



INCORPORAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS EM DECISÕES CORPORATIVAS UTILIZANDO ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Antônio Henrique Araújo Freitas

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Planejamento Energético.

Orientadora: Alessandra Magrini

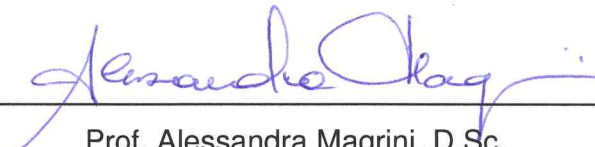
Rio de Janeiro
Fevereiro de 2013

INCORPORAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS EM DECISÕES CORPORATIVAS
UTILIZANDO ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

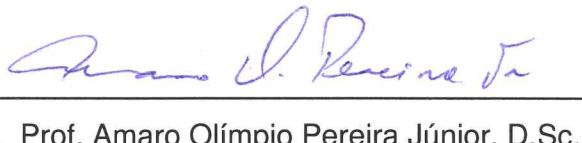
Antônio Henrique Araújo Freitas

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

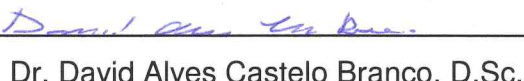
Examinada por:



Prof. Alessandra Magrini, D.Sc.



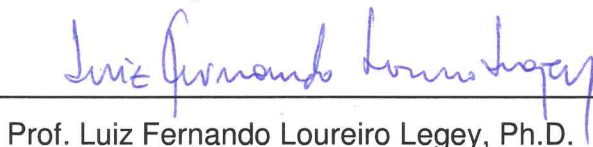
Prof. Amaro Olímpio Pereira Júnior, D.Sc.



Dr. David Alves Castelo Branco, D.Sc.



Dr. Luciano Basto Oliveira, D.Sc.



Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey, Ph.D.



Dr. Marcio Macedo da Costa, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2013

Freitas, Antônio Henrique Araújo

Incorporação de Riscos Ambientais em Decisões Corporativas Utilizando Abordagem Multicritério / Antônio Henrique Araújo Freitas. - Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE, 2013.

XII, 176 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Alessandra Magrini

Tese (doutorado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 153-163.

1. Tomada de decisão corporativa; 2. Riscos ambientais; 3. Análise multicritério, 4. AHP . I. Magrini, Alessandra. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Antônio e Sãozita.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela criação e educação, que foram as bases para que pudesse chegar até aqui.

À minha orientadora, Alessandra, pela oportunidade, ensinamentos e incentivo para a conclusão deste trabalho.

À minha esposa, Cristiane, pelo incentivo e companheirismo ao longo de todo o período deste trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

INCORPORAÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS EM DECISÕES CORPORATIVAS UTILIZANDO ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

Antônio Henrique Araújo Freitas

Fevereiro/2013

Orientadora: Alessandra Magrini

Programa: Planejamento Energético

Riscos ambientais associados às atividades de empresas privadas tem o potencial de afetar a sustentabilidade do negócio, o que justifica a sua incorporação em decisões corporativas. O principal objetivo desta Tese foi o desenvolvimento de uma metodologia que permitisse a incorporação desses riscos ambientais em decisões corporativas. A fim de embasar o desenvolvimento da metodologia proposta, uma discussão estruturada sobre as interações entre as atividades de um negócio e os seus riscos ambientais associados foi apresentada nesta Tese. A metodologia foi estruturada utilizando uma abordagem multicritério e o Processo Analítico Hierárquico (AHP), com a imagem corporativa, representando parte da dimensão social, a dimensão ambiental e a dimensão econômica como os principais critérios de decisão. De forma a validar a metodologia proposta, ela foi aplicada em um estudo de caso envolvendo a seleção de estratégias sustentáveis de gestão de água em um complexo de mineração. A metodologia proposta provou ser uma ferramenta robusta para suportar a avaliação das alternativas no estudo de caso, com potencial de ser utilizada em outros contextos de decisões corporativas onde riscos ambientais sejam relevantes.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

INCORPORATING ENVIRONMENTAL RISKS INTO CORPORATE DECISIONS USING A MULTIPLE CRITERIA APPROACH

Antônio Henrique Araújo Freitas

February/2013

Advisor: Alessandra Magrini

Department: Energy Planning

Environmental risks associated with activities of private companies have the potential to affect the sustainability of the business, what justify its incorporation into corporate decision making. The main objective of the Thesis was to develop a methodology for incorporating these environmental risks into corporate decision making. In order to support the development of the proposed methodology, a structured discussion about the interactions between business activities and its associated environmental risks was presented in this Thesis. The methodology was structured using a multi-criteria approach and the Analytical Hierarchy Process (AHP), with corporate image, representing part of the social dimension, the environmental dimension and the economic dimension as the main decision criteria. In order to validate the proposed methodology, it was applied in a case study concerning the selection of sustainable water management strategies for a mining complex. The proposed methodology proved to be a robust tool for supporting the assessment of alternatives in the case study, with potential to be used in other corporate decision contexts where environmental risks are relevant.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS.....	7
1.2	METODOLOGIA DA TESE.....	8
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	TOMADA DE DECISÃO	9
2.1.1	<i>O processo de tomada de decisão</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Elementos da tomada de decisão.....</i>	<i>12</i>
2.1.3	<i>A tomada de decisões em empresas.....</i>	<i>13</i>
2.2	ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO.....	14
2.2.1	<i>Processo Analítico Hierárquico (AHP)</i>	<i>19</i>
2.3	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	23
2.3.1	<i>Identificação de aspectos e impactos ambientais.....</i>	<i>24</i>
2.4	INDICADORES DE PERFORMANCE AMBIENTAL	25
2.4.1	<i>Utilização de indicadores ambientais em Balanced Scorecard.....</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Indicadores de Sustentabilidade.....</i>	<i>31</i>
2.5	RISCOS.....	32
2.5.1	<i>Probabilidade.....</i>	<i>33</i>
2.5.2	<i>Severidade.....</i>	<i>35</i>
2.6	CUSTOS AMBIENTAIS	36
2.6.1	<i>Identificação de Custos Ambientais.....</i>	<i>39</i>
2.7	TOMADA DE DECISÕES BASEADA EM QUESTÕES, RISCOS E CUSTOS AMBIENTAIS.....	47
2.7.1	<i>Total Cost Assessment - TCA.....</i>	<i>49</i>
2.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	51
3	BASES PARA A METODOLOGIA PROPOSTA	53
3.1	IMAGEM CORPORATIVA	55
3.2	INTERAÇÕES ENTRE AS ATIVIDADES DE UM NEGÓCIO E O MEIO AMBIENTE	59
3.3	COMO OS RISCOS AMBIENTAIS PODEM AFETAR AS ATIVIDADES DE UM NEGÓCIO ..	63
4	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	74
4.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO E OBJETIVOS	75
4.2	IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS	79
4.3	DECOMPOSIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA.....	80

