0	0	1	1	1	0	0	6	6 <sup>o</sup>
C <sub>6</sub>	1	1	0	1	1		0	1	1	1	0	1	8	4 <sup>o</sup>
C <sub>7</sub>	1	1	0	1	1	1		1	1	1	0	1	9	3 <sup>o</sup>
C <sub>8</sub>	1	1	0	1	0	0	0		1	0	0	0	4	8 <sup>o</sup>
C <sub>9</sub>	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2	10 <sup>o</sup>
C <sub>10</sub>	1	1	0	1	0	0	0	1	1		0	0	5	7 <sup>o</sup>
C <sub>11</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	11	1 <sup>o</sup>
C <sub>12</sub>	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0		7	5 <sup>o</sup>

A seguir é estimada a matriz semântica de julgamento de valor dos decisores com relação a importância relativa (pesos) dos critérios, conforme seção 1.10. A Figura 53 mostra esta tabela e os pesos calculados pelo software MACBETH.

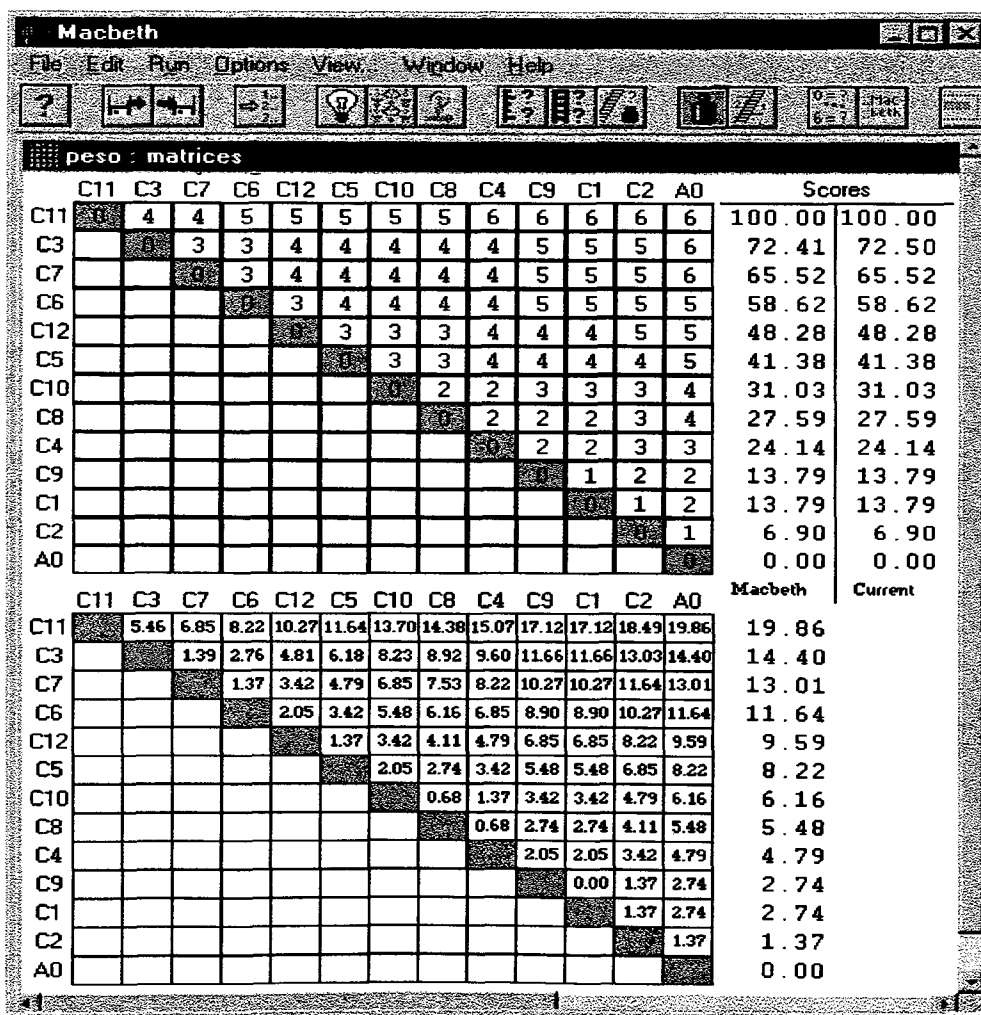


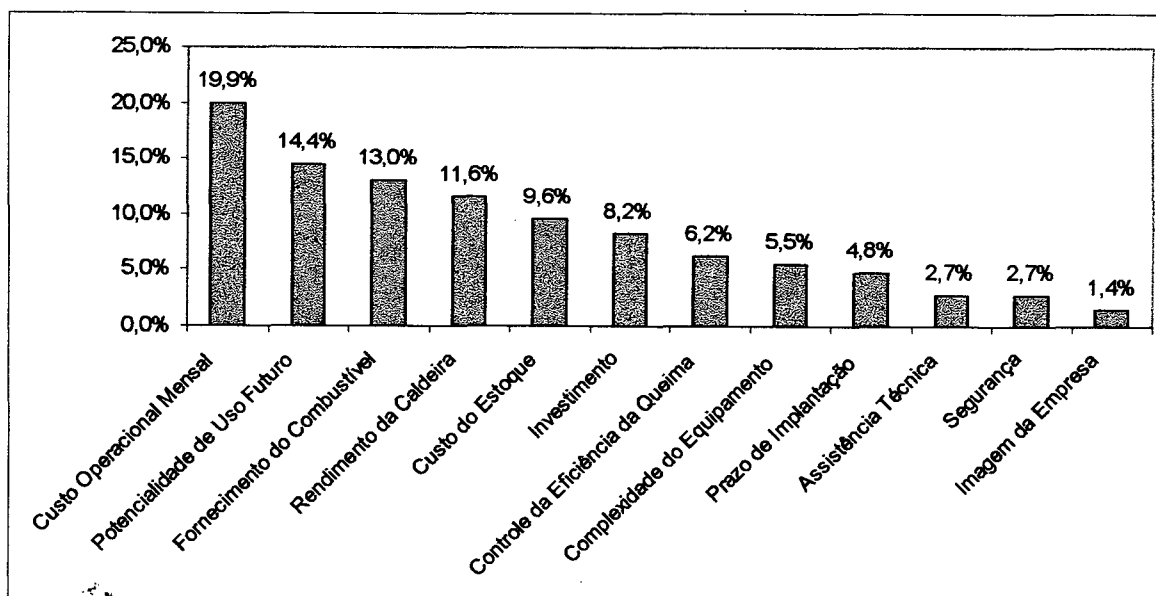
Figura 53 – Matriz semântica e pesos dos critérios do Modelo.

A tabela a seguir mostra de forma esquematizada os pesos dos critérios e a escala MACBETH encontrada ao se executar o programa MACBETH com a matriz semântica construída junto aos decisores.

**Tabela 26 - Escala MACBETH e Pesos dos Critérios do Modelo.**

Critério		Escala MACBETH	Peso
C <sub>11</sub>	Custo Operacional Mensal	100	19,9%
C <sub>3</sub>	Potencialidade de Uso Futuro	73	14,4%
C <sub>7</sub>	Fornecimento do Combustível	66	13,0%
C <sub>6</sub>	Rendimento da Caldeira	59	11,6%
C <sub>12</sub>	Custo do Estoque	48	9,6%
C <sub>5</sub>	Investimento	41	8,2%
C <sub>10</sub>	Controle da Eficiência da Queima	31	6,2%
C <sub>8</sub>	Complexidade do Equipamento	28	5,5%
C <sub>4</sub>	Prazo de Implantação	24	4,8%
C <sub>9</sub>	Assistência Técnica	14	2,7%
C <sub>1</sub>	Segurança	14	2,7%
C <sub>2</sub>	Imagem da Empresa	7	1,4%

Na Figura 54 estão representados de forma gráfica os pesos dos critérios do modelo.



**Figura 54 – Representação gráfica dos pesos dos critérios.**

É preciso destacar que na definição das importâncias relativas dos critérios tem que se ter em mente que elas são calculadas levando-se em consideração sempre os níveis Bom e Neutro de cada critério. Esta é uma das razões porque, por exemplo, os critérios Segurança e Imagem da Empresa tem uma importância relativa baixa (2,7% e 1,4%). Isto acontece porque os decisores perceberam que havia pouca perda entre o nível neutro e o bom destes dois critérios, pois mesmo os níveis inferiores destes critérios já representariam impactos de ações potenciais com razoável segurança e que proporcionariam uma boa imagem para a empresa.

Finalmente, é importante destacar que a determinação das importâncias relativas dos critérios e sub-critérios foi uma das etapas julgadas mais difíceis pelos decisores. Foi comentado que emitir julgamentos de valor através do procedimento explicitado na seção 1.10 envolve uma capacidade de abstração muito grande e muitas vezes o que se está comparando é muito difícil de visualizar. Um dos decisores chegou a comentar que na construção da matriz semântica para determinação das taxas de substituição *“além de se ter que fazer uma comparação entre maçãs e pneus para saber qual é dos dois é mais atrativo, tem que se dizer o quanto é a diferença de atratividade entre eles”*.

### **3.6 AVALIAÇÃO PARCIAL DAS AÇÕES POTENCIAIS**

Os decisores definiram as possíveis ações potenciais como sendo cinco: usar lenha com filtro, óleo combustível com filtro, GLP (gás liquefeito de petróleo), gás natural e GLP em conjunto com gás natural. As avaliações parciais e totais bem como as análises de sensibilidade mostradas nas seções 3.8 e 3.9, foram realizadas na décima e última visita a empresa, quando também foi entregue aos decisores um relatório preliminar com os critérios de avaliação e descritores do modelo.

Com base nos descritores definidos anteriormente, os decisores impactaram as cinco ações potenciais analisadas em cada um dos critérios, obtendo assim suas avaliações parciais (ou atratividade local em cada critério). A avaliação parcial é conseguida analisando-se as características das ações e associando a cada uma destas características um nível em cada um dos critérios (ou sub-critérios) do modelo (vide seções

3.3.1 à 3.3.12). Por motivos estratégicos e de interesse da empresa, os procedimentos, métodos e dados adotados pelos decisores para calcular os impactos das ações potenciais (como no caso do prazo de implantação, custo operacional e rendimento da caldeira, entre outros) não serão aqui apresentados.

**Tabela 27 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Segurança*.**

<b>Avaliação Parcial no Critério 1 - Segurança</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	100
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	-400
gás natural	gás natural	-250
GLP e gás natural	GLP	-400

**Tabela 28 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Imagem da empresa*.**

<b>Avaliação Parcial no Critério 2 – Imagem da Empresa</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	-54
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	100
gás natural	gás natural	100
GLP e gás natural	GLP	100

**Tabela 29 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Potencialidade de uso futuro*.**

<b>Avaliação Parcial no Critério 3 – Potencialidade de Uso Futuro</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	0
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	100
gás natural	gás natural	100
GLP e gás natural	GLP	100

**Tabela 30 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Prazo de implantação*.**

<b>Avaliação Parcial no Critério 4 – Prazo de Implantação</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	12 meses	-140
óleo combustível	12 meses	-140
GLP	3 meses	100
gás natural	24 meses	-200
GLP e gás natural	24 meses	-200

Tabela 31 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Investimento*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 5 - Investimento</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	R\$ 600.000,00	-441
óleo combustível	R\$ 600.000,00	-441
GLP	R\$ 60.000,00	147
gás natural	R\$ 200.000,00	0
GLP e gás natural	R\$ 200.000,00	0

Tabela 32 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Rendimento da caldeira*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 6 – Rendimento da Caldeira</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	75%	-567
óleo combustível	88%	0
GLP	92%	100
gás natural	92%	100
GLP e gás natural	92%	100

Tabela 33 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério *Número de fornecedores*.

<b>Avaliação Parcial no Sub-Critério 7.1 – Número de Fornecedores</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	superior a 5	133
óleo combustível	igual a 3	100
GLP	igual a 3	100
gás natural	igual a 1	0
GLP e gás natural	igual a 3	100

Tabela 34 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério *Proximidade da fonte*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 7.2 – Proximidade da Fonte</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	Rio Negrinho	0
óleo combustível	Curitiba	-25
GLP	Curitiba	-25
gás natural	Blumenau	125
GLP e gás natural	Blumenau	125

Tabela 35 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério *Dificuldade de troca do fornecedor*.

<b>Avaliação Parcial no Sub-Critério 7.3 – Dificuldade de Troca do Fornecedor</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	100
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	0
gás natural	gás natural	-150
GLP e gás natural	GLP	0

Tabela 36 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Complexidade do equipamento*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 8 – Complexidade do Equipamento</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	250
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	100
gás natural	gás natural	100
GLP e gás natural	GLP	100

<b>Avaliação Parcial no Sub-Critério 9.1 – Localização do Técnico</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	Blumenau	100
óleo combustível	São Paulo	-75
GLP	Curitiba	0
gás natural	Curitiba	0
GLP e gás natural	Curitiba	0

Tabela 37 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério *Localização Técnico*.Tabela 38 – Avaliação parcial das ações potenciais no Sub-Critério *Localização das Peças*.

<b>Avaliação Parcial no Sub-Critério 9.2 – Localização das Peças</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	Blumenau	400
óleo combustível	São Paulo	0
GLP	São Paulo	0
gás natural	São Paulo	0
GLP e gás natural	São Paulo	0

Tabela 39 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Controle da eficiência da queima*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 10 – Controle da Eficiência da Queima</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	lenha	-300
óleo combustível	óleo combustível	0
GLP	GLP	100
gás natural	gás natural	100
GLP e gás natural	GLP	100

Tabela 40 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Custo Operacional Mensal*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 11 – Custo Operacional Mensal</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	\$11/ ton de vapor	161
óleo combustível	\$16/ ton de vapor	-83
GLP	\$16/ ton de vapor	-83
gás natural	\$15/ ton de vapor	-42
GLP e gás natural	\$15/ ton de vapor	-42

Tabela 41 – Avaliação parcial das ações potenciais no Critério *Custo Estoque de Combustível*.

<b>Avaliação Parcial no Critério 12 – Custo Estoque de Combustível</b>		
<b>Ação Potencial</b>	<b>Impacto</b>	<b>Atratividade Local</b>
lenha	21 dias	-100
óleo combustível	14 dias	0
GLP	7 dias	100
gás natural	0 dias	267
GLP e gás natural	7 dias	100

A Figura 55 mostra de forma resumida a atratividade local em cada critério das ações potenciais analisadas.

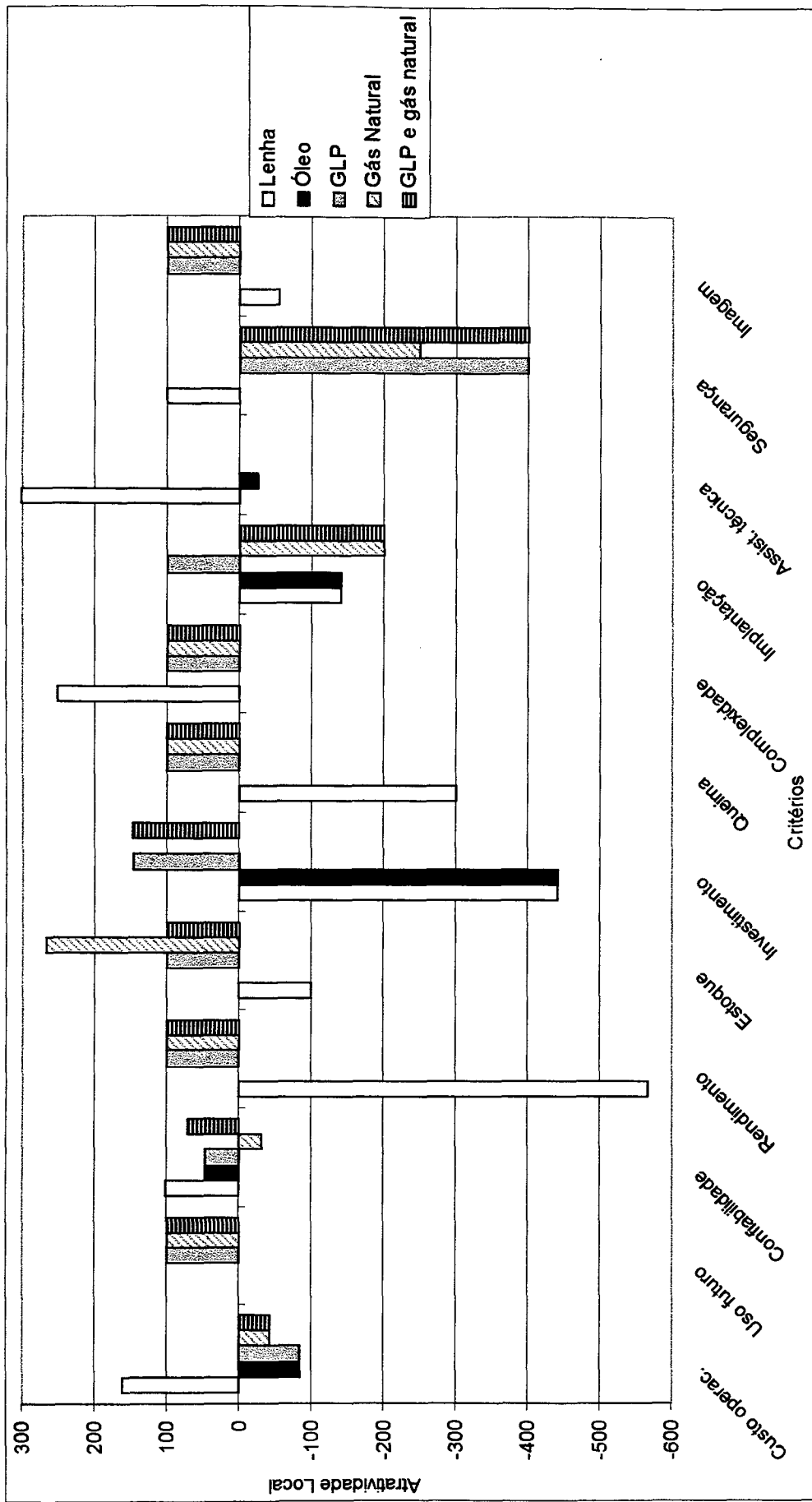


Figura 55 – Representação gráfica das avaliações parciais das ações potenciais analisadas.