4.3.1	<i>Etapa A – Identificação dos aspectos ambientais envolvidos no processo decisório</i>	89
4.3.2	<i>Etapa B – Identificação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem</i>	92
4.3.3	<i>Etapa C – Complementação da hierarquia do processo decisório</i>	96
4.3.4	<i>Etapa D – Definição de indicadores e escalas de severidade e probabilidade</i>	96
4.3.5	<i>Etapa E – Determinação dos pesos incluídos na hierarquia do processo decisório</i>	104
4.3.6	<i>Etapa F – Cálculo da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base)</i>	105
4.3.7	<i>Etapa G – Cálculo da pontuação associada às demais alternativas</i> ..	108
4.4	COMPARAÇÃO E ESCOLHA DA MELHOR ALTERNATIVA	109
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	111
5	ESTUDO DE CASO	112
5.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO E OBJETIVOS	113
5.2	IDENTIFICAÇÃO DE ALTERNATIVAS	115
5.3	DECOMPOSIÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA.....	118
5.3.1	<i>Etapa A – Identificação dos aspectos ambientais envolvidos no processo decisório</i>	118
5.3.2	<i>Etapa B – Identificação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem</i>	119
5.3.3	<i>Etapa C – Complementação da hierarquia do processo decisório</i>	122
5.3.4	<i>Etapa D – Definição de indicadores e escalas de severidade e probabilidade</i>	123
5.3.5	<i>Etapa E – Determinação dos pesos incluídos na hierarquia do processo decisório</i>	133
5.3.6	<i>Etapa F – Cálculo da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base)</i>	137
5.3.7	<i>Etapa G – Cálculo da pontuação associada às demais alternativas</i> ..	140
5.4	COMPARAÇÃO E ESCOLHA DA MELHOR ALTERNATIVA	141
5.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	142
6	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Espectro dos custos ambientais.....	39
Figura 2-2 – Métodos de valoração ambiental	45
Figura 3-1 – Interações diretas e indiretas entre um negócio e o meio ambiente	62
Figura 3-2 - Influência dos Stakeholders no negócio	65
Figura 3-3 – Interações entre riscos ambientais, stakeholders e o negócio.....	66
Figura 4-1 – Razões para investir em Responsabilidade Social Corporativa.....	77
Figura 4-2 – Benefícios de ações de sustentabilidade.....	78
Figura 4-3 – Hierarquia inicial do problema proposta para incorporação de riscos ambientais em decisões corporativas	83
Figura 4-4 – Exemplo de complementação da hierarquia proposta para incorporação de riscos ambientais em processos decisórios corporativos até o nível seguinte aos critérios ambiental, econômico e de imagem.	87
Figura 4-5 – Etapas da metodologia proposta para incorporação de riscos ambientais em processos de tomada de decisão corporativas	89
Figura 4-6 – Escala de probabilidade subjetiva considerada para a metodologia proposta.	104
Figura 5-1 – Representação esquemática da Alternativa 0 (linha de base) no estudo de caso.....	117
Figura 5-2 – Representação esquemática da Alternativa 1 no estudo de caso	117
Figura 5-3 – Representação esquemática da Alternativa 2 no estudo de caso	117
Figura 5-4 – Representação esquemática da Alternativa 3 no estudo de caso	118
Figura 5-5 – Representação esquemática da Alternativa 4 no estudo de caso	118
Figura 5-6 – Hierarquia do problema decisório no estudo de caso	123
Figura 5-7 – Sumário dos pesos dos critérios obtidos no estudo de caso	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Índices de Consistência para avaliação dos resultados do método AHP	21
Tabela 2-2 - Escala de importâncias para aplicação do método AHP.....	22
Tabela 2-3 - Exemplos de indicadores de sustentabilidade e comparação com indicadores tradicionais.....	32
Tabela 2-4 - Exemplos de custos ambientais privados	38

Tabela 2-5 - Exemplos de valoração de recursos ambientais	46
Tabela 3-1 - Stakeholders e suas interações com um negócio	64
Tabela 4-1 – Exemplo de planilha para consolidação da identificação dos riscos na metodologia proposta	95
Tabela 4-2 – Exemplo de indicadores e escala para avaliação de impactos de imagem na metodologia proposta	100
Tabela 5-1 – Número de unidades de mineração no Brasil e na região Sudeste no ano de 2005	112
Tabela 5-2 – Riscos ambientais, econômicos e de imagem identificados no estudo de caso.....	120
Tabela 5-3 – Indicadores ambientais e faixas de valores consideradas para o estudo de caso.....	128
Tabela 5-4 – Valores para a escala do indicador de impacto na qualidade de água superficial utilizados no estudo de caso	129
Tabela 5-5 – Valores para a escala de impacto econômico utilizados para o estudo de caso.....	131
Tabela 5-6 – Valores para a escala do indicador de impacto de imagem negativo para o grupo de stakeholders “empregados” utilizados no estudo de caso	132
Tabela 5-7 – Importâncias atribuídas pelos tomadores de decisão e pesos dos critérios ambiental, econômico de imagem obtidos no estudo de caso.....	134
Tabela 5-8 – Sumário dos pesos dos critérios ambiental, econômico de imagem obtidos no estudo de caso.....	134
Tabela 5-9 – Importâncias atribuídas e pesos obtidos para os subcritérios associados ao critério ambiental no estudo de caso	135
Tabela 5-10 – Importâncias atribuídas e pesos obtidos para os subcritérios associados ao critério de imagem no estudo de caso.....	136
Tabela 5-11 – Cálculo dos pesos dos critérios utilizados no estudo de caso.....	136
Tabela 5-12 – Cálculo da pontuação associada à Alternativa 0 (linha de base) no estudo de caso	138
Tabela 5-13 – Pontuações totais e comparação das alternativas no estudo de caso	141
Tabela 5-14 – Pontuações totais das alternativas considerando a avaliação com critérios únicos (mono critério) e avaliação multicritério no estudo de caso.....	143

Tabela 5-15 – Pontuações totais das alternativas considerando os pesos individuais e valores médios levantados com os tomadores de decisão no estudo de caso	144
Tabela 5-16 – Pontuações totais das alternativas considerando diferentes valores de probabilidade no estudo de caso.....	145
Tabela 5-17 – Pontuações totais das alternativas considerando diferentes taxas de desconto no estudo de caso.....	146

LISTA DE APÊNCICES

Apêndice A – Ferramenta Desenvolvida para o Cálculo do Vetor de Prioridades do Método Processo Analítico Hierárquico.....	164
---	-----

1 INTRODUÇÃO

O conceito de incorporação de questões ambientais em processos de tomada de decisões corporativas tem ganhado mais adeptos à medida que tomadores de decisão passam a entender que essas questões podem representar tanto oportunidades (BANERJEE, 2001) quanto ameaças (ERNEST & YOUNG, 2008) a um negócio. Embora os custos relacionados a tais questões ambientais normalmente não sejam levados em consideração em sistemas contábeis tradicionais, podem representar uma parcela significativa dos custos operacionais de uma empresa (AICHE, 1999), afetando a sustentabilidade financeira do negócio.

Interações menos tangíveis entre questões ambientais e o desempenho de um negócio, tais como respostas do mercado ao desempenho ambiental de uma empresa, resultando em variações do seu valor de mercado, também são verificadas (WAGNER, 2001; WAGNER et al., 2002), usualmente apresentando uma correlação positiva entre performance ambiental e performance financeira da empresa (MOLINA-AZORÍN et al., 2009). Como exemplo, Wagner (2001) apresenta resultados de vários estudos correlacionando performance ambiental e performance econômica, incluindo o caso do vazamento de óleo resultante do acidente com o petroleiro Exxon Valdez em 1989, quando foi verificada uma redução de 20% no retorno econômico acumulado da Exxon em noventa dias após o anúncio do acidente.

Uma das formas de incorporação de questões ambientais nos processos decisórios de empresas consiste na utilização de indicadores de performance ambiental (BERKHOUT et al., 2001). Esse tipo de abordagem normalmente é bastante útil em decisões envolvendo questões relacionadas à conformidade legal, quando valores de indicadores de performance ambiental devem ser comparados com valores de referência estabelecidos em legislação (e.g. concentração de um determinado parâmetro de interesse na corrente de efluentes de uma indústria lançada para o meio ambiente). Entretanto, quando valores referência não são disponíveis, verifica-se que em muitos casos as empresas têm dificuldade de relacionar os resultados numéricos dos indicadores com resultados práticos do seu negócio, os quais normalmente envolvem resultados financeiros. Isso pode levar a conflitos em processos decisórios quando, por exemplo, metas de melhora da performance ambiental de uma empresa são avaliadas face ao investimento

necessário para se atingir tais metas. Como exemplo desse tipo de conflito, em muitos casos pode ser difícil convencer os acionistas de uma empresa a investir na melhora de um indicador de performance ambiental, se isso não for uma exigência legal.

Um outro tipo de abordagem para a incorporação de questões ambientais em processos decisórios consiste na sua valoração, de forma a tratar o problema decisório em uma única dimensão econômica. Os métodos *Full Cost Accounting* (FCA) (ICF INCORPORATED, 1996) e *Total Cost Assessment* (TCA) (AICHE, 1999) consistem em exemplos desse tipo de abordagem, que visam identificar, quantificar e incorporar nos processos decisórios um amplo espectro de custos ambientais associados com as atividades de um negócio ou com projetos (uma discussão da metodologia TCA é apresentada na Seção 2.7.1 deste documento).

O espectro de custos ambientais que pode ser considerado para incorporação em processos decisórios vai de custos privados que podem ser facilmente levantados por meio de sistemas contábeis convencionais, a custos de imagem e relacionamento, também denominados custos menos tangíveis, e custos sociais, também denominados externalidades (U.S. EPA, 1995), cuja estimativa é muito mais complexa (uma discussão desses custos ambientais é apresentada na Seção 2.6 deste documento).