### 3.7 AVALIAÇÃO GLOBAL DAS AÇÕES POTENCIAIS

A avaliação global das ações potenciais é calculada utilizando-se a fórmula geral de agregação de um modelo multicritérios em apoio à decisão (vide seção 1.12). Desta forma, multiplica-se pelo peso ou taxa de substituição a atratividade local de cada ação potencial em cada um dos critérios e faz-se um somatório dos valores encontrados, obtendo-se assim a atratividade global de cada ação potencial avaliada pelo modelo (Figura 56).

The Root Node							
Add combustível Data Breakdown							
BRANCH	Wt	Óleo		Gás Natur		CumWt	
		Lenha	GLP	GLP	E G		
* Custo operac.	20	161	-83	-83	-42	-42	19.9
* Uso futuro	14	0	0	100	100	100	14.4
Confiabilidade	13	102	48	48	-31	71	13.0
* Rendimento	12	-567	0	100	100	100	11.6
* Estoque	10	-100	0	100	267	100	9.6
* Investimento	8	-441	-441	147	0	147	8.2
* Queima	6	-300	0	100	100	100	6.2
* Complexidade	5	250	0	100	100	100	5.5
* Implantação	5	-140	-140	100	-200	-200	4.8
Assist. técnica	3	301	-25	0	0	0	2.7
* Segurança	3	100	0	-400	-250	-400	2.7
* Imagem	1	-54	0	100	100	100	1.4
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>-60</b>	<b>-54</b>	<b>44</b>	<b>36</b>	<b>41</b>	<b>100.0</b>

Figura 56 – Avaliação Parcial e Global das Ações Potenciais de Combustível.

Através da figura acima é observar-se que a ordem de preferência dos decisores foi: GLP, gás natural em conjunto com GLP, gás natural, óleo combustível com filtro e lenha com filtro. É importante frisar que como este é um Modelo de Apoio à Decisão, esta não é uma solução ótima e sim uma recomendação que reflete o julgamento de valor dos decisores sobre o problema.

O software Hiview (Barclay, 1984) permite que se compare par-a-par as ações potenciais analisadas e assim observar em que critérios uma ação é melhor que outra. A Figura 57 mostra a comparação entre a performance da ação potencial GLP e a da GLP + gás natural. As demais comparações das ações par-a-par encontram-se no anexo V.

Pode-se observar que elas são iguais em quase todos os critérios, com exceção do *Prazo de implantação* (em que o GLP é superior a ação potencial GLP + gás natural), *Proximidade da fonte* e custo operacional (critérios onde a ação potencial GLP + gás natural é superior ao GLP).

		GLP vs GLP E G				
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Implantação	4.8	300	14.37	14.37	—
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	0	0.00	14.37	▪
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	0	0.00	14.37	▪
combustível	Rendimento	11.6	0	0.00	14.37	▪
combustível	Estoque	9.6	0	0.00	14.37	▪
combustível	Investimento	8.2	0	0.00	14.37	▪
combustível	Queima	6.2	0	0.00	14.37	▪
combustível	Complexidade	5.5	0	0.00	14.37	▪
combustível	Uso futuro	14.4	0	0.00	14.37	▪
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	14.37	▪
Assist. técnica	Técnico	0.9	0	0.00	14.37	▪
combustível	Segurança	2.7	0	0.00	14.37	▪
combustível	Imagem	1.4	0	0.00	14.37	▪
Confiabilidade	Fonte	2.0	-150	-2.93	11.45	—
combustível	Custo operac.	19.9	-41	-8.16	3.29	—
		100.0		3.29		

Figura 57 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e GLP + gás natural.

A análise desta figura é feita observando a coluna WTD: valores positivos indicam que o GLP é melhor que GLP + gás natural, valores negativos o contrário e o valor zero indica que as duas ações se equivalem naquele critério.

Como estas duas ações potenciais tiveram uma performance global muito parecida, foi aconselhado aos decisores efetuar análises de sensibilidade para testar a robustez do modelo a variação de parâmetros. Estas análises são mostradas nas seções 3.8 e 3.9.

### 3.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO À VARIAÇÕES DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Nas figuras a seguir, o número 1 indica a performance da ação potencial lenha com filtro, o número 2 a performance do óleo com filtro, o 3 a do GLP, o 4 a do gás natural e o 5 a do GLP + gás natural.

Nos gráficos gerados pelo software Hiview, as retas representam a variação da atratividade global das ações potenciais devido a alterações do peso de um determinado critério de avaliação. Assim, na Figura 58 a reta 1 representa a variação da atratividade global da ação potencial lenha com filtro. Quando o critério Custo Operacional tem um peso de 0% (ou seja, não é considerado para avaliar as ações potenciais) a atratividade global da lenha com filtro é aproximadamente -120. Já se o Custo Operacional tivesse um peso de 100% (neste caso seria o único critério levado em consideração), a ação potencial lenha com filtro obteria uma avaliação global de 150 pontos. Em todos os gráficos, a reta vertical indica o peso atual do critério no modelo analisado (no caso da Figura 58, o peso do critério Custo Operacional é 19,9%).

Analisando-se a Figura 58, observa-se que para um peso para o critério Custo Operacional até 25%, aproximadamente, a ação potencial que apresenta a melhor performance é aquela representada pela reta 3, que é o GLP (área hachuriada à esquerda da figura). Para valores do peso entre 25% e 48%, a ação potencial representada pela reta 5, que no caso é o GLP + gás natural apresenta a maior avaliação global. E para um peso para este critério acima de 48%, é a lenha com filtro, que é representada pela reta 1, que apresenta a melhor atratividade global (área hachuriada à direita da figura). Como o peso atual para este critério é de 19,9%, o modelo é robusto a variações de até 5% (em valores absolutos e 20% em valores relativos) no peso deste critério sem que se mude ação potencial de melhor desempenho (GLP). Este mesmo tipo de análise é válido para os outros critérios de avaliação.

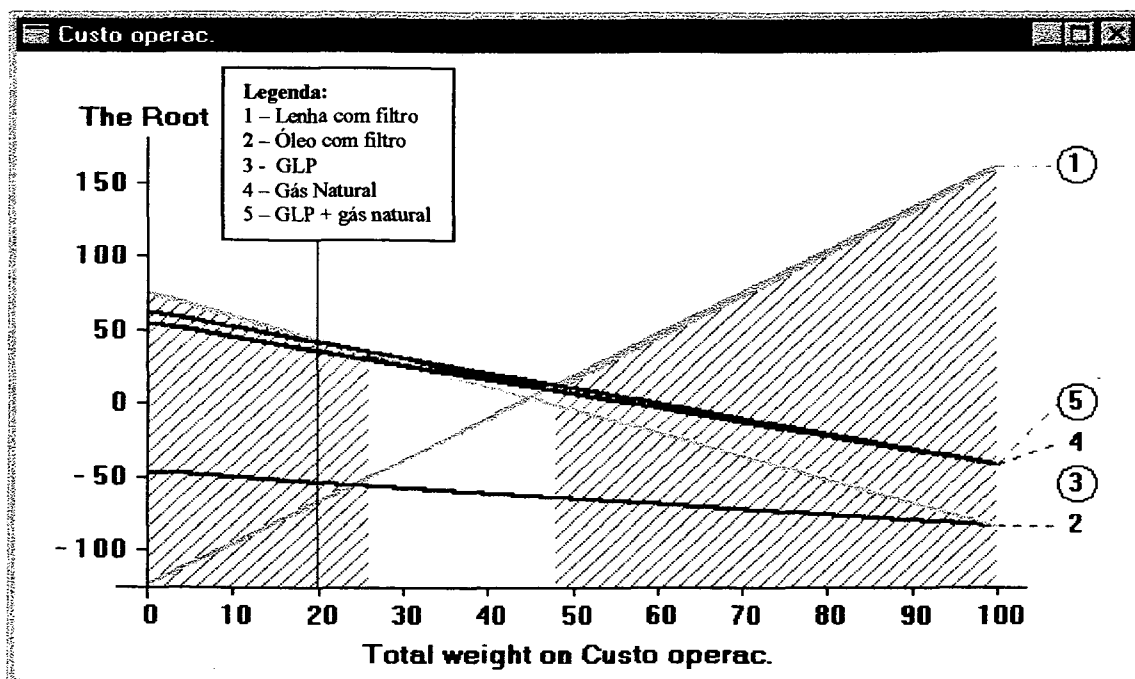


Figura 58 – Análise de Sensibilidade com relação à variação do peso do Critério *Custo Operacional*.

Na Figura 59, observa-se que o GLP permanece sendo melhor que a alternativa GLP + gás natural mesmo se o peso atual do sub-critério *Proximidade da fonte* passar de 2% para até 5%.

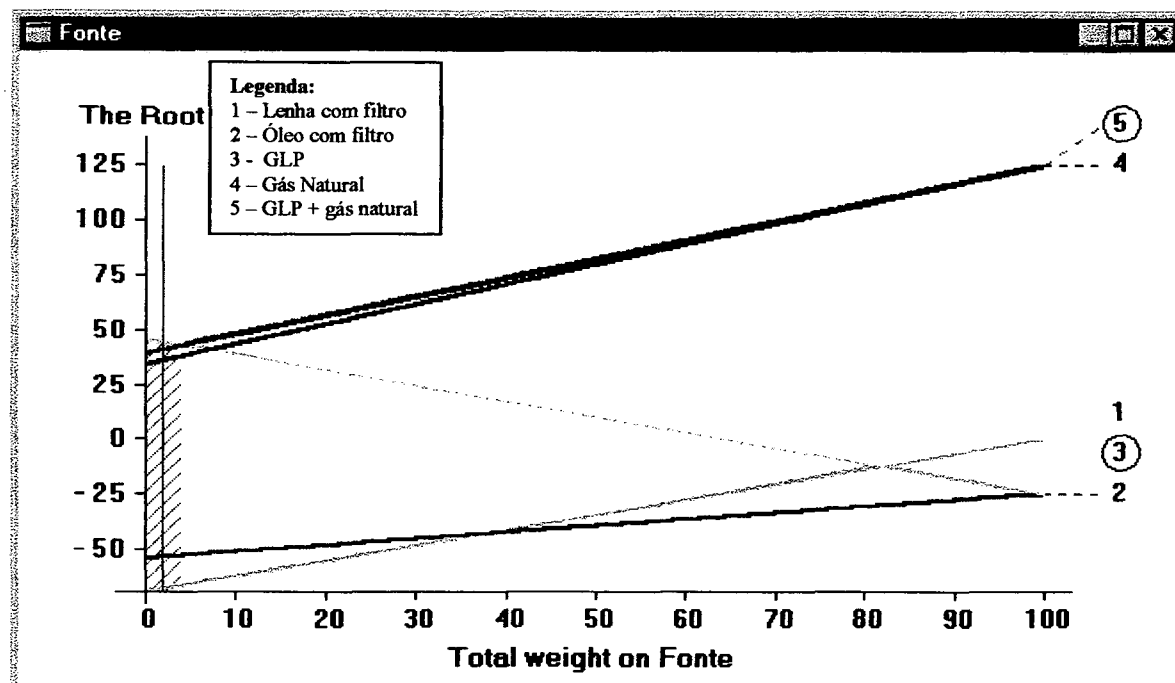


Figura 59 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério *Proximidade da fonte*.

Já no caso da Figura 60, o modelo é bastante sensível à variação do peso do critério *Prazo de implantação*, pois quase não é possível variação para baixo no peso deste critério sem que a ação potencial GLP + gás natural se torne a ser mais atrativa globalmente que a ação GLP.

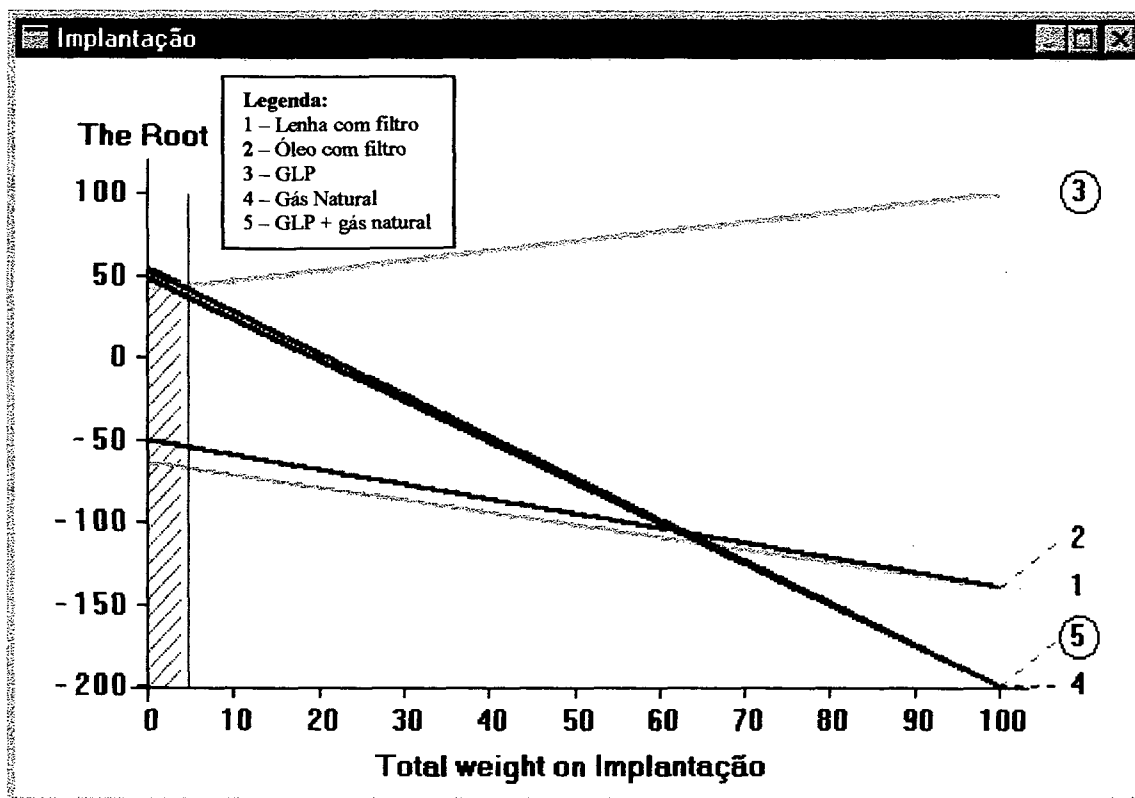


Figura 60 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Prazo de Implantação*.

As análises de sensibilidade dos demais critérios e sub-critérios encontram-se no anexo VI.

Tendo em vista as análises de sensibilidade mostradas nas figuras anteriores, os decisores não se sentiram muito seguros em relação a recomendação apresentada e por isso outra análise de sensibilidade, desta vez usando as relações outranking foi empregada para aumentar a segurança dos decisores com relação a aplicação do modelo.

### 3.9 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO UTILIZANDO RELAÇÕES OUTRANKING

O primeiro procedimento para utilizar este tipo de análise é definir qual o par de ações potenciais é que vai ser analisado (seção 2.5). Os decisores resolveram que o par GLP e GLP + gás natural é o que apresentava o maior número de dúvidas em relação a diferença de atratividade global.

Os decisores então foram questionados a fim de se encontrar os limiares de indiferença associados aos critérios de avaliação (seções 2.4 e 2.5). Analisando os critérios, as funções de valor e refletindo sobre os seus juízos de valor, os decisores consideraram que em 5 critérios o limiar de indiferença era diferente de zero (Tabela 42).

**Tabela 42 – Limiares de Indiferenças dos Critérios do Modelo.**

<b>Critério</b>	<b>Limiar de indiferença <math>q_j</math></b>
Prazo de implantação	50
Investimento	25
Rendimento da caldeira	50
Custo do estoque de combustível	40
Custo operacional	25

A seguir é analisada a diferença de atratividade local entre as duas ações potenciais. Caso esta diferença esteja dentro do limiar de indiferença, procede-se como foi apresentado na seção 2.5, caso contrário, as diferenças entre as performances das duas ações potenciais são significativas.

**Tabela 43 – Diferença entre as avaliações parciais das ações potenciais GLP e GLP + gás natural.**

<b>Critério</b>	<b>Avaliação parcial GLP</b>	<b>Avaliação parcial GLP + gás natural</b>	<b>diferença entre avaliações parciais</b>	<b>limiar de indiferença</b>
Prazo de implantação	100	-200	300	50
Investimento	147	0	147	25
Rendimento da caldeira	100	100	0	50
Custo estoque combustível	100	100	0	40
Custo operacional	-83	-42	41	25

Analisando-se a tabela acima, percebe-se que apenas nos critérios *Custo do estoque de combustível* e *Rendimento da caldeira*, a diferença de atratividade local é menor ou igual ao limiar de indiferença. Em todos os outros critérios, a diferença é maior do que

o limiar de indiferença, sendo assim considerada significativa, ou seja, segundo o juízo de valor dos decisores há realmente uma diferença de preferência entre as duas ações potenciais naqueles critérios.

Entretanto, nos critérios onde a diferença de atratividade local é menor do que o limiar de indiferença isto ocorre porque estas duas ações potenciais tem exatamente o mesmo impacto naqueles critérios. Com isso, os decisores julgaram que realmente existe uma diferença entre as avaliações globais das duas ações e que a ação GLP tem uma atratividade global maior do que a ação potencial GLP + gás natural. Ao final do processo os decisores consideraram que a alternativa a ser implantada devia ser o GLP.

## 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um modelo para avaliar alternativas de combustível para alimentar caldeiras visando diminuir o nível de emissões atmosféricas. O modelo está inserido na nova preocupação das empresas que é permanecer ou tornar-se competitiva num ambiente onde cada vez mais os aspectos ambientais tem maior relevância.

Neste sentido a utilização de uma abordagem Multicritérios em Apoio à Decisão foi de grande valia, pois leva em conta além dos aspectos objetivos também os subjetivos. Esta abordagem também permite tratar de forma adequada os problemas complexos, que são aqueles que envolvem múltiplos atores e objetivos. Somado a isto, esta metodologia permite que os decisores tenham um maior conhecimento sobre o seu problema ou contexto decisório, principalmente através da ferramenta dos mapas cognitivos.