Metodologias baseadas na identificação de custos ambientais representam um avanço importante comparado a abordagens econômicas convencionais e abordagens baseadas somente no uso de indicadores de performance ambiental, entretanto, apresentam aspectos intrínsecos que limitam sua aplicação em casos práticos de tomada de decisões em empresas (MAGNESS, 2003). Esses aspectos incluem:

- a insuficiência dos dados financeiros: uma análise puramente financeira das alternativas envolvidas no processo decisório é insuficiente para incorporar todas suas vantagens e desvantagens, visto que alguns dos potenciais resultados de tais alternativas podem não ser passíveis de valoração, ou quando são, resultam em valores financeiros com incerteza muito elevada, sendo pouco úteis nos processos decisórios; e
- a dificuldade de valoração de questões ambientais: interações entre as atividades de um negócio, o meio ambiente e questões financeiras associadas podem ser complexas e específicas para um determinado

conjunto de condições, de forma que sua valoração pode requerer a realização de análises que demandam tempo e recursos financeiros significativos, além do que é considerado viável no contexto de decisões corporativas.

Em relação à insuficiência dos dados financeiros, KAHN (2001) argumenta que a avaliação econômica não pode ser o único critério na tomada de decisão, destacando como uma das justificativas a utilização de altas taxas de desconto, que reduz a importância de investimentos com resultados a longo prazo, como muitos na área ambiental. Uma outra razão é que fatores cuja expressão em termos financeiros seja muito difícil podem acabar não sendo incorporados ou considerados na tomada de decisão, embora alguns possam ser relevantes à gestão dos negócios da empresa. As questões de imagem da empresa são um exemplo disso.

A estimativa de custos ambientais pode requerer a utilização de métodos de valoração ambiental (ver Seção 2.6), que consiste na atribuição de valores monetários a serviços ecológicos, os quais normalmente não estão no mercado (FISHER et al., 2009). Segundo Prato (1999), por essa razão, as técnicas de valoração ambiental estão sujeitas a vieses¹ que podem afetar os resultados, limitando sua aplicabilidade.

A maior parte da informação disponível em literatura sobre a aplicação de valoração ambiental está relacionada à avaliação de alternativas de planejamento e gerenciamento no setor público (ADAMS et al., 2008; ELETROBRAS, 2000; GREGORY et al., 2006; MMA, 2004²). Além disso, na pesquisa para esta Tese não foi encontrada evidência de que decisões de investimentos em empresas privadas foram de fato baseadas nos resultados de estudos de valoração ambiental.

A falta de informação publicada sobre o uso de abordagens baseadas unicamente em custos ambientais para empresas privadas, possivelmente devido à sensibilidade das informações envolvidas e/ou devido a real falta de aplicação, além da complexidade e limitações relacionadas à valoração ambiental discutidas acima, limitam a utilização dessas abordagens para o uso em processos de tomada de decisão corporativas.

¹ Motta (2006) apresenta uma discussão sobre vieses verificados em técnicas de valoração ambiental.

² Neste documento o Ministério do Meio Ambiente do Brasil discute 13 estudos de caso de aplicação de valoração ambiental.

Considerando as limitações da incorporação de questões ambientais em processos decisórios com base somente em uma avaliação econômica de tais questões, fatores não financeiros passaram a ser incorporados nos processos decisórios. Essa tendência de utilização de fatores não financeiros para suporte à tomada de decisão pode ser evidenciada, por exemplo, por meio da crescente utilização do *Balanced Scorecard* (BSC) na medição da performance das empresas, o qual incorpora, além da perspectiva financeira, as perspectivas de clientes, dos processos internos e de aprendizado e crescimento (BRINGNALL, 2002).

Bieker et al. (2002) enfatizam a necessidade de integração de questões ambientais, financeiras e sociais em sistemas de gerenciamento, exemplificado pelo BSC, para que as empresas atinjam a sustentabilidade corporativa, o que define como a capacidade de atender às necessidades das partes interessadas (acionistas, empregados, clientes, fornecedores, sociedade) sem comprometer sua habilidade de atender às necessidades de futuras partes interessadas.

Uma alternativa para incluir perspectivas diversas em processos decisórios consiste no uso de metodologias baseadas em análise multicritério para suporte à tomada de decisão, referidas na língua inglesa como *multiple criteria decision making* (MCDM). Metodologias MCDM permitem incorporar formalmente questões sobre múltiplos e conflitantes critérios no processo de planejamento de decisões (LIU, 2007), bem como vários pontos de vista em conflito e múltiplos stakeholders (partes interessadas) (GINER-SANTONJA et al., 2012), sem a necessidade de valoração econômica e com a possibilidade de trabalhar com as importâncias dos critérios de avaliação (PRATO & HERATH, 2007), o que permite contornar as limitações de abordagens exclusivamente baseadas em avaliação de custos ambientais. A possibilidade de lidar com demandas de múltiplos stakeholders torna as metodologias MCDM também úteis para a solução de problemas onde se verificam questões relacionadas a Responsabilidade Social Corporativa (MCWILLIAMS & SIEGEL, 2001).

De acordo com Ananda e Herath (2009), tem se verificado um crescente interesse no uso de metodologias de avaliação multicritério para suporte a processos de tomada de decisão, não somente entre pesquisadores, mas também fora da comunidade acadêmica. Entretanto, muito pouca informação está disponível sobre o uso dessas metodologias para a incorporação de questões ambientais nos processos decisórios de empresas privadas.

Independente da abordagem utilizada para incorporação de questões ambientais em processos decisórios, se utilizando indicadores, custos ambientais ou métodos multicritério, uma outra dificuldade verificada reside nas incertezas associadas a essas questões, que segundo Faucheux e Froger (1995) são inerentes a maior parte dos problemas ambientais. Essas incertezas podem ser tanto internas, quando são passíveis de serem afetadas e/ou controladas pela empresa, ou externas, quando não podem ser influenciadas pelas ações da empresa. Eventos como liberações acidentais de matéria e energia ou mudanças na legislação que possam afetar a gestão ambiental de uma empresa muitas vezes necessitam ser consideradas nos processos decisórios, mesmo que sua ocorrência futura seja incerta. Considerando essa incerteza inerente nas questões ambientais a serem consideradas em processos decisórios, uma forma de representar tais incertezas consiste em abordar esses problemas sob uma perspectiva de risco, no sentido de possibilidade de ocorrência de um evento (GUIMARÃES, 2003).

A demanda pela incorporação de questões ambientais para suportar os processos decisórios de empresas, as dificuldades intrínsecas nos processos de valoração e a insuficiência dos indicadores financeiros para representação dessas questões apontam para a necessidade de metodologias para auxílio à tomada de decisão que levem em consideração fatores financeiros e não financeiros decorrentes de questões ambientais, bem como as incertezas associadas.

Considerando o exposto acima, no presente trabalho de doutorado foi desenvolvida uma metodologia para auxílio à tomada decisão relacionada a alternativas de investimentos em empresas que possa levar em consideração os riscos ambientais associados a essas alternativas, utilizando uma abordagem multicritério.

A metodologia proposta considera como critérios de decisão principais aspectos associados à dimensão ambiental, à dimensão econômica e à dimensão de imagem corporativa das empresas, associados aos riscos ambientais considerados nos processos decisórios. A utilização do critério de imagem corporativa consiste em uma inovação proposta neste estudo, com objetivo de representar parte da dimensão social afetada pelos riscos ambientais de uma empresa de uma maneira simplificada, que sirva para o propósito de suporte à tomada de decisão. Ao incorporar o critério de imagem a empresa leva em consideração a perspectiva de outros stakeholders no seu processo de tomada de

decisão, o que está alinhado com o conceito de governança ambiental, onde agentes públicos e privados cooperam para resolver problemas da sociedade (BIERMANN & PATTBERG, 2008).

O método Processo Analítico Hierárquico, do termo em inglês *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (SAATY 1990; SAATY 2008), foi utilizado para a estruturação da metodologia proposta, de forma a permitir uma avaliação sistemática da importância dos critérios utilizados para a tomada de decisão.

A metodologia proposta foi desenvolvida com foco para aplicação em negócios, que são entendidos como organizações reconhecidamente legalizadas com o objetivo de fornecer produtos e/ou serviços a consumidores (O'SULLIVAN & SHEFFRIN, 2003). Além disso, a metodologia proposta foi desenvolvida com foco em empresas orientadas para obtenção de resultados financeiros e remuneração de seus acionistas. Dessa forma, a metodologia proposta não seria aplicável a organizações ilegais, entidades governamentais, bem como outras organizações que não tenham como objetivo a remuneração de seus acionistas.

Os objetivos e resultados esperados com esta Tese são apresentados na Seção 1.1. A Seção 1.2 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta Tese e a Seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica utilizada para embasamento da metodologia proposta. Na Seção 3 é apresentada uma discussão sobre aspectos de imagem corporativa, bem como sobre as relações entre as atividades de um negócio, os riscos ambientais associados e potenciais impactos desses riscos na sustentabilidade do negócio, que serviu de base para a estruturação da metodologia proposta. A descrição da metodologia proposta é apresentada na Seção 4, e um estudo de caso de sua aplicação, relacionado à seleção de estratégias sustentáveis de gestão de água em um complexo de mineração, é apresentado na Seção 5. As conclusões deste trabalho são apresentadas na Seção 6. No Apêndice A é apresentada uma ferramenta que foi desenvolvida e utilizada nesta Tese para o cálculo dos vetores de prioridade utilizando o método AHP.

1.1 Objetivos e Resultados Esperados

O presente trabalho de doutorado tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para auxílio à tomada de decisões corporativas que permita a incorporação de riscos ambientais para avaliação de alternativas de investimentos em empresas privadas orientadas para o lucro, utilizando uma abordagem multicritério.

Dentre os resultados esperados no trabalho proposto, destacam-se:

- espera-se que a metodologia desenvolvida possa incorporar cenários de risco (incertezas) e mais de um critério para a tomada de decisão (avaliação multicritério), tornando a análise mais completa e reduzindo possíveis erros devido a não consideração de informações relevantes ao processo decisório. Nesse sentido, a metodologia desenvolvida poderia ser considerada como um avanço em relação às metodologias tradicionais de auxílio à tomada de decisão, que usualmente focam em indicadores únicos (financeiros ou específicos) ou não levam em consideração algumas incertezas envolvidas no processo decisório;
- espera-se que a metodologia desenvolvida possibilite a estruturação e gerenciamento de forma simplificada de um grande número de informações relativas aos riscos ambientais envolvidos em processos decisórios, condensando-as em um número reduzido de indicadores representativos. Usualmente tais informações são expressas de diferentes formas e em diferentes unidades, dificultando seu entendimento e gerenciamento pelas empresas.
- espera-se manter na metodologia desenvolvida uma estrutura simplificada e flexível, que facilite o seu entendimento e utilização em diversos setores empresariais.
- espera-se ainda com o trabalho de doutorado proposto obter uma metodologia que facilite a incorporação de riscos ambientais para suportar os processos decisórios das empresas, levando em consideração e explicitando nos processos decisórios fatores financeiros e não financeiros decorrentes desses riscos. Com isto, busca-se possibilitar reprodutibilidade e agilizar tais processos decisórios, cujos resultados podem levar a melhorias da qualidade ambiental e redução de riscos ambientais.