No caso prático apresentado foi evidenciada a validade de se usar uma Metodologia Multicritérios em Apoio à Decisão em um contexto decisório onde estava em pauta questões ambientais, pois problemas deste tipo geralmente são muito complexos por envolver um grande número de intervenientes e objetivos conflitantes. Desta forma, a solução recomendada aos decisores é utilizar o GLP como combustível para a alimentação da Hering Têxtil Unidade Itororó.

Neste trabalho também foi apresentada uma forma de usar os limiares de indiferença das relações outranking numa análise de sensibilidade. O uso desta análise de sensibilidade utilizando as relações outranking foi considerado de grande valia pelos decisores para clarificar dúvidas quanto à comparação do desempenho global no modelo de duas ações potenciais que tem performances semelhantes. Isto porque permite distinguir quais os critérios em que realmente existem diferenças significativas entre os perfis das ações potenciais.

Concluindo, é necessário salientar que ao final do processo da construção deste modelo, os decisores saíram bastante satisfeitos, por três motivos: aprenderam mais sobre seu problema; conseguiram solucioná-lo e por último, tem de forma estruturada todos os critérios que os levaram a decidir entre uma das alternativas.



Analisando a aplicação do caso prático, o autor recomenda algumas sugestões para futuros trabalhos na área de apoio à decisão:

- Tendo em vista os resultados obtidos, seria interessante testar a análise de sensibilidade através das relações “Outranking” em modelos que tenham mais de cinco ações potenciais, para realmente comprovar a sua eficiência.
- Devido a reação favorável dos decisores frente a aplicação da análise de sensibilidade utilizando o limiar de indiferença, sugere-se usar em futuros trabalhos outros tipos de limiares presentes nas relações “Outranking”, como o limiar de preferência e o de veto, e assim efetuar outras análises de sensibilidade.
- A reação dos decisores frente as metodologias utilizadas para estimar as taxas de substituição do modelo sugere que se deve pesquisar uma maneira mais fácil e compreensível, para o decisor, de se encontrar os pesos.
- Finalmente, sugere-se a aplicação deste modelo novamente assim que o gás natural se tornar operacional, provavelmente em meados de 1999, tendo em vista a pequena diferença de atratividade global entre a alternativa onde se utiliza apenas o GLP para alimentar as caldeiras e aquela onde se usa em conjunto o GLP e o gás natural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMANN, F., EDEN, C., CROPPER, S. Getting Started with Cognitive Mapping. Artigo fornecido com o software COPE, 1995.
- BANA E COSTA, C.A. A methodology for sensitivity analysis in three-criteria problems: A case study in municipal management. **European Journal of Operational Research**, n.33, pp. 159-173, 1988.
- BANA E COSTA, C.A. Absolute and relative evaluation problematiques: the concept of neutral level and the MCDA robot technique. **Proceedings of the International Multicriteria Decision Making Workshop**, Lieblice, Março, pp. 7-15, 1991.
- BANA E COSTA, C.A. **Structuration, construction et exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la décision**, PhD Thesis, Universidade Técnica de Lisboa, 1992.
- BANA E COSTA, C.A. O que entender por Tomada de Decisão Multicritério ou Mutiobjetivo?. **Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão**, ENE, UFSC, Florianópolis, 1995a.
- BANA E COSTA, C.A., **Processo de Apoio à Decisão: Problemáticas, actores e acções**, **Apostila do Curso de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão**, ENE, UFSC, Florianópolis, 1995b.
- BANA E COSTA, C.A., ANTUNES FERREIRA, J.A., VANSNICK, J.C. Avaliação Multicritério de Propostas: O caso de uma nova linha do metropolitano de Lisboa. **Revista de Transportes e Tecnologia**, 1995 (em edição).
- BANA E COSTA, C.A., ENSSLIN, L., KOPITKE, B.H., MONTIBELLER NETO, G. NORONHA, S.M.D, SOUZA, T.P.S. Um Modelo Multicritério para a Avaliação da Capacidade Empreendedora. **VIII Latin-Iberian-American Congress on Operations Research and System Engineering (CLAIO) e XXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)**. Rio de Janeiro, Agosto, 1996.
- BANA E COSTA, C.A., FERNANDES, P.A. The case of the second bridge across the River Tagus: Which points of view favored with the decision taken? **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão – ENE/UFSC**, Florianópolis, Agosto, 1995.
- BANA E COSTA, C.A., SILVA, F. N. Conceção Multicritério de uma linha ferroviária. **Investigação Operacional**, v. 14, Dez, pp.115-131, 1994.
- BANA E COSTA, C.A., STEWART, T.J., VANSNICK, J.C. Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão – ENE/UFSC**. Florianópolis, Agosto, 1995.

- BANA E COSTA, C.A., VANSNICK, J. C. Uma Nova Abordagem ao Problema de Construção de um Função de Valor Cardinal: MACBETH. **Investigação Operacional**, vol. 15, junho, pp. 15-35., 1995a.
- BANA E COSTA, C.A., VANSNICK, J.C. Measuring credibility of compensatory preference statements when trade-offs are interval determined. **Apostila do Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão – ENE/UFSC**. Florianópolis, Agosto, 1995b.
- BANA E COSTA, C.A., VASNICK, J.C. Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model, **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, pp. 107-114, 1997.
- BANA E COSTA, C.A., VINCKE, P. Multiple Criteria Decision Aid: An Overview. In: BANA E COSTA, C.A.(ed.), **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- BARCLAY, S. **HIVIEW software package**. London: London School of Business, 1984.
- BEINAT. E. **Multiattribute Value Functions for Environmental Management**, Amsterdam: Timbergen Institute Research Series, 1995.
- BELTON, V., VICKERS, S. Use of a single Multi-attribute value function incorporating Visual Interactive Sensitivity Analysis for multiple criteria decision making. In: BANA E COSTA, C.A.(ed.), **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- BELTON, V., ACKERMANN, F., SHEPHERD, I. Integrated Support from Problem Structuring through to Alternative Evaluation Using COPE and VISA, **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, vol. 6, pp. 115-130, 1997.
- BOUYSSOU, D. Modeling inaccurate determination, uncertainty, imprecision using multiple criteria. In: LOCKETT, A.G., ISLEI, G. (eds.) **Improving Decision Making in Organizations**, Berlin: Springer, pp. 78-87, 1989.
- BOUYSSOU, D. Building criteria: a prerequisite for MCDA. In: BANA E COSTA (ed.) **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**, Berlin: Springer, pp. 58-82, 1990.
- BOUYSSOU, D. Elementary Concepts and Basic Approaches in MCDA. **Apostila de aula da Summer School on MCDA**, Turku, Finlândia, Julho, 1997.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B. The Promethee Methods for MCDM; The Promcalc, Gaia and Bankadviser Software. In: BANA E COSTA, C.A.(ed.), **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer-Verlag, 1990
- CHURCHILL, J. Complexity and Strategic Decision-Making. In: EDEN, C.; RADFORD, J. (eds.) **Tackling Strategic Problems**. London: Sage, 1990.

- COELHO, C. C. de S. R. **A Questão Ambiental dentro das Indústrias de Santa Catarina: uma Abordagem para o Segmento Industrial Têxtil.** Florianópolis - Brasil, Dissertação de Mestrado – Depto. de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- CORRÊA, E. C. **Construção de um Modelo Multicritério de Apoio ao Processo Decisório.** Florianópolis - Brasil, Dissertação de Mestrado – Depto. de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- COSSETTE, P., AUDET, M. Mapping of an idiosyncratic schema. **Jour. of Mng. Studies**, v.29, n.3, pp. 325-348, 1992.
- DIAS, L. C., COSTA, J. P., CLIMACO, J. N. Conflicting Criteria, Cooperating Processors - Some experiments on implementing decision support method on a parallel computer. **Computers & Operations Research**, 1997 (em edição).
- DONAIRE, D. Considerações sobre a Influência da Variável Ambiental na Empresa. **Revista de Administração de Empresas/EAESP/FGV**, v. 34, n. 2, pp. 68-77, 1994.
- EDEN, C. Using cognitive mapping for strategic options development and analysis (SODA). In: ROSENHEAD, J. (ed.) **Rational Analysis for a Problematic World**, Chichester: Wiley, 1989.
- EDEN, C. Perish the thought! **Journal of Operational Research Society**, v. 36, n. 9, pp. 809-819, 1985.
- EDEN, C., JONES, S., SIMS, D. **Messing about in problems.** Oxford: Pergamon, 1983.
- ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. D. Constructing a Plan for Development using Cognitive Maps. **Third International Congress of Industrial Engineering e XVII ENEGEP**, Gramado/RS, Outubro, 1997.
- ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G., NORONHA, S. M. D., SOUZA, T. S. A model to employability evaluation at the developing countries. **Fifth International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing: Agility & Hybrid Automation**, Havaí, Agosto, 1996.
- GOODWIN, P., WRIGHT, G. **Decision Analysis for Management Judgement**, Chichester: John Wiley & Sons, 1991.
- GUIMARÃES, P. C. V. Comércio Internacional e Desenvolvimento Sustentável: Condicionantes para a Ação Empresarial. **Revista de Administração de Empresas/EAESP/FGV**, v. 34, n. 5, pp. 6-12, 1994.
- GUIMARÃES, P. C. V., DEMAJOROVIC, J., OLIVEIRA, R. G. Estratégias Empresariais e Instrumentos Econômicos de Gestão Ambiental. **Revista de Administração de Empresas/EAESP/FGV**, v. 35, n. 5, pp. 72-82, 1995.

- HOLZ, E. **Estratégias de Equilíbrio entre a Busca de Benefícios Privados e os Custos Sociais Gerados Pelas Unidades Agrícolas Familiares**. Projeto de Tese de Doutorado. Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1998.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. Basic Concepts for Multicriteria Decision. In: Fandel, G. e Spronk, J. (eds.) **Multiple Criteria Decision Methods and Applications**, New York: Springer, 1985.
- KEENEY, R. L. **Value-Focused Thinking: A Path do Creative Decisionmaking**. Cambridge: Harvard University Press, 1992.
- KEENEY, R. L. Creativity in Decision Making with Value-Focused Thinking. **Sloan Management Review**, Summer, pp. 33-41, 1994.
- LIMA, M. V. A. **Um Modelo Multicritério para Gerenciamento de Risco por uma Empresa de Factoring**. Florianópolis - Brasil, Dissertação de Mestrado – Depto. de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
- MONTIBELLER NETO, G. **Mapas Cognitivos: Uma Ferramenta de Apoio à Estruturação de Problemas**. Florianópolis - Brasil, Dissertação de Mestrado – Depto. de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- NAHUZ, M. A. R. O Sistema ISO 14001 e a Certificação Ambiental. **Revista de Administração de Empresas/EAESP/FGV**, v. 35, n. 6, pp. 55-66, 1995.
- OSTANELLO, A. Outranking Methods. In: FANDEL, G., SPRONK, J. (eds.) **Multiple Criteria Decision Methods and Applications**, New York: Springer, 1985.
- ROBERTS, F. S. Measurement Theory. In: ROTA, G.C. (ed.) **Encyclopedia of Mathematics and Its Applications**. vol. 7, Addison-Wesley Publishing Company, 1979.
- ROY, B. The optimization problem formulation: criticism and overstepping, **Journal of Operational Research Society**, v. 32, n. 6, pp. 427-436. 1981.
- ROY, B. Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision in decision models. **Math. Comput. Modelling**, v. 12, n. 10/11, pp. 1245-1254, 1989.
- ROY, B. The Outranking Approach and the foundations of ELECTRE Methods. **Theory and Decision**, n. 31, pp. 49-73, 1991.
- ROY, B. Decision science or decision-aid science? **European Journal of Operational Research**, n. 66, pp. 184-203, 1993.
- ROY, B., VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works. **Journal of MCDA**, v. 5, pp. 22-38, 1996.
- VANDERPOOTEN, D. The construction of prescriptions in Outranking Methods. In: BANA E COSTA, C.A. (ed.) **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**, Berlim: Springer, pp. 58-82, 1990.

- VANDERPOOTEN, D. An introduction to the Outranking Approach and ELECTRE Methods. **Apostila de aula da Summer School on MCDA**, Turku, Finlândia, Julho, 1997.
- VANSNICK, J. C. Measurement Theory and Decision Aid. In: BANA E COSTA, C.A.(ed.), **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer-Verlag, 1990.
- ZANELLA, I. J. **As Problemáticas Técnicas no Apoio à Decisão em um Estudo de Caso de Sistemas de Telefonia Móvel Celular**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1996.

## **ANEXOS**

# ANEXO I – DADOS TÉCNICOS DO SISTEMA DE CALDEIRAS DA UNIDADE ITORORÓ DA HERING TÊXTIL S.A.

## 1. Emissão atmosférica de poluentes pelas Caldeiras.

Equipamento	Emissão Atual de Material Particulado (mg / m <sup>3</sup> )
Caldeira N.º 1 - Itororó	490
Caldeira N.º 2 - Itororó	246
Caldeira N.º 3 - Itororó	247

Tabela 44 – Emissão atmosférica das Caldeiras da Unidade Itororó da Hering Têxtil S.A.

## 2. Gasto mensal com as caldeiras

Fábrica	Produção Média (tonelada vapor produzida por mês)	Custo Total em US\$ / mês	US\$ / tonelada produzida
Itororó	5917	69059	11,67

Tabela 45 – Gasto mensal com as caldeiras da Unidade Itororó da Hering Têxtil.

## 3. Consumo mensal de combustíveis

Média 1997

Óleo Combustível - 256 toneladas / mês - 34145 US\$ / mês

Lenha - 2210 toneladas / mês - 43116 US\$ / mês

## 4. Ponto de Utilização do Vapor

O vapor é utilizado nas máquinas de tingir (35), nos secadores de malha (3), e nos pré-encolhedores de malha.

## 5. Tipos de Caldeiras

Itororó

Caldeira a Óleo H Bremer, capacidade de 6,5 toneladas / hora

Caldeira a Lenha Eônia, adaptada pela H Bremer, capacidade de 12 toneladas / hora

Caldeira a Óleo Eônia, capacidade de 12 toneladas / hora



## ANEXO II – ELEMENTOS PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO

### Decisor A:

- Processo de queima da caldeira
- Equipamentos instalados
- Operação da caldeira
- Instalação de lavadores de gás
- Troca de combustível
- Reduzir emissões atmosféricas
- Custo Baixo
- Operação fácil
- Atender legislação ambiental
- Não ter garantia

### Decisor B:

- Trocar combustível
- Adequação dos queimadores
- Colocação de filtros
- Custo
- Disponibilidade de estocagem
- Risco ambiental
- Manuseabilidade do combustível
- Manutenção dos equipamentos
- Disponibilidade do combustível
- Investimentos necessários
- Custo da troca
- Garantia de diminuição da poluição
- Execução rápida
- Baixo custo de manutenção
- Segurança
- Economicamente viável

### Decisor C:

- Legislação ambiental
- ISO 14001
- Reclamações da vizinhança
- Custo operacional e de implantação
- Curto prazo de implantação
- Baixa manutenção
- Facilidade de Assistência Técnica
- Facilitar implantação gás natural
- Segurança de operação
- Não aumentar o custo do vapor
- Qualidade técnica dos equipamentos

**Decisor D:**

- Melhorar a queima das caldeiras
- Lavador de gases
- Investimento inicial
- Usar gás natural
- Custo de operação
- Poluição
- Facilidade de operação
- Combustível com fácil manuseio
- Aspecto burocrático da compra do combustível
- Manutenção dos equipamentos
- Custo de manutenção
- Segurança
- Confiabilidade
- Custo do estoque do combustível
- Diminuir poluição
- Rápida conversão do sistema atual para o novo
- Praticidade de operação
- Não modificar muito o sistema atual

## **ANEXO III – MAPAS COGNITIVOS**

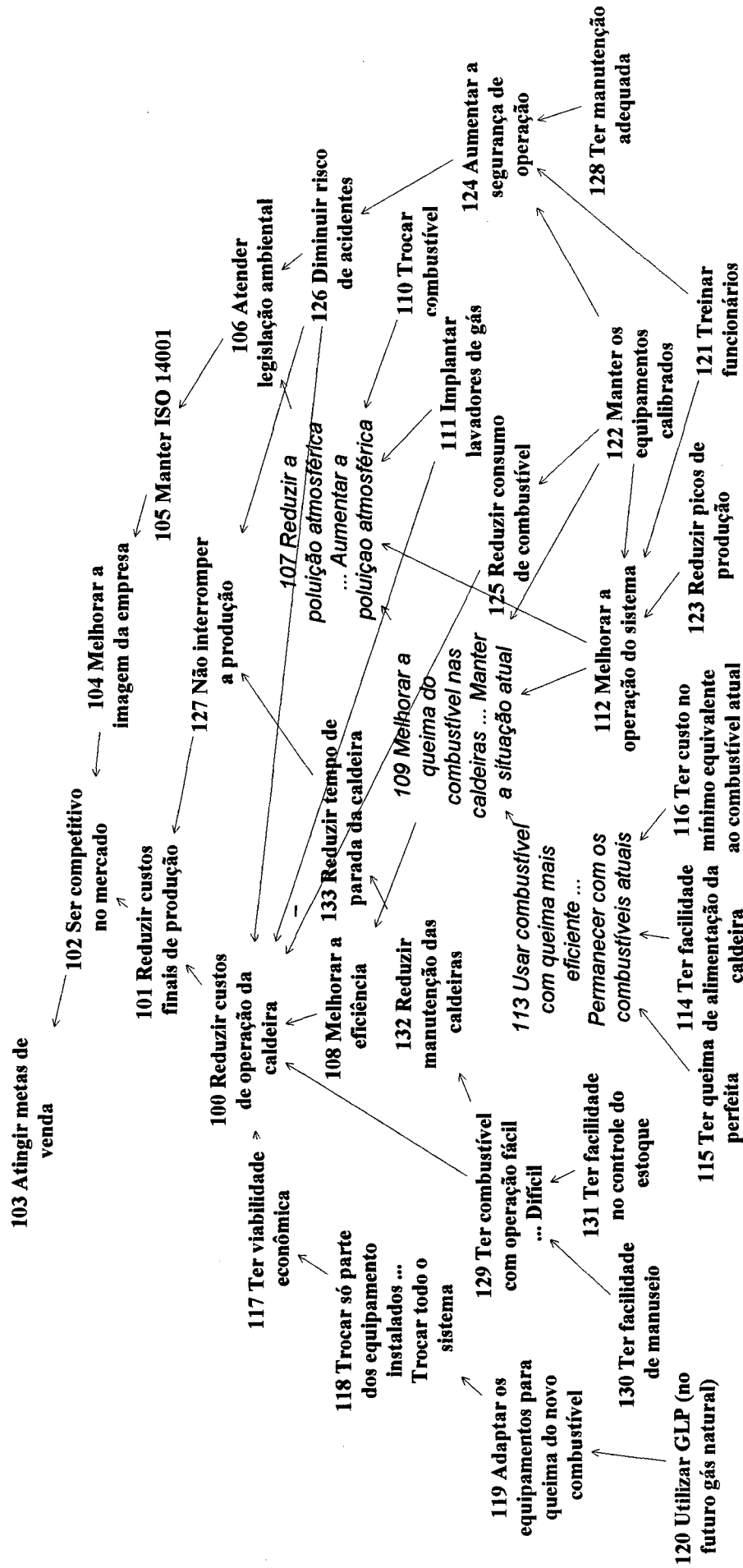


Figura 62 – Mapa Cognitivo do Decisor B.