1.2 Metodologia da Tese

A metodologia desenvolvida neste trabalho consistiu, inicialmente, de um levantamento de informações teóricas sobre os diferentes componentes que seriam utilizados para o desenvolvimento da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta.

Em um segundo momento foi feita uma revisão sobre aspectos de imagem corporativa, bem como uma discussão estruturada sobre as interações mútuas entre as atividades de um negócio e os riscos ambientais associados, que serviriam de bases para o desenvolvimento dessa metodologia proposta.

Utilizando essas bases e elementos apresentados na revisão bibliográfica, estruturou-se a metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta.

Finalmente, foi desenvolvido um estudo de caso de aplicação da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta. Utilizou-se, para tanto, como objeto um problema de seleção de estratégias sustentáveis de gestão de água em um complexo de mineração com a finalidade de avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da bibliográfica para a elaboração desta Tese compreendeu a pesquisa e estudo de conceitos relacionados a:

- tomada de decisão;
- análise multicritério para suporte à tomada de decisão;
- aspectos e impactos ambientais;
- indicadores de performance ambiental;
- riscos;
- custos ambientais; e
- tomada de decisão envolvendo aspectos e impactos ambientais, riscos e custos associados.

A seguir são apresentados os principais resultados desta revisão.

2.1 Tomada de Decisão

Gomes et al. (2006) definem o termo decisão como o processo de colher informações, atribuir importâncias a elas, buscar possíveis alternativas de decisão e então fazer a escolha entre as alternativas.

Embora o termo possa remeter a situações complexas e restritas a um pequeno número de indivíduos, a tomada de decisão está presente no cotidiano das pessoas, desde as decisões mais simples, que não lhes trazem grandes efeitos, até as decisões de grande importância, que podem mudar suas vidas. O simples fato de escolher entre comer uma maçã ou uma laranja pode ser definido como uma tomada de decisão, assim como a escolha sobre seguir uma ou outra carreira profissional também se enquadra nessa definição.

No âmbito corporativo a tomada de decisão também envolve questões simples e outras mais complexas, que afetam as várias partes interessadas (stakeholders) no negócio: empregados, acionistas, clientes, fornecedores e vizinhos. Na maioria das vezes, essas decisões envolvem questões financeiras, quer seja no investimento necessário à realização de uma ação, quer seja no retorno, positivo ou negativo, resultante da realização ou não dessa ação. Como exemplo, a decisão de uma empresa por não atender a solicitação de aumento salarial para seus

empregados pode resultar em baixa de produtividade, trazendo-lhe perdas financeiras.

A tomada de decisão sempre envolve escolhas entre duas ou mais alternativas, sendo a mais básica delas a de permanecer no estado original ou de realizar alguma ação que modifique esse estado. Uma vez que se decida por realizar alguma ação, a tomada de decisão passa a envolver a escolha de alternativas de como realizar tal ação.

Um processo de tomada de decisão pode incluir um ou mais atores, definidos como o indivíduo ou grupo de indivíduos que interveem no processo de maneira concordante e homogênea, e que tem a capacidade de influenciar direta ou indiretamente a decisão (MAGRINI, 1992). Gomes et al. (2006) dividem os atores da decisão em grupos de acordo com sua função no processo decisório, conforme apresentando a seguir:

- decisor: indivíduo que influencia no processo de tomada de decisão de acordo com o juízo de valores que representa e/ou relações que se estabeleceram. O decisor não necessariamente participa do processo decisório, mas tem o poder de vetar ou validar a decisão, assumindo suas consequências;
- facilitador: indivíduo que deve focar sua atenção na formulação do problema, considerando o ponto de vista do decisor, e que tem o papel de esclarecer e modelar o processo de avaliação e/ou negociação que levem ao processo decisório. Seus valores não devem influenciar na avaliação do processo decisório; e
- analista: indivíduo que realiza a análise do problema decisório, auxiliando o facilitador e o decisor na estruturação do problema e identificação de suas condições de contorno, de forma a facilitar a visualização do problema.

Ressalta-se que os grupos acima podem ser representados por um ou mais indivíduos, e que em muitos casos um mesmo indivíduo pode exercer mais de uma função no processo decisório.

2.1.1 O processo de tomada de decisão

Decisões simples podem ser, e normalmente são, tomadas de forma quase que intuitiva pelas pessoas. Em muitos casos as pessoas nem se questionam porque selecionam uma alternativa em detrimento de outra, mas de alguma forma estão realizando um processo decisório. No caso de decisões mais complexas, que envolvem um maior número de informações, a estruturação do processo decisório passa a ser desejável, a fim de permitir incluir e analisar de forma organizada essas informações, permitindo uma análise lógica que possa ser melhor entendida, verificada e, caso necessário, reproduzida.

Para fins de entendimento e análise do processo decisório, vários autores apresentam estruturas com as etapas que compõem um processo de tomada de decisão (BINDER, 1994; COSTA, 1997; SHAMBLIN & STEVENS, 1989; CHIAVENATO, 1983). Apresenta-se a seguir as etapas de um processo decisório definidas por Clemen (1996), que abrangem a maior parte dos itens apresentados pelos autores supracitados:

- identificação do problema e entendimento dos objetivos da tomada de decisão;
- identificação das alternativas;
- decomposição e modelagem do problema:
 - modelagem da estrutura do problema;
 - modelagem da incerteza;
 - modelagem das preferências;
- escolha da melhor alternativa;
- análise de sensibilidade;
- verificação da necessidade de análise adicional; e
- implementação da alternativa escolhida.