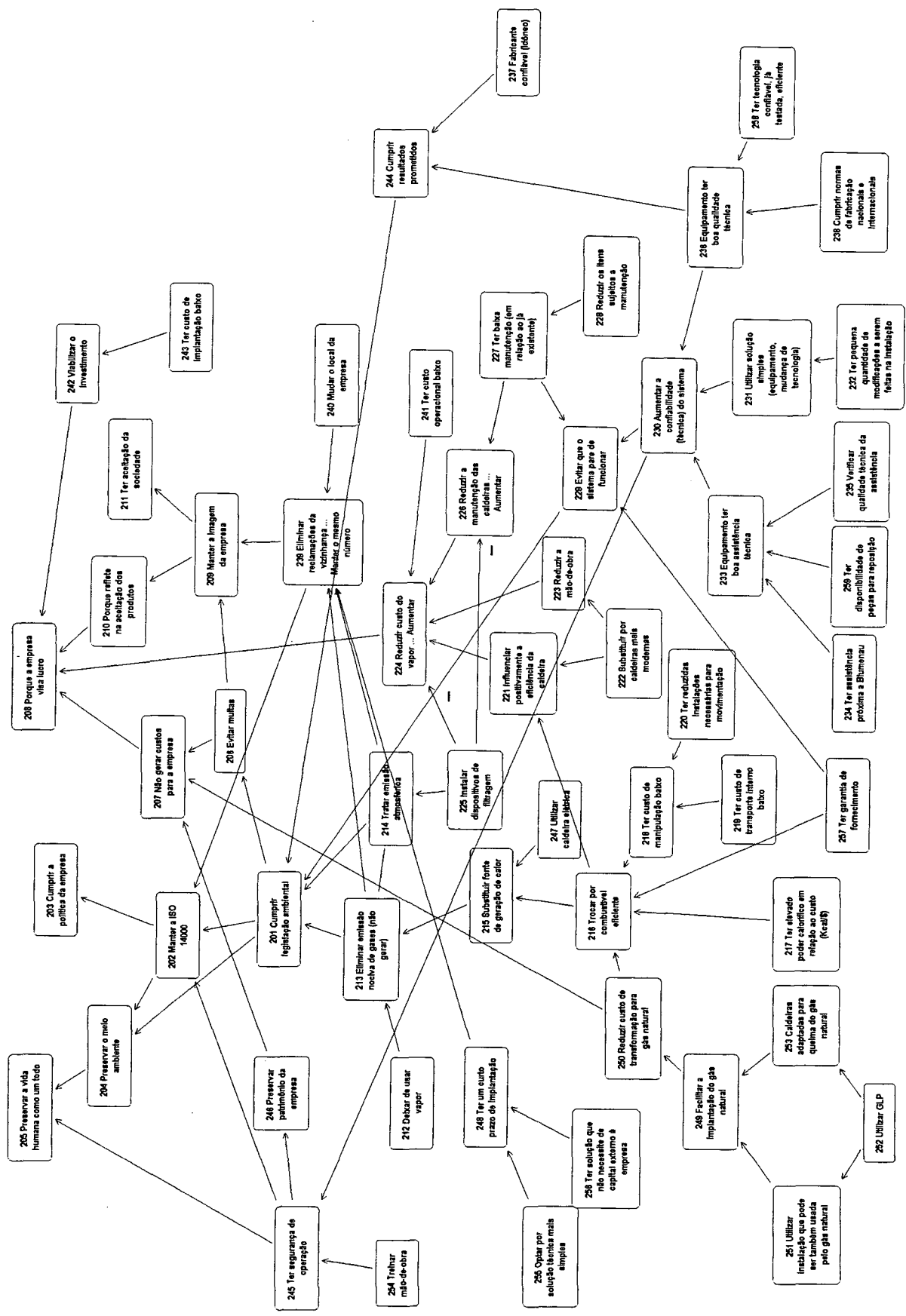


Figura 63 – Mapa Cognitivo do Decisor C.

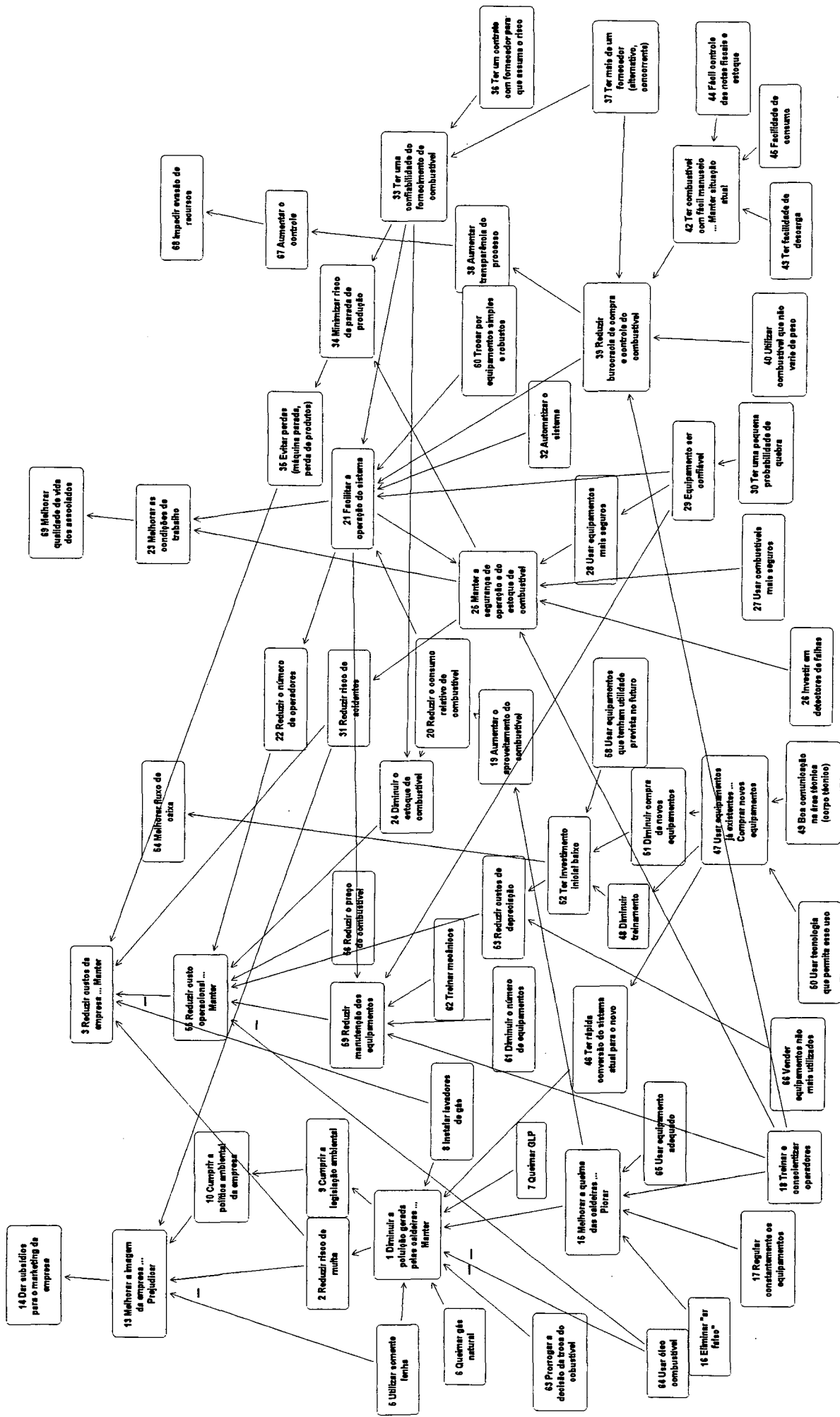


Figura 64 – Mapa Cognitivo do Decisor D.

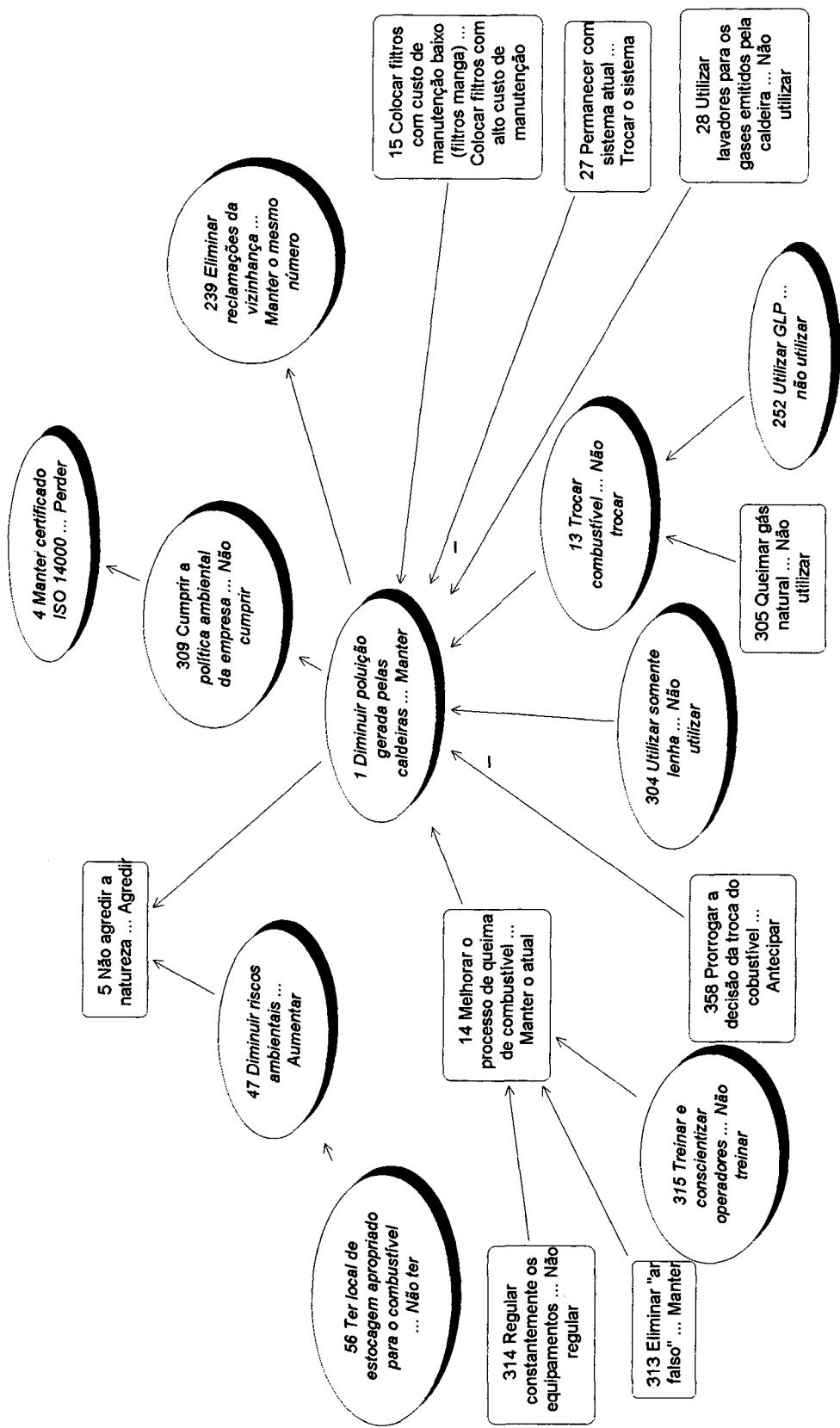


Figura 65 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Ambiental.

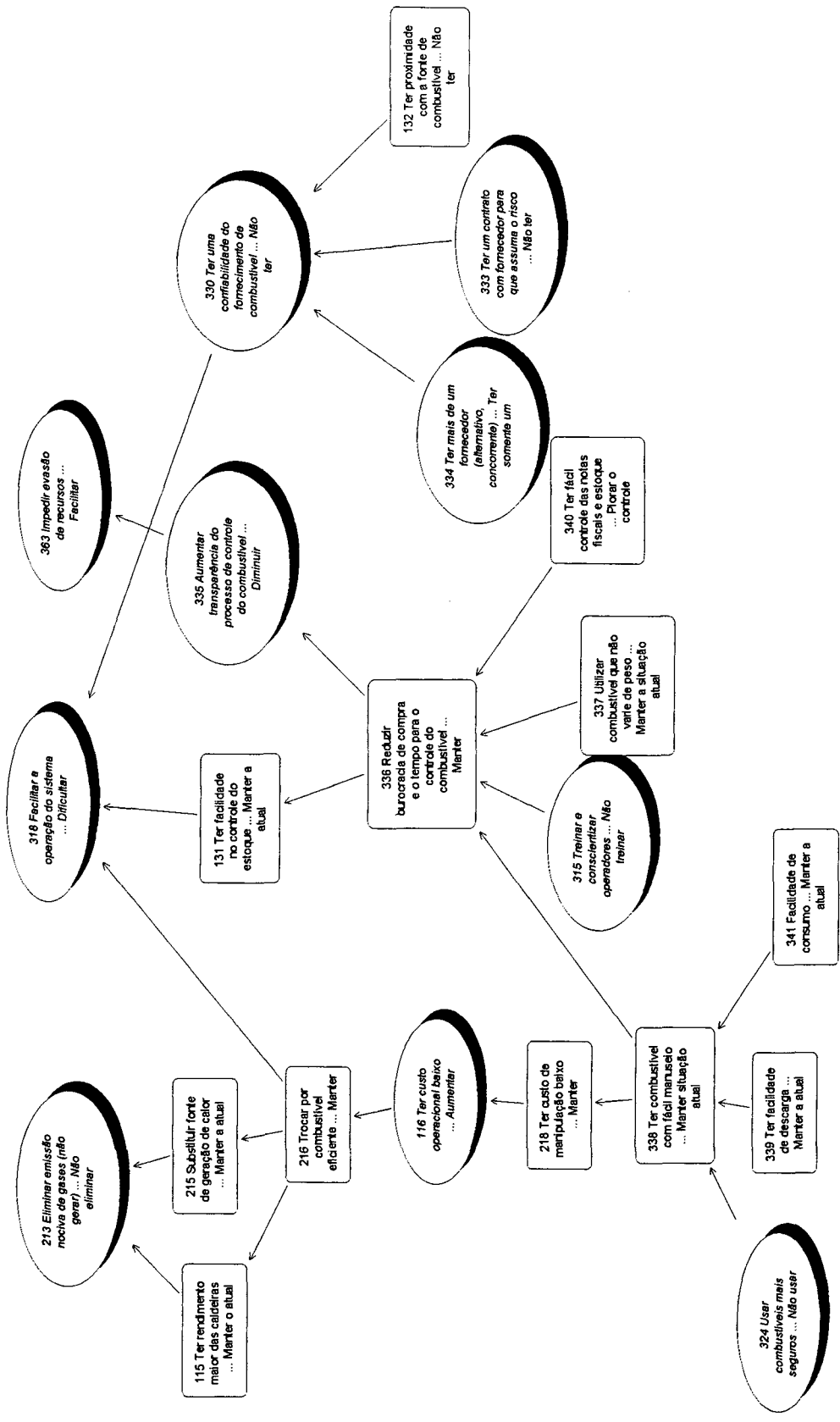


Figura 66 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Combustível Eficiente.



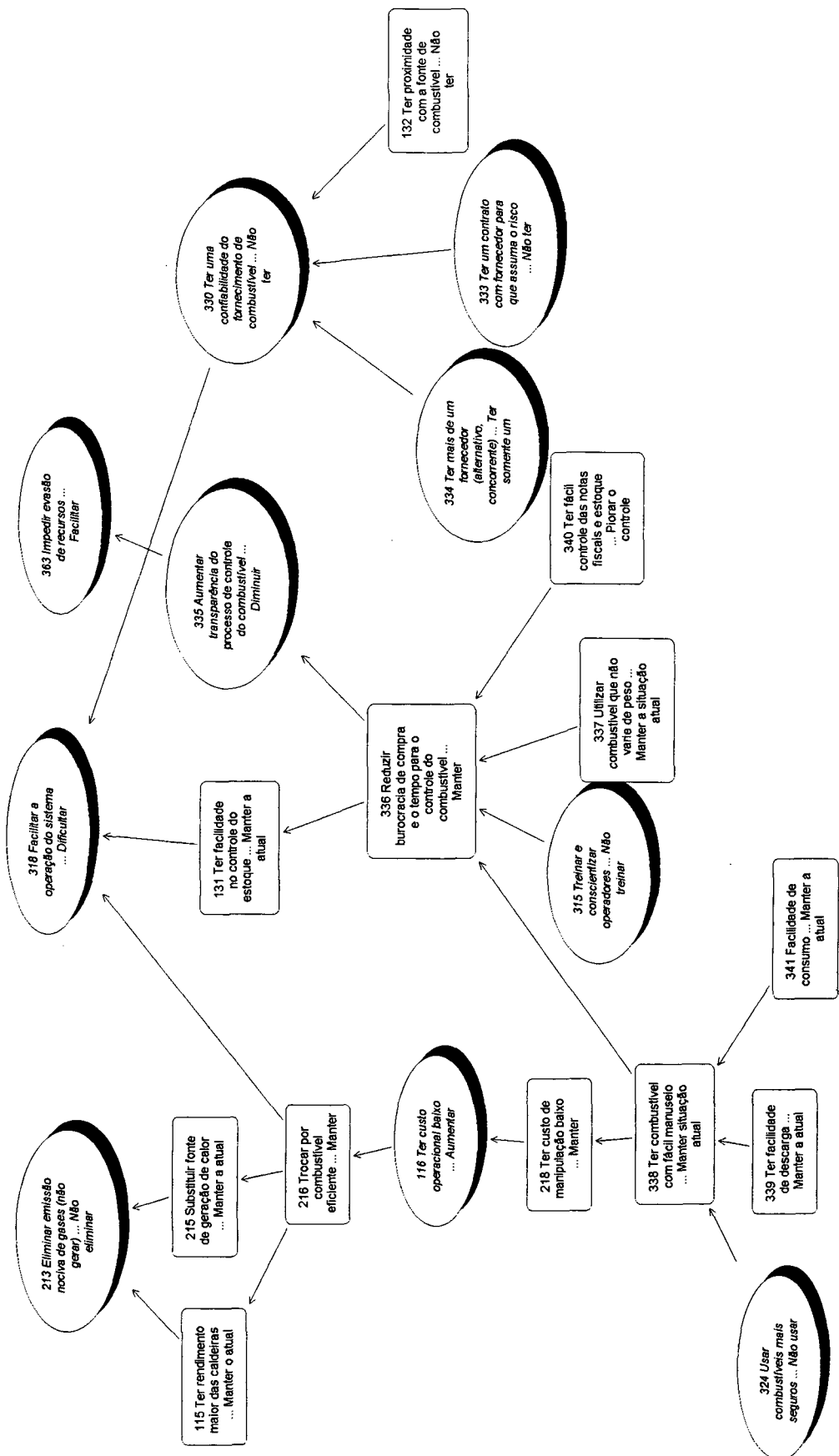


Figura 67 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Confiabilidade da Solução.

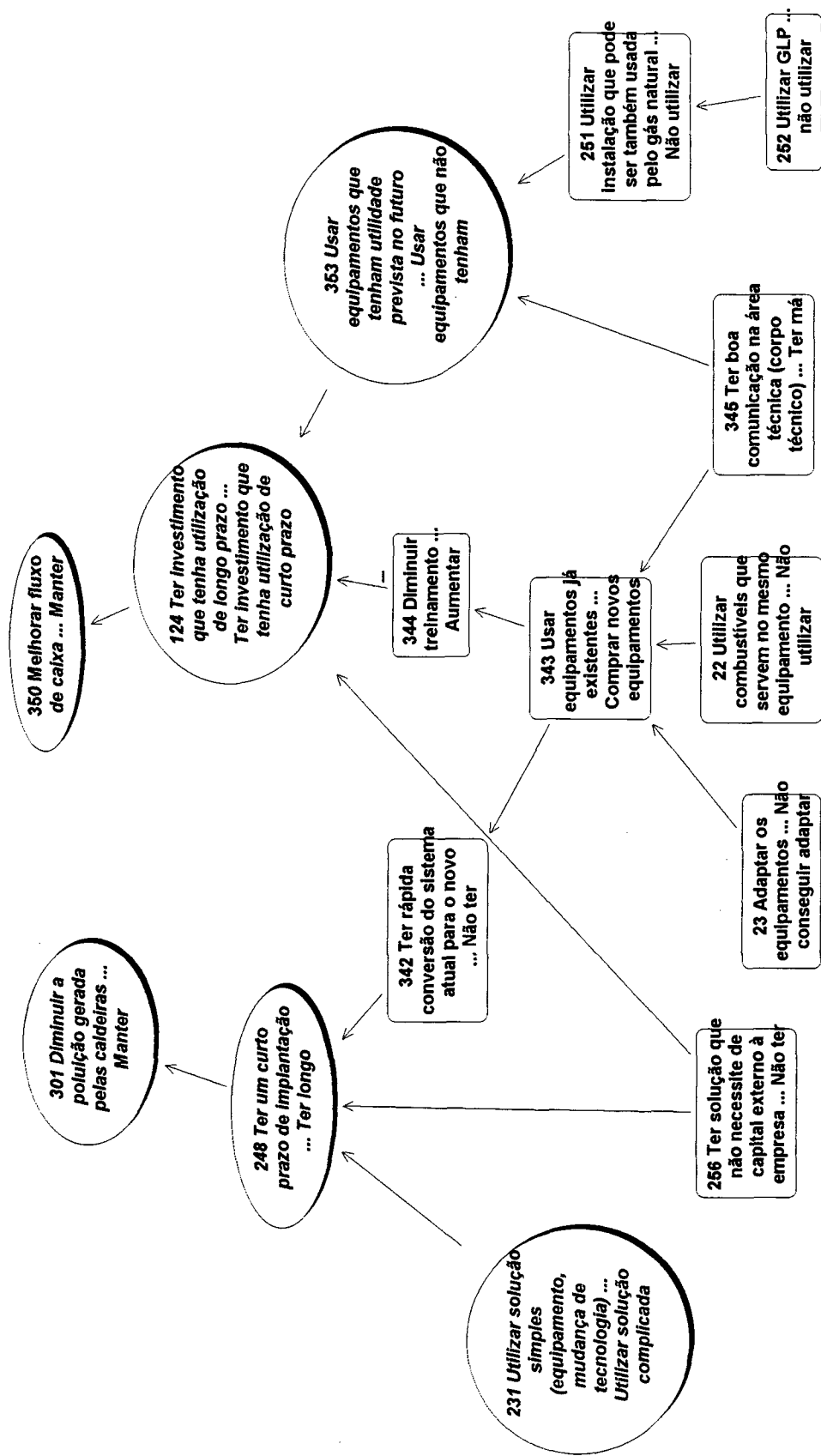


Figura 68 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Equipamentos.



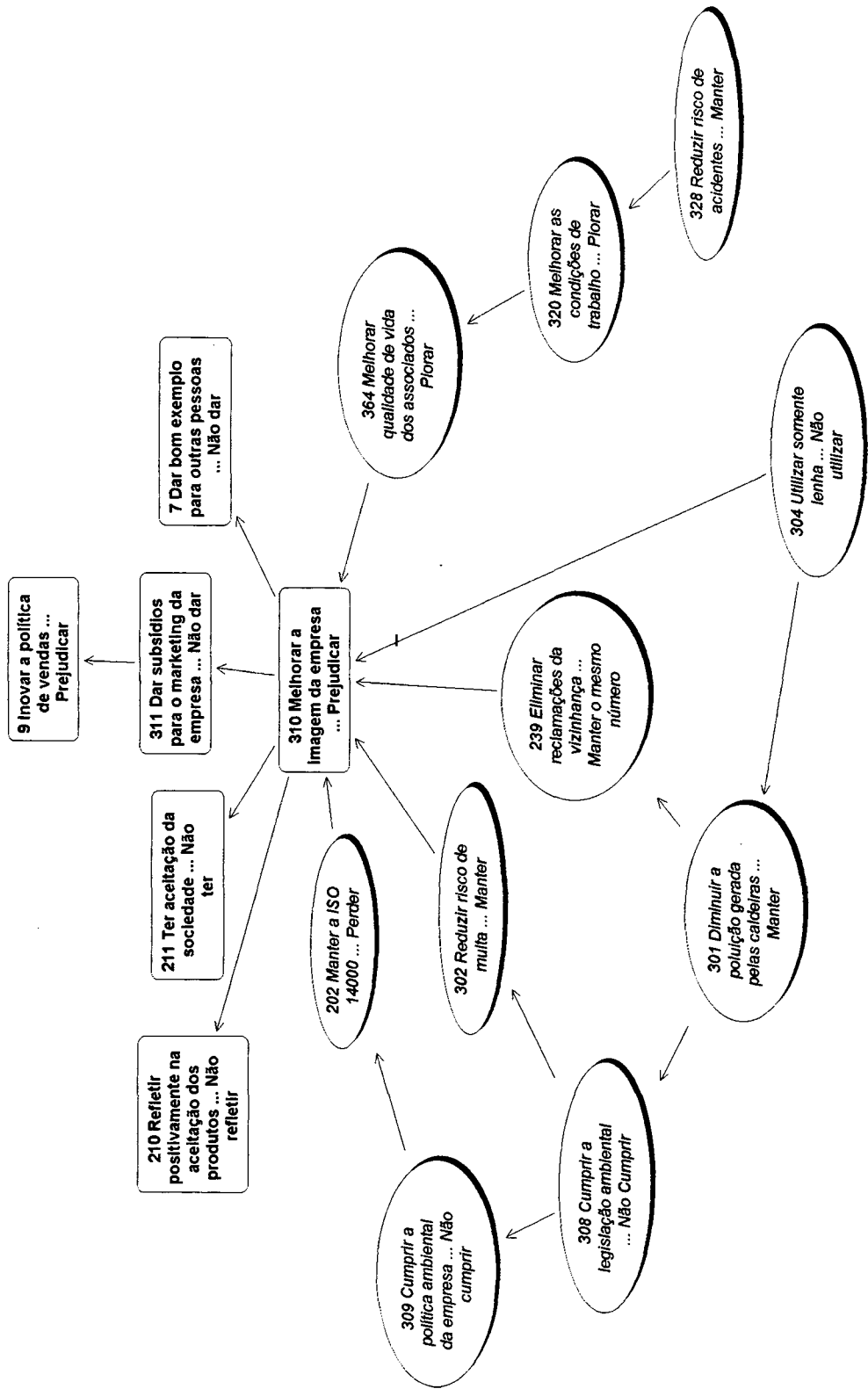


Figura 70 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Imagem da Empresa.

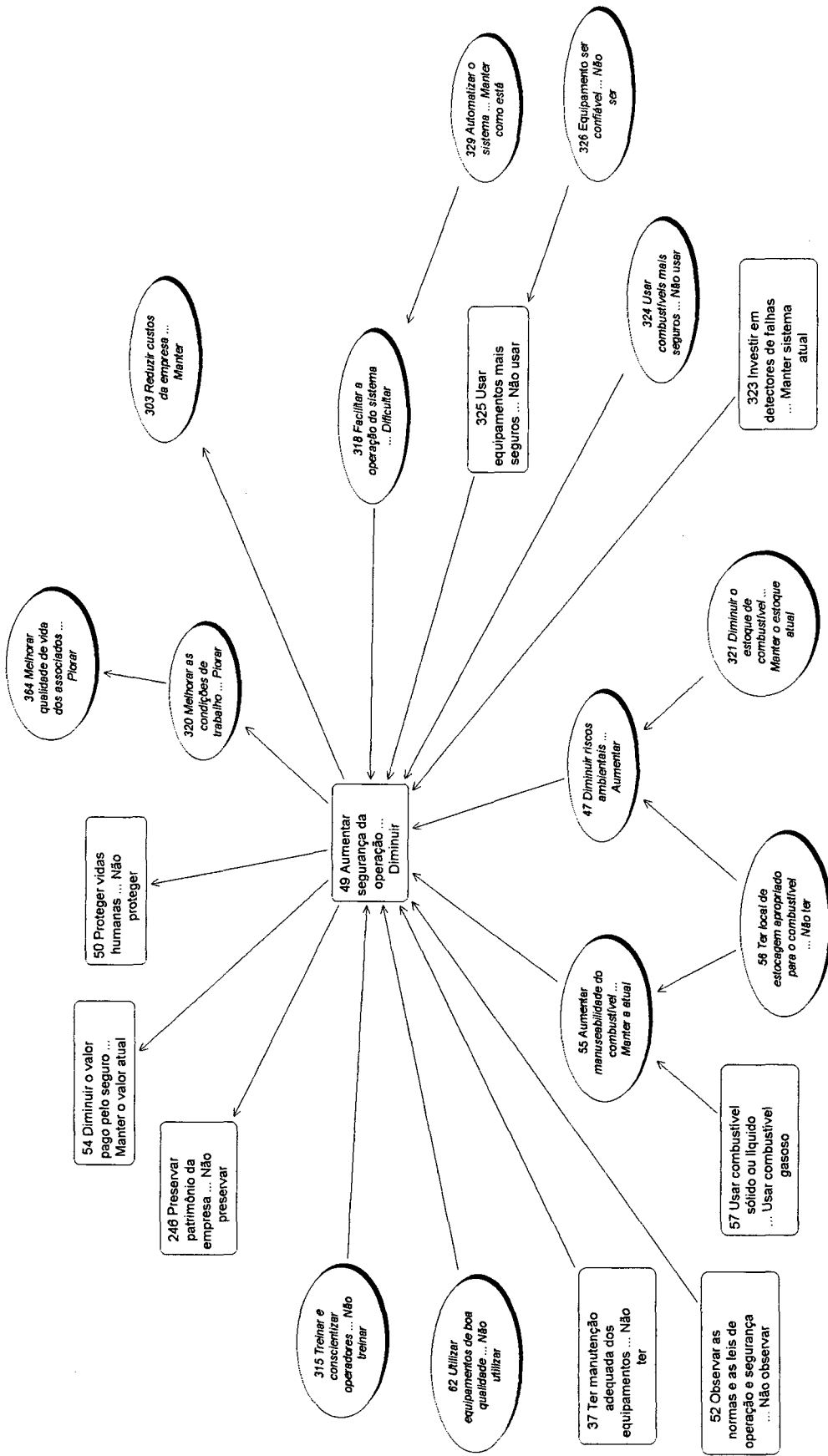


Figura 71 – Mapa Cognitivo da Área de Interesse Segurança.

## ANEXO IV – MATRIZES SEMÂNTICAS DO MÉTODO MACBETH

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>		2	5	6	100
N <sub>3</sub>			5	6	80
N <sub>2</sub>				3	30
N <sub>1</sub>					0

Tabela 46 – Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Segurança*.

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		3	4	100
N <sub>2</sub>			3	35
N <sub>1</sub>				0

Tabela 47 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Imagem da Empresa*.

	N <sub>5</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>5</sub>		4	6	6	6	100
N <sub>4</sub>			4	6	6	67
N <sub>3</sub>				3	4	20
N <sub>2</sub>					1	8
N <sub>1</sub>						0

Tabela 48 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Prazo de Implantação*.

	N <sub>5</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>5</sub>		2	4	5	6	100
N <sub>4</sub>			4	5	6	92
N <sub>3</sub>				4	6	75
N <sub>2</sub>					5	41
N <sub>1</sub>						0

Tabela 49 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Investimento*.

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		3	5	100
N <sub>2</sub>			4	85
N <sub>1</sub>				0

Tabela 50 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Rendimento da Caldeira*.

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		2	6	100
N <sub>2</sub>			6	75
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 51 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério *Número de Fornecedores*.**

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>		1	4	4	100
N <sub>3</sub>			4	4	83
N <sub>2</sub>				1	17
N <sub>1</sub>					0

**Tabela 52 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério *Proximidade da Fonte*.**

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		4	6	100
N <sub>2</sub>			6	60
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 53 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Dificuldade de Troca do Fornecedor*.**

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		1	4	100
N <sub>2</sub>			4	75
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 54 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Complexidade do Equipamento*.**

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		4	6	100
N <sub>2</sub>			3	43
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 55 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério *Localização do Técnico*.**

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		3	4	100
N <sub>2</sub>			1	25
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 56 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Sub-Critério *Localização das Peças*.**

	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>3</sub>		1	4	100
N <sub>2</sub>			4	75
N <sub>1</sub>				0

**Tabela 57 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Controle da Eficiência da Queima*.**

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>		4	5	6	100
N <sub>3</sub>			4	5	60
N <sub>2</sub>				3	27
N <sub>1</sub>					0

**Tabela 58 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Custo Operacional Mensal*.**

	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	Escala MACBETH
N <sub>4</sub>		5	5	6	100
N <sub>3</sub>			3	5	54
N <sub>2</sub>				3	27
N <sub>1</sub>					0

**Tabela 59 - Matriz de juízos de valor e escala de atratividade para o Critério *Custo do Estoque de Combustível*.**



## ANEXO V – COMPARAÇÃO PAR-A-PAR DAS PERFORMANCES DAS AÇÕES POTENCIAIS

GLP E G vs Gás Natur						
	<input type="radio"/> MDL ORDER	<input type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input checked="" type="radio"/> WTD	SUM	
combustível	Investimento	8.2	147	12.00	12.08	-----
Confiabilidade	Num. Forn.	6.0	188	6.76	18.05	-----
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	150	6.44	25.28	-----
combustível	Uso futuro	14.4	0	8.00	25.28	·
Confiabilidade	Fonte	2.0	0	0.00	25.28	·
combustível	Rendimento	11.6	8	0.00	25.28	·
combustível	Custo operac.	19.9	0	0.00	25.28	·
combustível	Queima	6.2	0	0.00	25.28	·
combustível	Complexidade	5.5	0	0.00	25.28	·
combustível	Implantação	4.8	0	0.00	25.28	·
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	25.28	·
Assist. técnica	Técnico	0.9	0	0.00	25.28	·
combustível	Imagem	1.4	0	0.00	25.28	·
combustível	Segurança	2.7	-150	-4.11	21.17	-----
combustível	Estoque	9.6	-167	-16.02	5.15	-----
		100.0		5.15		

Figura 72 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e gás natural.

GLP vs Gás Natur						
	<input type="radio"/> MDL ORDER	<input type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input checked="" type="radio"/> WTD	SUM	
combustível	Implantação	4.8	300	14.37	14.37	-----
combustível	Investimento	8.2	147	12.08	26.46	-----
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	100	6.76	33.22	-----
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	150	6.44	39.65	-----
combustível	Uso futuro	14.4	0	8.00	39.65	·
combustível	Queima	6.2	0	0.00	39.65	·
combustível	Complexidade	5.5	0	0.88	39.65	·
combustível	Rendimento	11.6	0	8.00	39.65	·
Assist. técnica	Peças	1.0	0	8.00	39.65	·
Assist. técnica	Técnico	0.9	0	0.00	39.65	·
combustível	Imagem	1.4	0	0.00	39.65	·
Confiabilidade	Fonte	2.0	-150	-2.93	36.73	-----
combustível	Segurança	2.7	-150	-4.11	32.62	-----
combustível	Custo operac.	19.9	-41	-8.16	24.46	-----
combustível	Estoque	9.6	-167	-16.02	8.44	-----
		100.0		8.44		

Figura 73 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e gás natural.