Gomes et al. (2006) apresentam quatro outras possíveis estruturas para o processo decisório, incluindo estruturas nas quais as etapas são nomeadas com outros termos, com menos etapas, e/ou com uma ordem diferente em relação às etapas listadas acima. Entende-se, entretanto, que a estrutura apresentada acima seja abrangente o suficiente para cobrir todas essas outras estruturas.

Segundo Clemen (1996), a identificação exata do problema é essencial no processo decisório, visto que algumas vezes, por deficiência nessa identificação,

acaba-se por tratar o problema errado, o que ele denomina como “erro de terceiro tipo”. Esse autor ainda pondera que o claro entendimento dos objetivos, após a identificação do problema, auxilia na identificação das alternativas para a solução do problema e indica como seus resultados poderão ser avaliados.

Keeney (1992) apresenta uma ordem inversa para esta primeira etapa do processo decisório, argumentando que é mais apropriado entender claramente os objetivos centrais e posteriormente buscar modos – oportunidades de decisão (identificação do problema decisório) – para alcançar estes objetivos.

Clemen (1996) apresenta a decomposição do problema como a etapa chave no processo decisório, uma vez que permite lidar com partes menores e mais fáceis de gerenciar do problema, bem como entender sua estrutura e medir suas incertezas e valores. Esse autor apresenta a modelagem como uma abordagem quantitativa e analítica para representar matematicamente e graficamente o problema envolvido na tomada de decisão, destacando como seu principal atrativo o fato dos resultados da representação matemática da decisão poderem ser analisados de forma mais objetiva que em uma análise qualitativa.

Segundo Clemen (1996), com a análise de sensibilidade no processo decisório busca-se verificar se a alternativa escolhida é susceptível a mudanças no modelo que representa a decisão. Caso verifique-se que a alternativa selecionada deixa de ser interessante para algum dos cenários avaliados, o tomador de decisão pode querer reconsiderar os aspectos para os quais a alternativa é sensível nas etapas anteriores do processo, como a decomposição e modelagem do problema, a identificação das alternativas e até mesmo a identificação do problema e entendimento dos objetivos. Isto, portanto, torna a tomada de decisão um processo interativo (CLEMEN, 1996).

2.1.2 Elementos da tomada de decisão

Dentre os elementos envolvidos na tomada de decisão, são destacados nesta Tese os objetivos, os valores e critérios, os atributos e as incertezas do processo decisório.

Os objetivos representam o que se quer alcançar na tomada de decisão. No exemplo apresentado anteriormente da escolha entre a maçã e a laranja, o objetivo pode ser o saciar a fome ou maximizar o bem estar, dentre outros. Segundo Clemen

(1996), sem objetivos, seria impossível estabelecer qual a melhor alternativa em uma decisão.

Valores representam aquilo que é importante para o tomador de decisão na análise de um processo decisório (CLEMEN, 1996). Esses valores são representados no processo de tomada de decisão através de critérios, também denominados atributos (KEENEY & GREGORY, 2005). Gomes et al. (2006) argumentam que os atributos correspondem às características das alternativas, e somente são convertidos em critérios quando são relevantes ao processo decisório.

No exemplo apresentado anteriormente de decisão entre comer uma maçã ou uma laranja, o indivíduo pode considerar relevante para a tomada de decisão o tamanho da fruta, se seu objetivo for apenas saciar a fome, ou o gosto, preço, dificuldade de comer a fruta (a laranja teria que ser descascada e a maçã não), por exemplo, se seu objetivo for maximizar seu bem estar. Uma vez identificados os valores, podem ser selecionados critérios que representem esses valores visando à avaliação das alternativas. Embora na maioria das vezes não sejam explicitados, as pessoas consideram diferentes valores em suas decisões, que influenciam o modo e resultado de suas escolhas. Uma abordagem que explicita os valores envolvidos na tomada de decisão, bem como compreende a ponderação desses valores, consiste da figura de mérito, podendo ser utilizada isoladamente como método de auxílio à tomada de decisão ou em complementação a outros métodos (GUIMARÃES, 2004).

Ao selecionar uma alternativa, o tomador de decisão busca atender da melhor maneira possível aos objetivos pré-estabelecidos. Em grande parte das decisões, entretanto, não é possível ter certeza absoluta de que os resultados da alternativa selecionada irão satisfazer plenamente a tais objetivos. Essa incerteza implícita no processo decisório deve ser considerada e, se possível, quantificada, de forma a embasar a tomada de decisão. As incertezas implícitas no processo decisório podem ser internas ou externas, correspondendo àquelas que podem e que não podem ser afetadas pelas ações do tomador de decisão.

2.1.3 A tomada de decisões em empresas

Segundo Bispo (1998), os processos administrativos são basicamente processos decisórios e as decisões gerenciais são essenciais para a sobrevivência de empresas. Simianer (2005) pondera que a tomada de decisão corresponde à

alocação de recursos, incluindo recursos financeiros, produtos, serviços e outros, e como todos esses recursos podem ser valorados em uma escala econômica, o processo de decisão pode ser entendido como um processo de alocação de recursos financeiros.

Verifica-se, portanto, que um dos aspectos mais relevantes na tomada de decisões gerenciais em empresas é a alocação de recursos financeiros, e ainda que frequentemente a demanda por tais recursos é maior que sua disponibilidade. Além disso, é comum que ações que demandam os limitados recursos das empresas tenham objetivos diferentes e, por vezes, conflitantes. Os acionistas demandam ações que lhes tragam como resultado o melhor retorno financeiro possível; os empregados demandam ações que resultem em melhores salários e condições de trabalho; os clientes demandam ações que resultem em melhoria / manutenção da qualidade dos produtos, redução / manutenção dos prazos de entrega e melhores preços; os fornecedores demandam ações que lhe possibilitem melhores condições comerciais; e os vizinhos demandam ações que minimizem os impactos negativos / maximizem os impactos positivos da empresa. Esses múltiplos objetivos se refletem internamente na demanda de recursos pelos setores das empresas. O setor produtivo demanda recursos para aumentar a produtividade, a área responsável pela comercialização demanda recursos para aumentar as vendas, a área responsável pelo gerenciamento ambiental da empresa solicita recursos para atender as demandas legais e da comunidade relacionadas ao meio ambiente, e assim por diante.