		GLP vs GLP E G				
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Implantação	4.8	300	14.37	14.37	-----
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	0	0.00	14.37	■
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	0	0.00	14.37	■
combustível	Rendimento	11.6	0	0.00	14.37	■
combustível	Estoque	9.6	0	0.00	14.37	■
combustível	Investimento	8.2	0	0.00	14.37	■
combustível	Queima	6.2	0	0.00	14.37	■
combustível	Complexidade	5.5	0	0.00	14.37	■
combustível	Uso futuro	14.4	0	0.00	14.37	■
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	14.37	■
Assist. técnica	Técnico	0.9	0	0.00	14.37	■
combustível	Segurança	2.7	0	0.00	14.37	■
combustível	Imagem	1.4	0	0.00	14.37	■
Confiabilidade	Fonte	2.0	-150	-2.93	11.45	----
combustível	Custo operac.	19.9	-41	-8.16	3.29	-----
		100.0		3.29		

Figura 74 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e GLP + gás natural

		GLP vs Lenha				
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Rendimento	11.6	667	77.38	77.38	-----
combustível	Investimento	8.2	588	48.34	125.72	-----
combustível	Queima	6.2	400	24.64	150.36	-----
combustível	Estoque	9.6	200	19.18	169.54	-----
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	183.94	-----
combustível	Implantação	4.8	240	11.50	195.44	-----
combustível	Imagem	1.4	154	2.11	197.55	-----
Confiabilidade	Fonte	2.0	-25	-0.49	197.06	-----
Assist. técnica	Técnico	0.9	-100	-0.90	196.16	-----
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	-33	-2.23	193.93	-----
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	-100	-4.29	189.64	-----
Assist. técnica	Peças	1.8	-400	-7.34	182.29	-----
combustível	Complexidade	5.5	-150	-8.22	174.07	-----
combustível	Segurança	2.7	-500	-13.70	160.37	-----
combustível	Custo operac.	19.9	-244	-48.56	111.81	-----
		100.0		111.81		

Figura 75 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e lenha.

GLP vs Óleo						
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Investimento	8.2	588	48.34	48.34	=====
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	62.74	=====
combustível	Rendimento	11.6	100	11.60	74.34	=====
combustível	Implantação	4.8	240	11.50	85.84	=====
combustível	Estoque	9.6	100	9.59	95.43	=====
combustível	Queima	6.2	100	6.16	101.59	=====
combustível	Complexidade	5.5	100	5.48	107.07	=====
combustível	Imagem	1.4	100	1.37	108.44	=====
Assist. técnica	Técnico	0.9	75	0.68	109.12	=====
combustível	Custo operac.	19.9	0	0.00	109.12	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	0	0.00	109.12	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	109.12	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	0	0.00	109.12	=====
Confiabilidade	Fonte	2.0	0	0.00	109.12	=====
combustível	Segurança	2.7	-400	-10.96	98.16	=====
		<u>100.0</u>		<u>98.16</u>		

Figura 76 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP e óleo.

Gás Natur vs Lenha						
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Rendimento	11.6	667	77.38	77.38	=====
combustível	Investimento	8.2	441	36.25	113.63	=====
combustível	Estoque	9.6	367	35.20	148.83	=====
combustível	Queima	6.2	400	24.64	173.47	=====
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	187.88	=====
Confiabilidade	Fonte	2.0	125	2.44	190.31	=====
combustível	Imagem	1.4	154	2.11	192.42	=====
Assist. técnica	Técnico	0.9	-100	-0.90	191.52	=====
combustível	Implantação	4.8	-60	-2.87	188.65	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	-400	-7.34	181.30	=====
combustível	Complexidade	5.5	-150	-8.22	173.08	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	-133	-8.99	164.09	=====
combustível	Segurança	2.7	-350	-9.59	154.50	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	-250	-10.73	143.77	=====
combustível	Custo operac.	19.9	-203	-40.40	103.37	=====
		<u>100.0</u>		<u>103.37</u>		

Figura 77 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial gás natural e lenha.

Gás Natur vs Óleo						
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Investimento	8.2	441	36.25	36.25	=====
combustível	Estoque	9.6	267	25.61	61.86	=====
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	76.26	=====
combustível	Rendimento	11.6	100	11.60	87.86	=====
combustível	Custo operac.	19.9	41	8.16	96.02	=====
combustível	Queima	6.2	100	6.16	102.18	=====
combustível	Complexidade	5.5	100	5.48	107.67	=====
Confiabilidade	Fonte	2.0	150	2.93	110.59	=====
combustível	Imagem	1.4	100	1.37	111.96	=====
Assist. técnica	Técnico	0.9	75	0.68	112.64	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	112.64	=====
combustível	Implantação	4.8	-60	-2.87	109.76	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	-150	-6.44	103.33	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	-100	-6.76	96.57	=====
combustível	Segurança	2.7	-250	-6.85	89.72	=====
		100.0		89.72		

Figura 78 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial gás natural e óleo.

GLP E G vs Lenha						
	MDL ORDER	CUMWT	DIFF	WTD	SUM	
combustível	Rendimento	11.6	667	77.38	77.38	=====
combustível	Investimento	8.2	588	48.34	125.72	=====
combustível	Queima	6.2	400	24.64	150.36	=====
combustível	Estoque	9.6	200	19.18	169.54	=====
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	183.94	=====
Confiabilidade	Fonte	2.0	125	2.44	186.38	=====
combustível	Imagem	1.4	154	2.11	188.49	=====
Assist. técnica	Técnico	0.9	-100	-0.90	187.59	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	-33	-2.23	185.36	=====
combustível	Implantação	4.8	-60	-2.87	182.48	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	-100	-4.29	178.19	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	-400	-7.34	170.85	=====
combustível	Complexidade	5.5	-150	-8.22	162.63	=====
combustível	Segurança	2.7	-500	-13.70	148.93	=====
combustível	Custo operac.	19.9	-203	-40.40	108.52	=====
		100.0		108.52		

Figura 79 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e lenha.

GLP E G vs Óleo						
	<input type="radio"/> MDL ORDER	<input type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input checked="" type="radio"/> WTD	SUM	
combustível	Investimento	8.2	588	48.34	48.34	=====
combustível	Uso futuro	14.4	100	14.40	62.74	=====
combustível	Rendimento	11.6	100	11.60	74.34	=====
combustível	Estoque	9.6	100	9.59	83.93	=====
combustível	Custo operac.	19.9	41	8.16	92.09	=====
combustível	Queima	6.2	100	6.16	98.25	=====
combustível	Complexidade	5.5	100	5.48	103.73	=====
Confiabilidade	Fonte	2.8	150	2.93	106.66	=====
combustível	Imagem	1.4	100	1.37	108.03	=====
Assist. técnica	Técnico	8.9	75	0.68	108.71	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	0	0.00	108.71	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	0	0.00	108.71	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	0	0.00	108.71	=====
combustível	Implantação	4.8	- 60	- 2.87	105.83	=====
combustível	Segurança	2.7	- 400	- 10.96	94.87	=====
		<u>188.0</u>		<u>94.87</u>		

Figura 80 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial GLP + gás natural e óleo.

Óleo vs Lenha						
	<input type="radio"/> MDL ORDER	<input type="radio"/> CUMWT	<input type="radio"/> DIFF	<input checked="" type="radio"/> WTD	SUM	
combustível	Rendimento	11.6	567	65.78	65.78	=====
combustível	Queima	6.2	300	18.48	84.26	=====
combustível	Estoque	9.6	100	9.59	93.85	=====
combustível	Imagem	1.4	54	0.74	94.59	=====
combustível	Uso futuro	14.4	0	0.00	94.59	=====
combustível	Implantação	4.8	0	0.00	94.59	=====
combustível	Investimento	8.2	0	0.00	94.59	=====
Confiabilidade	Fonte	2.0	- 25	- 0.49	94.10	=====
Assist. técnica	Técnico	8.9	- 175	- 1.58	92.52	=====
Confiabilidade	Num. Forn.	6.8	- 33	- 2.23	90.29	=====
combustível	Segurança	2.7	- 100	- 2.74	87.55	=====
Confiabilidade	Dific. troca	4.3	- 100	- 4.29	83.26	=====
Assist. técnica	Peças	1.8	- 400	- 7.34	75.92	=====
combustível	Complexidade	5.5	- 250	- 13.70	62.21	=====
combustível	Custo operac.	19.9	- 244	- 48.56	13.65	=====
		<u>100.0</u>		<u>13.65</u>		

Figura 81 – Comparação entre a Performance da Ação Potencial óleo e lenha.

## ANEXO VI – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

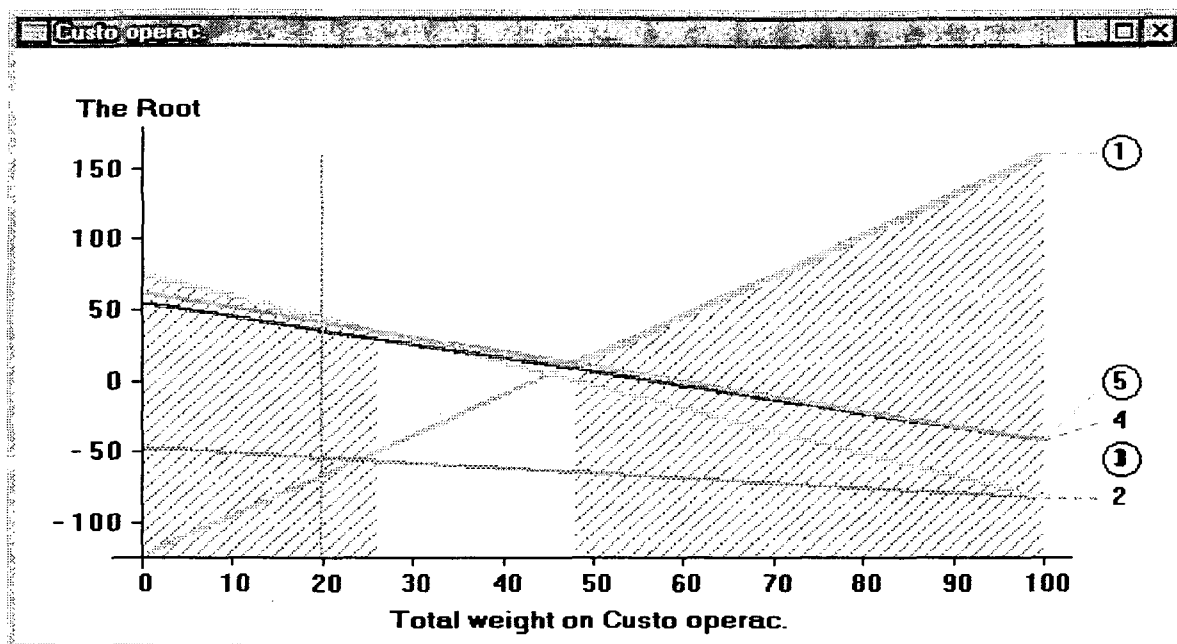


Figura 82 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério Custo Operacional.

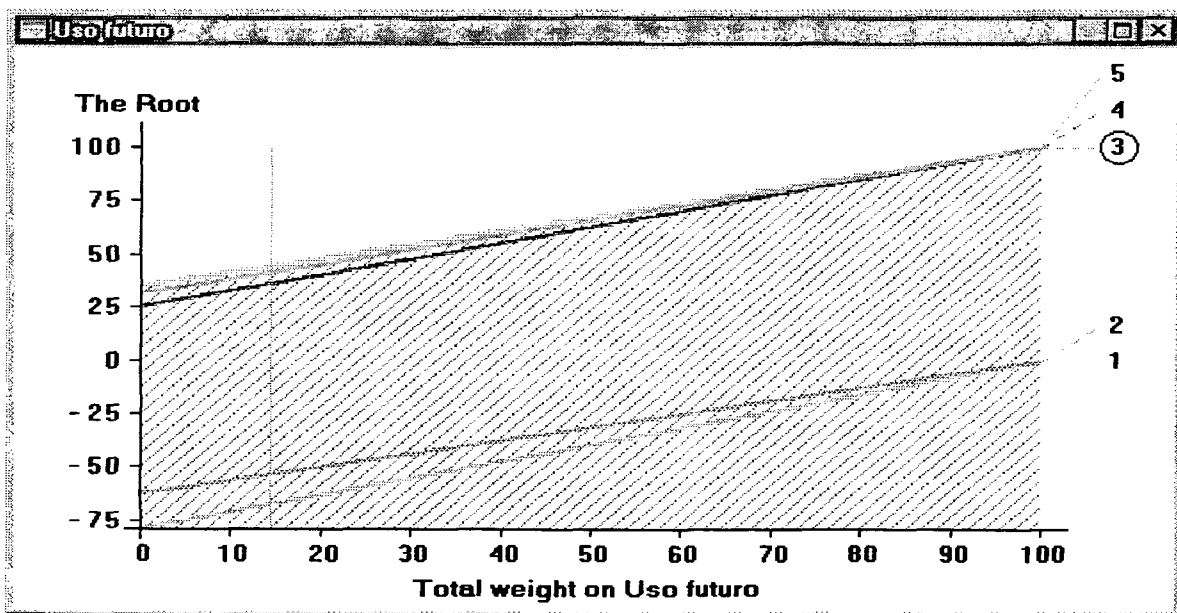


Figura 83 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Potencialidade de uso futuro*.

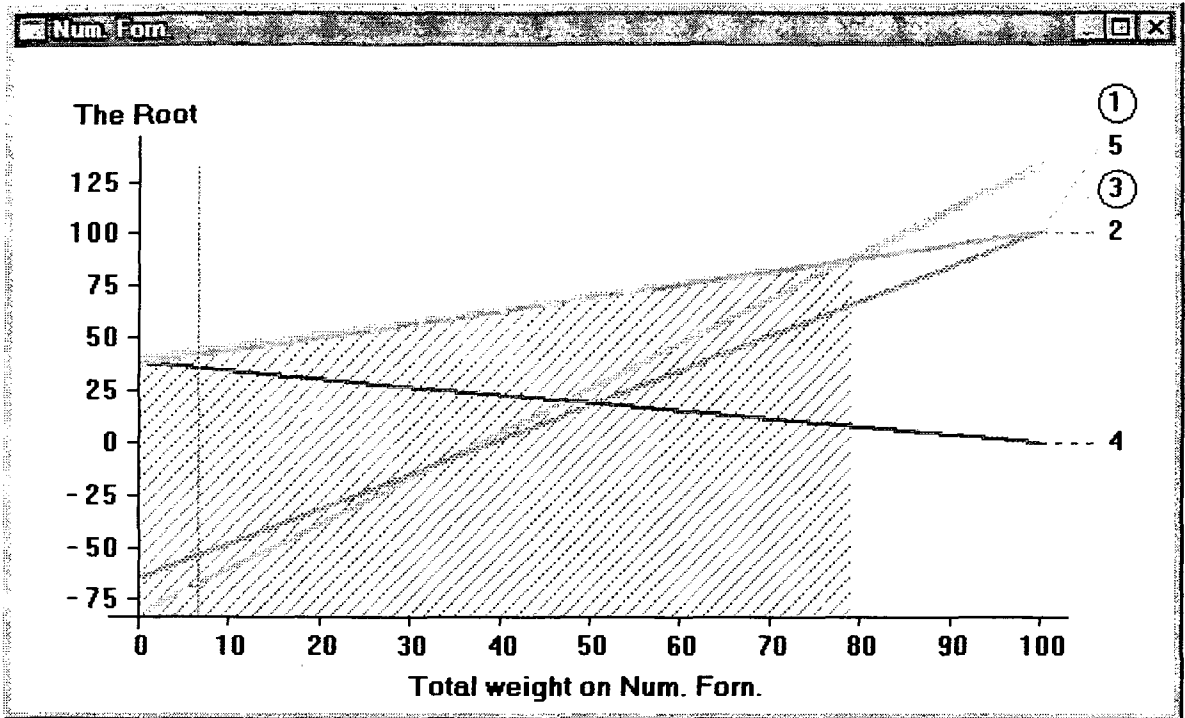


Figura 84 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério Numero de Fornecedores.

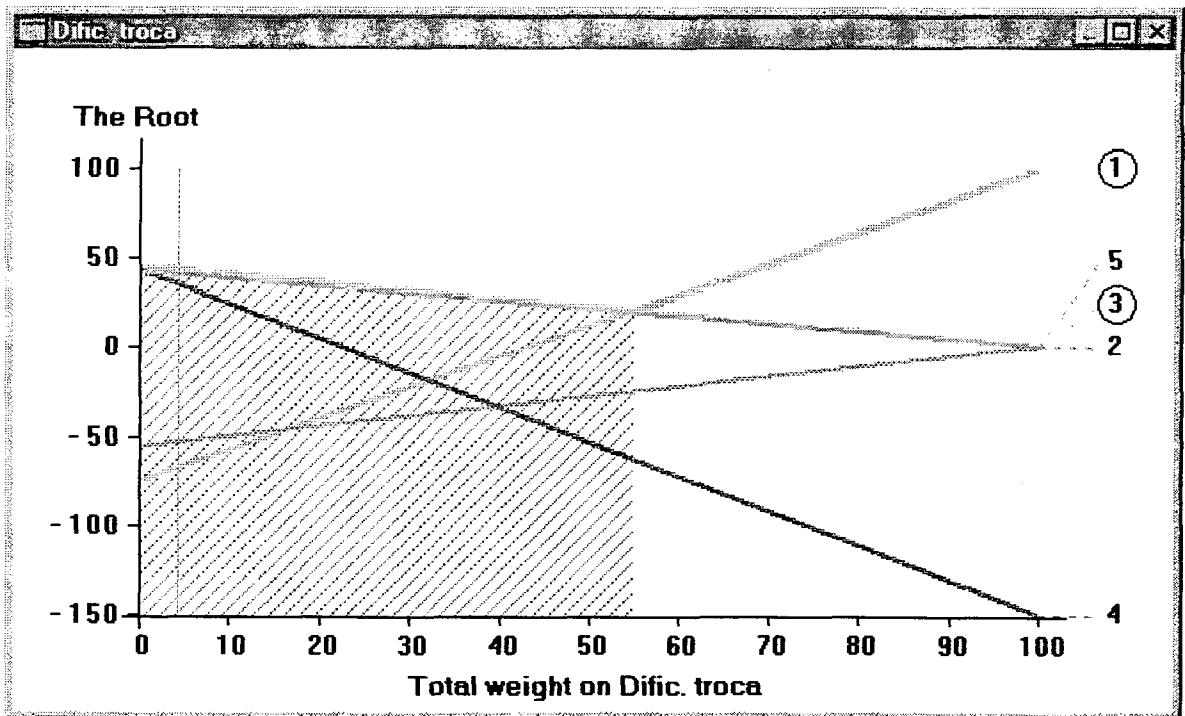


Figura 85 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério *Dificuldade de troca do fornecedor.*

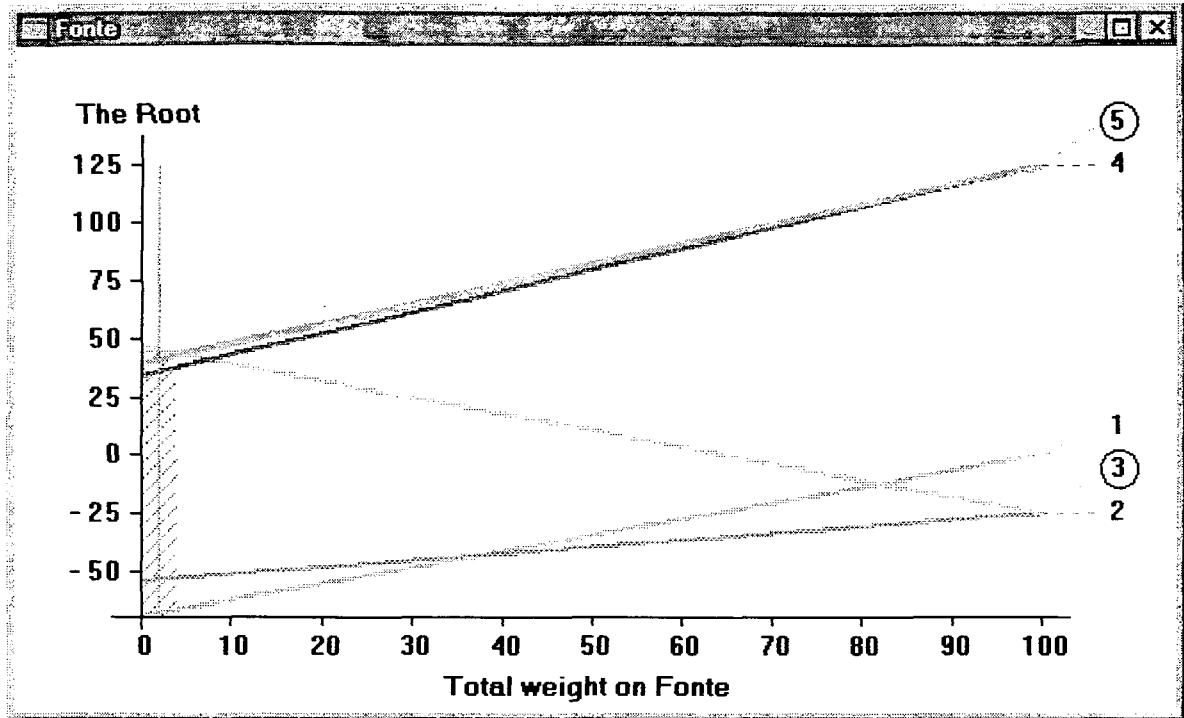


Figura 86 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério *Proximidade da fonte*.

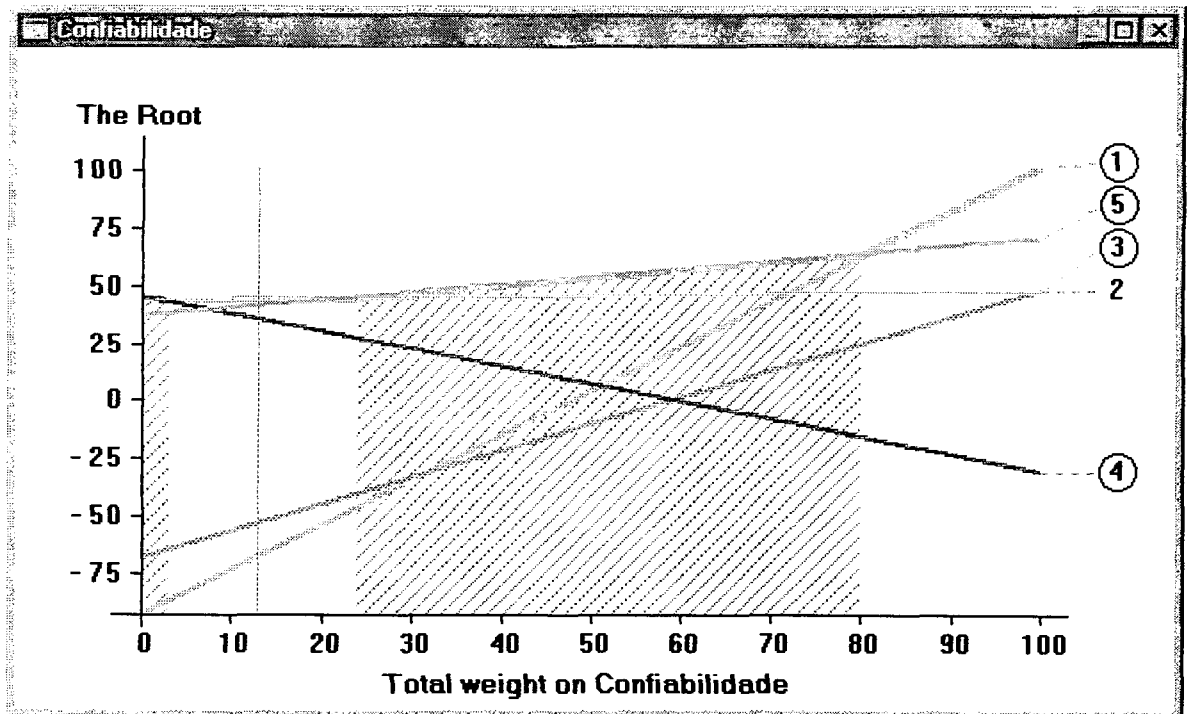


Figura 87 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Fornecimento de Combustível*.



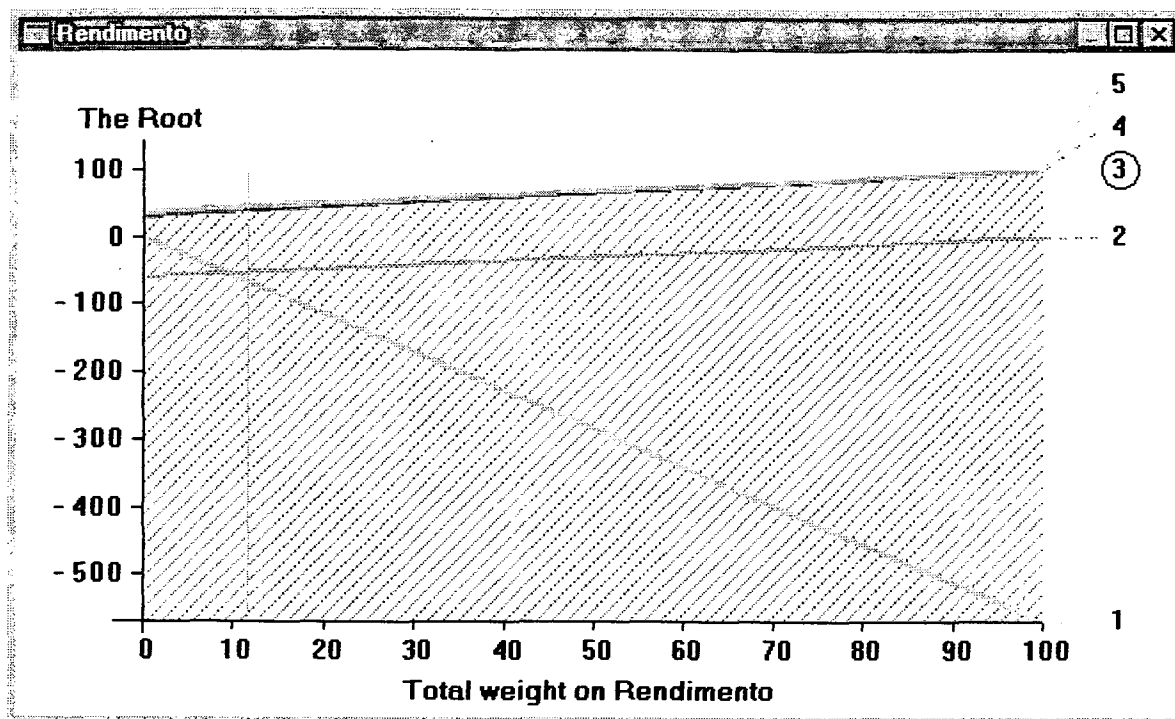


Figura 88 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Rendimento da caldeira*.

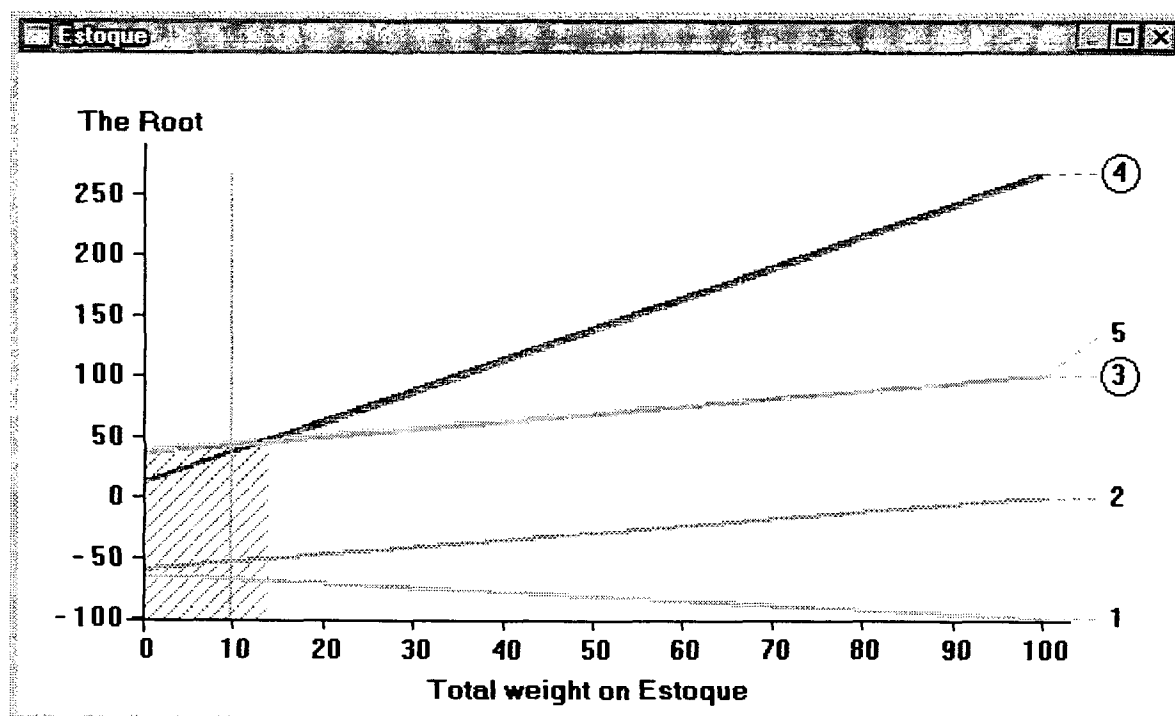


Figura 89 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Custo do estoque de combustível*.

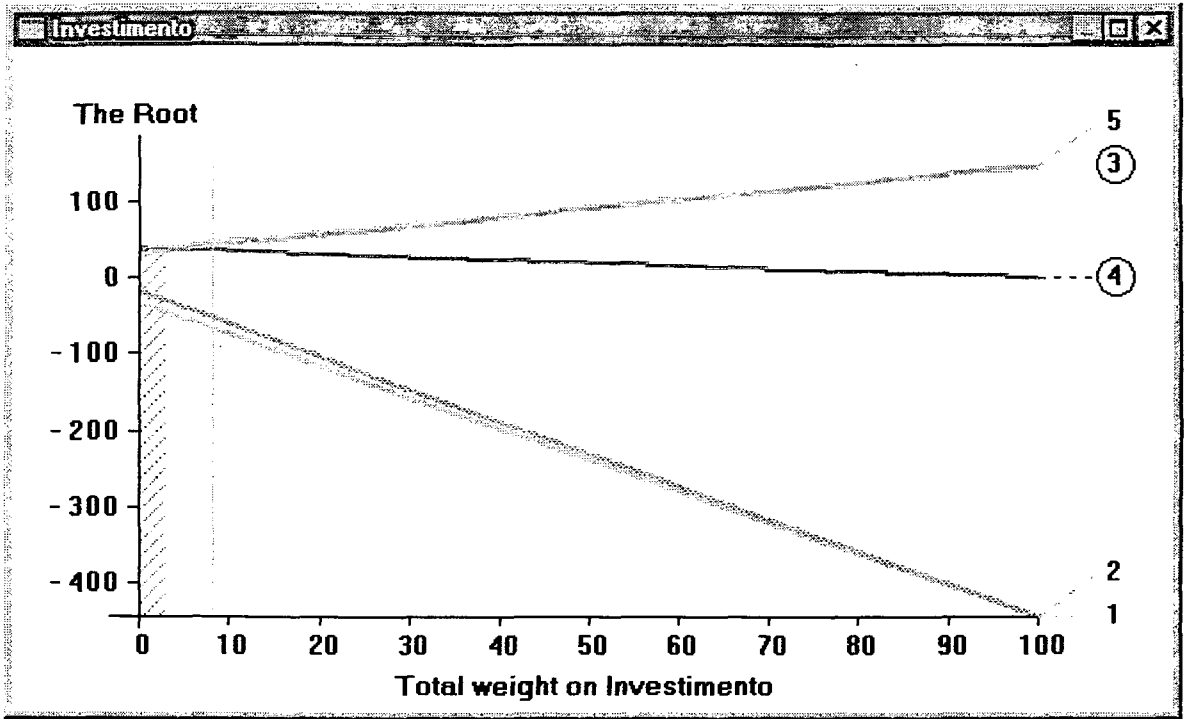


Figura 90 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Investimento*.

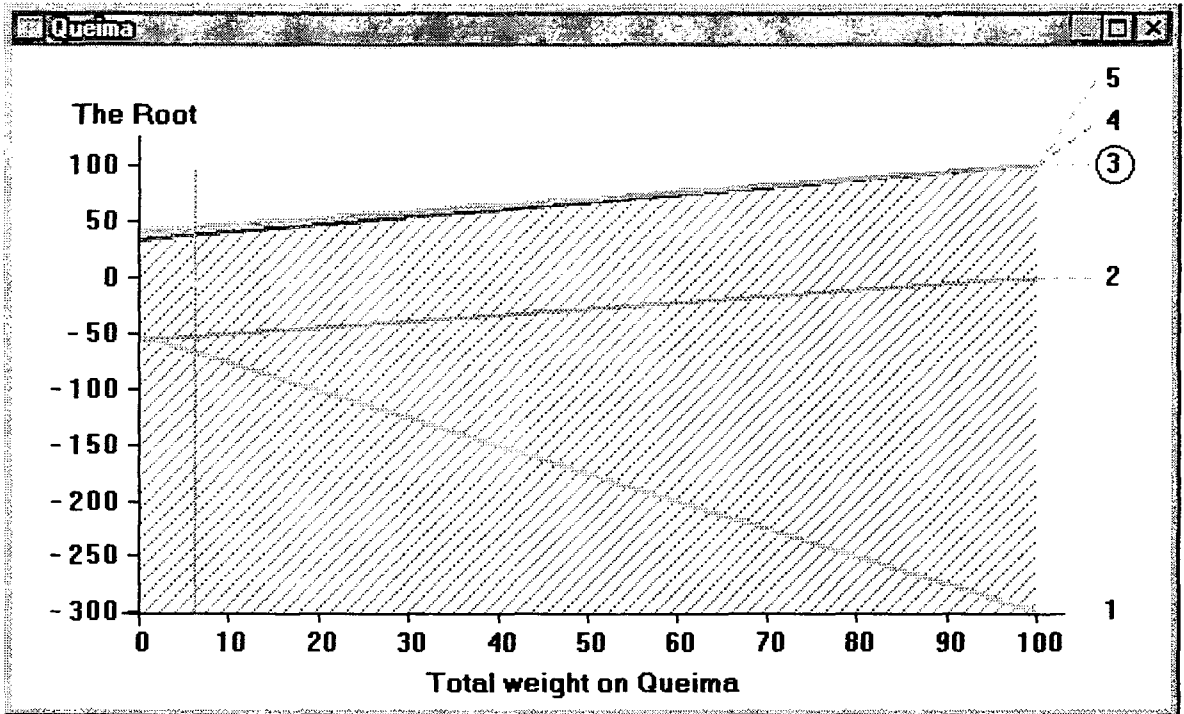


Figura 91 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Controle da Queima*.

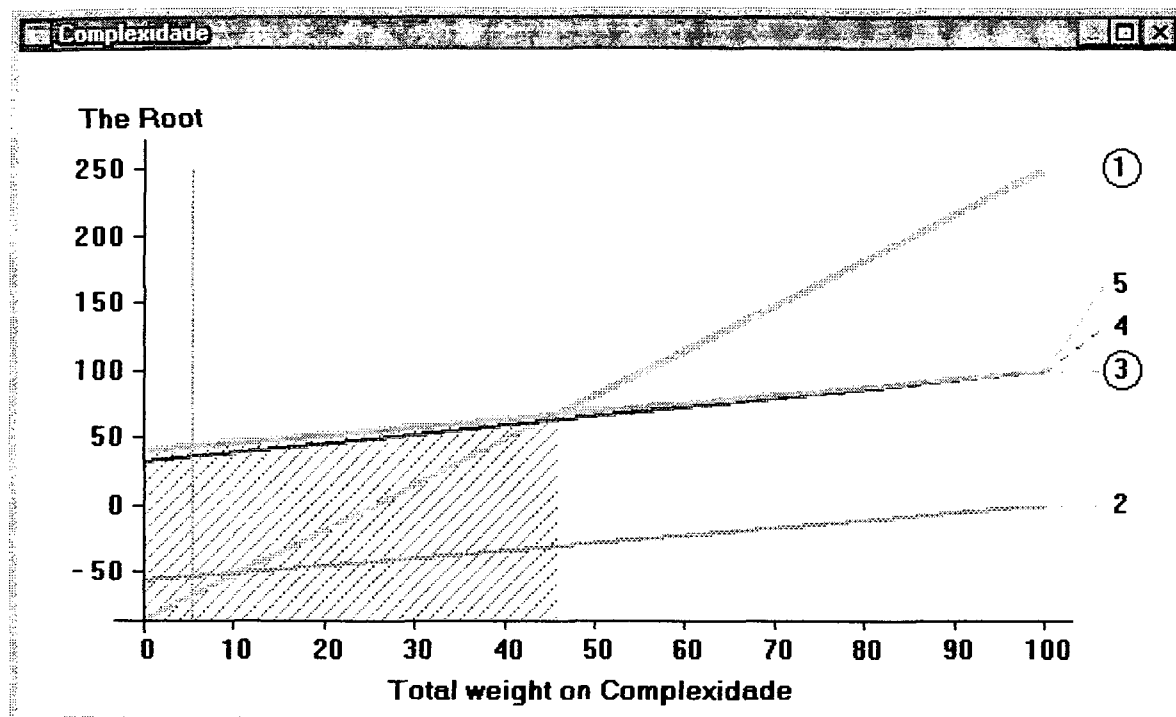


Figura 92 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Complexidade do equipamento*.

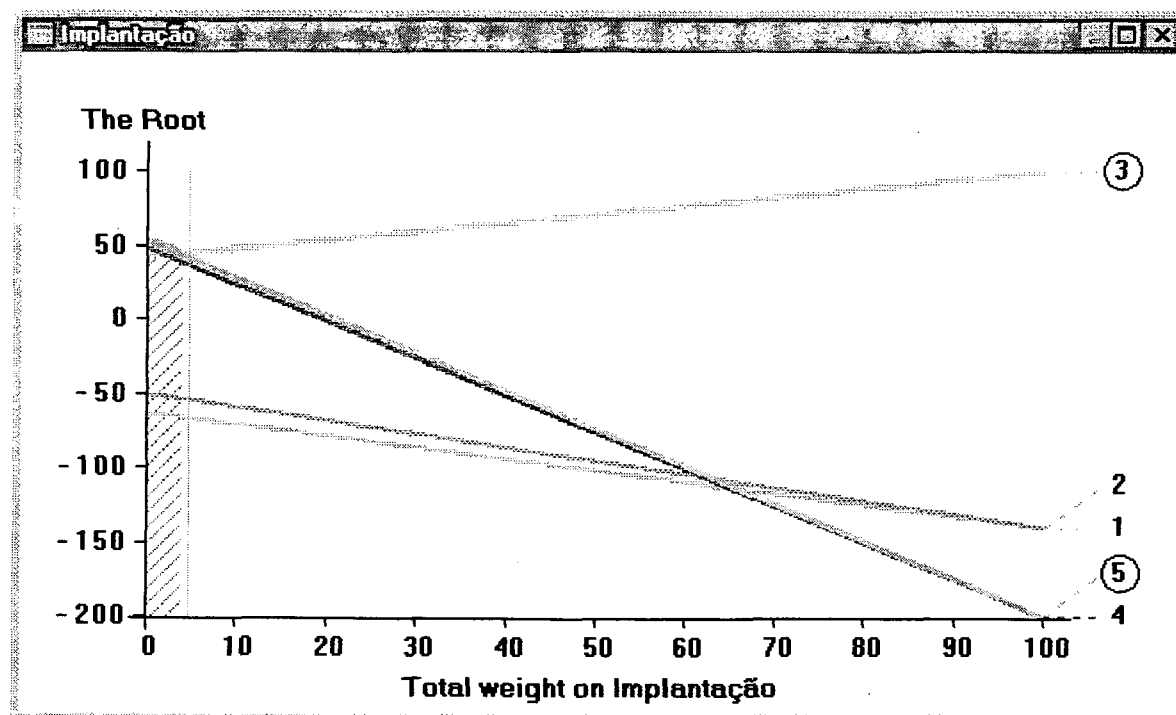


Figura 93 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Prazo de Implantação*.

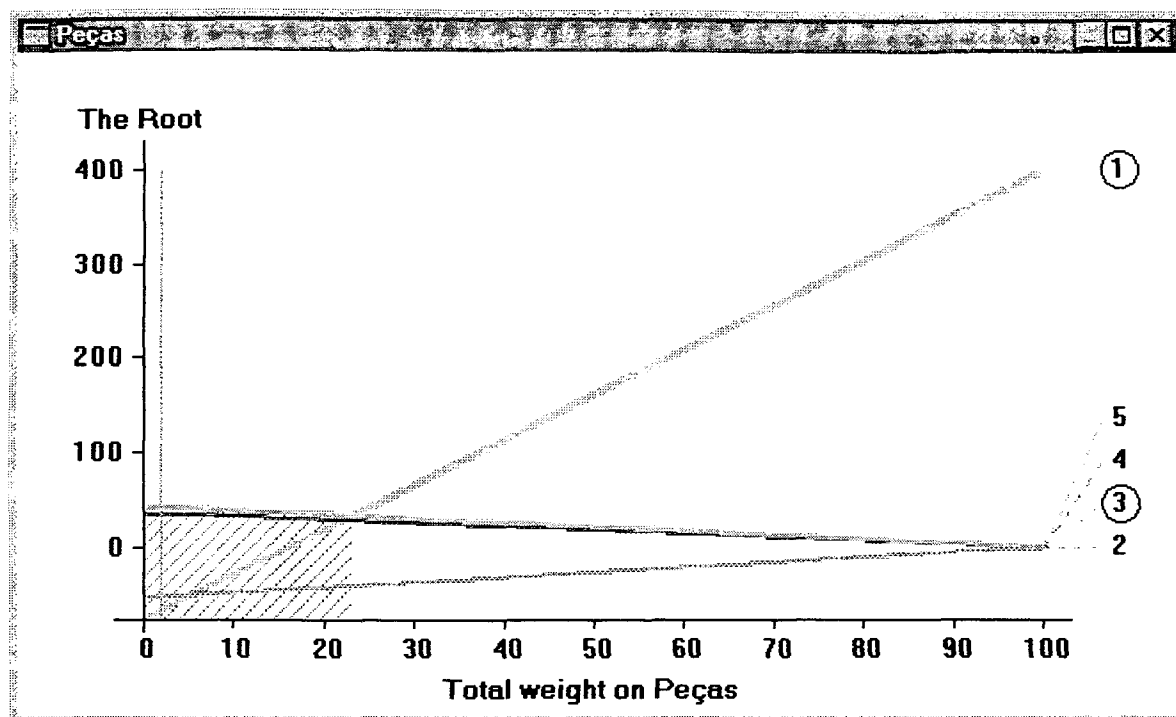


Figura 94 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério Localização das Peças.

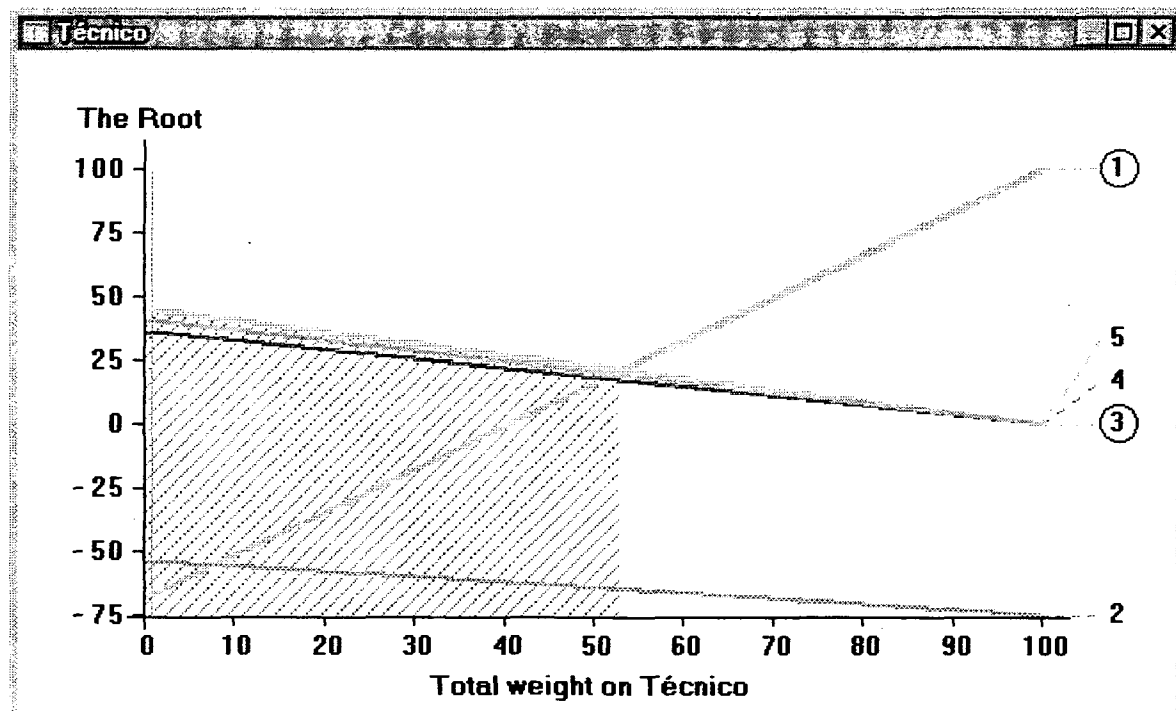


Figura 95 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Sub-Critério Localização do Técnico.

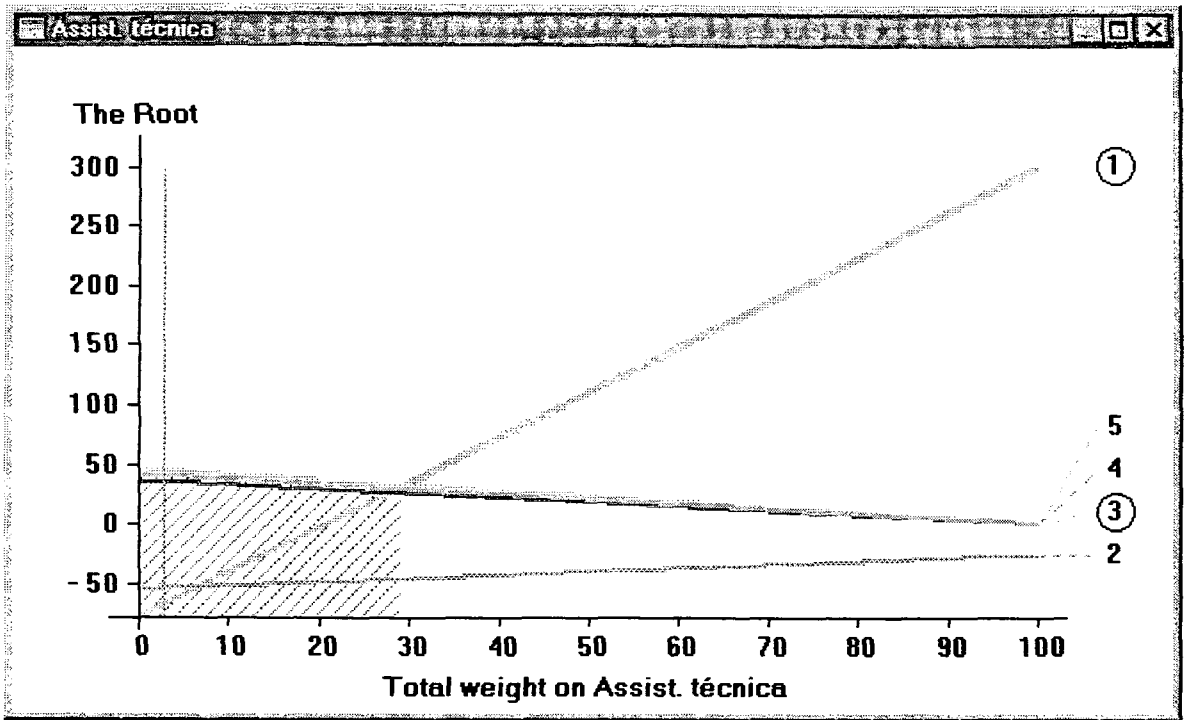


Figura 96 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Assistência técnica*.

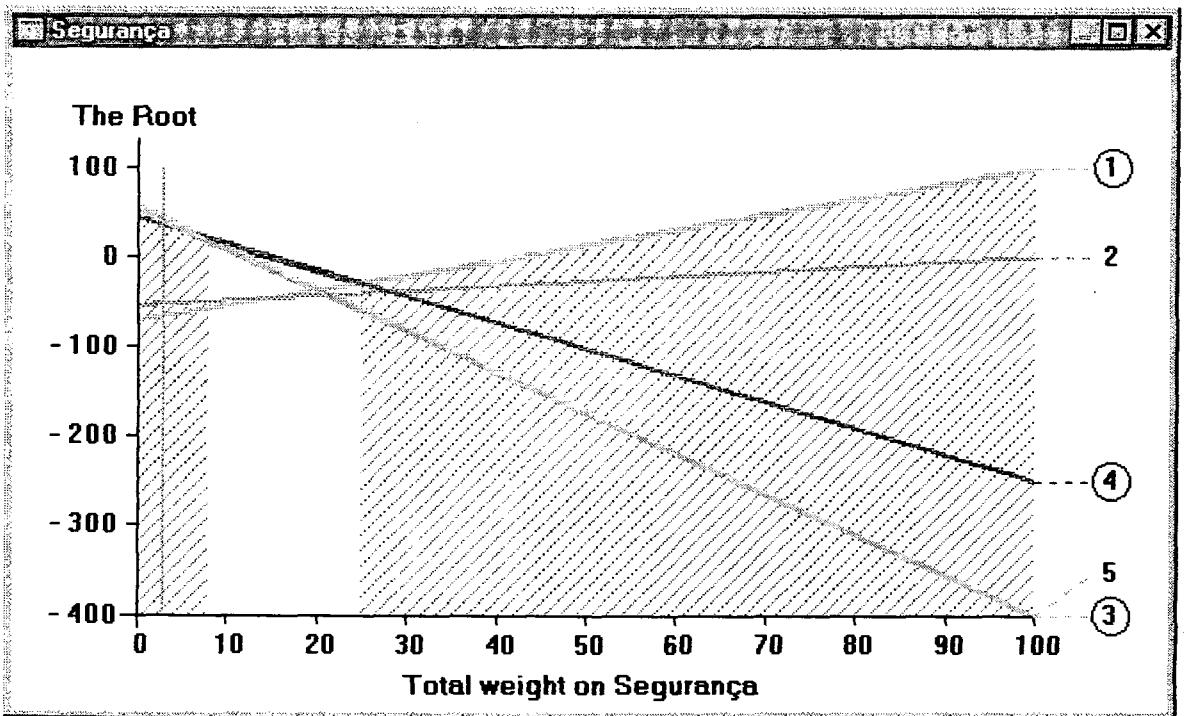


Figura 97 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Segurança*.

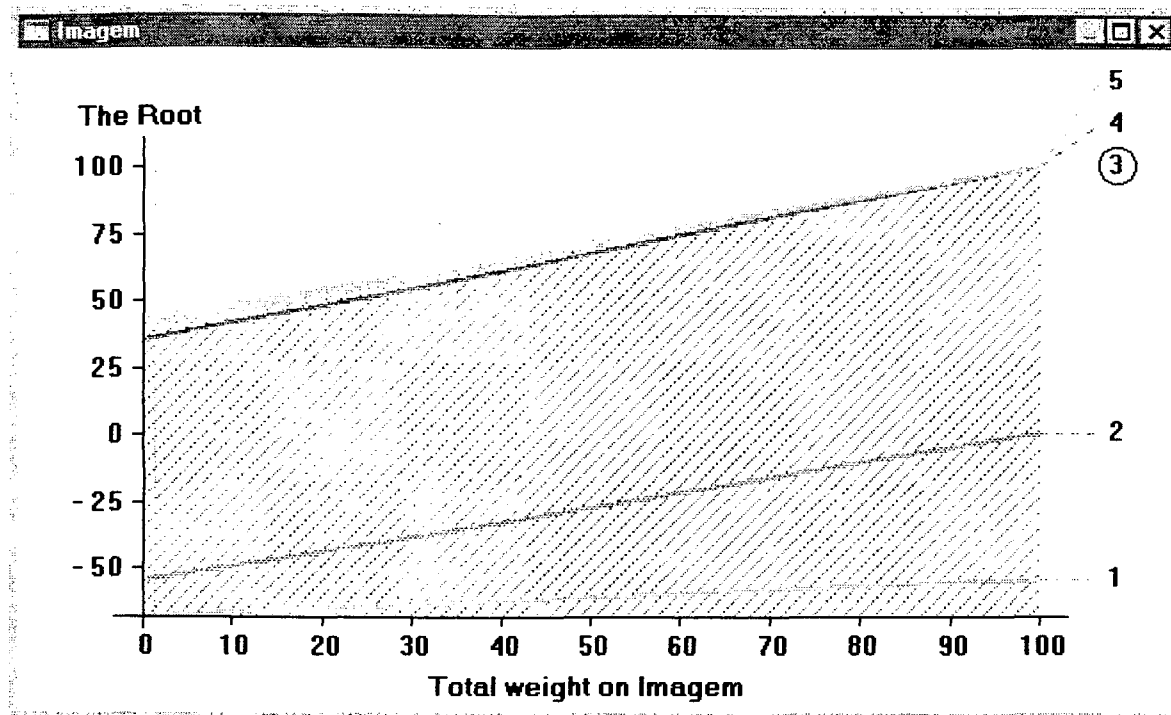


Figura 98 - Análise de Sensibilidade à variação do peso do Critério *Imagem da empresa*.