Além dos múltiplos objetivos conflitantes, Clemen (1996) pondera que a tomada de decisão sempre envolve outras três fontes básicas de dificuldades: a complexidade, a incerteza inerente e as diferentes perspectivas envolvidas no processo decisório.

2.2 Análise Multicritério para Suporte à Tomada de Decisão

Na maioria dos problemas decisórios as alternativas apresentam características que as diferenciam em relação a mais de um atributo. Na compra de um carro, por exemplo, as alternativas podem ser diferentes em relação ao preço, nível de conforto, potência do motor, consumo de combustível, cor, confiabilidade, dentre outros. Cabe ao tomador de decisão (por exemplo, a pessoa que está

fazendo a compra no exemplo acima), com base no seu objetivo em relação ao processo decisório, identificar quais os atributos serão considerados para a avaliação das alternativas.

A tomada de decisão com base na utilização de um único critério que possa ser representando diretamente de forma numérica, como preço no exemplo acima, facilitaria significativamente o processo decisório, pois é relativamente simples comparar dois valores numéricos que estejam em uma mesma unidade. Caso se deseje incluir mais critérios na decisão, o problema decisório passa a ficar mais complexo, principalmente pela necessidade de se comparar critérios que são representados por diferentes unidades, como preço e potência no exemplo acima, que são representados respectivamente por unidade monetária (e.g. R\$) e unidade de potência (e.g. HP). Essa complexidade se acentua quando há necessidade de inclusão de critérios que não podem ser representados diretamente por indicadores numéricos, como cor e nível de conforto no exemplo acima.

Obviamente, em decisões cotidianas dificilmente as pessoas param para analisar a complexidade dos problemas decisórios, e fazem uma análise quase que intuitiva dos diferentes critérios envolvidos para tomar suas decisões. Quando parte-se para decisões mais complexas, principalmente relacionadas à gestão de empresas, verifica-se que a utilização de métodos multicritério para suporte à tomada de decisão pode ser de grande ajuda para o entendimento, análise e futura verificação dessas decisões.

Segundo Gomes (2007), métodos multicritério para suporte à tomada de decisão começaram a surgir após a Segunda Guerra Mundial, e eram direcionados a solução de problemas decisórios que incluíam as seguintes características:

- problemas com no mínimo dois critérios de decisão, e esses critérios eram conflitantes entre si;
- tanto os critérios como as alternativas não eram claramente definidos, e as consequências da seleção de uma determinada alternativa não eram devidamente compreendidas;
- os critérios e as alternativas poderiam estar interligados entre si;
- a solução do problema dependia de um conjunto de pessoas, cada um com seu próprio ponto de vista, que muitas vezes eram conflitantes com os demais; e

- alguns dos critérios eram quantificáveis enquanto que outros somente podiam ser representados por meio de juízos de valor sobre alguma escala.

Os problemas decisórios podem ser de natureza contínua, quando existe um número infinito de alternativas, ou de natureza discreta, quando se trata de um número finito de alternativas (Gomes et al., 2006). Nesta Tese são abordados problemas de natureza discreta, para os quais existem uma grande variedade de métodos multicritério para o suporte à tomada de decisão, que incluem (Gomes et al., 2006):

- Métodos ELECTRE, abreviação do termo em francês *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*;
- Métodos PROMETHEE, abreviação do termo em inglês *Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluations*;
- Teoria da Utilidade Multiatributo, do termo em inglês *Multiattribute Utility Theory* (MAUT);
- Processo Analítico Hierárquico, do termo em inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Segundo Gomes et al. (2006), os métodos ELECTRE e PROMETHEE são representantes da escola europeia e os métodos MAUT e AHP são representantes da escola americana de apoio multicritério à decisão. Segundo esse autor, o agrupamento em famílias pode ser feito devido à algumas características comuns verificadas nesses métodos:

- Escola francesa:
 - não existe uma função de valor ou de utilidade para representar as alternativas do processo decisório;
 - os métodos assumem que pode haver relação de incomparabilidade entre as alternativas do processo decisório;
 - podem ser definidas as seguintes relações entre as alternativas:
 - preferência forte, quando não há hesitação;
 - preferência fraca, quando há hesitação;
 - indiferença;
 - incomparabilidade;
 - os métodos aceitam a intransitividade nas relações de preferências e de indiferença;

- Escola americana:
 - os métodos são baseados no estabelecimento de funções de valor ou de utilidade para representar as alternativas do processo decisório;
 - as importâncias relativas dos critérios (pesos) do processo decisório são obtidas com base em relações de substituição (*trade off*);
 - os métodos assumem que todos os estados são comparáveis (não há incomparabilidade);
 - podem ser definidas as seguintes relações entre as alternativas:
 - preferência (não pressupõe a existência de hesitação);
 - indiferença;
 - os métodos assumem que existe transitividade nas relações de preferências e de indiferença.

Zopounidis e Doumpos (2002) ponderam que a agregação dos critérios é uma etapa crucial na tomada de decisão em um contexto de multicritério, destacando os seguintes modelos principais de agregação:

- relações de superação (forma relacional);
- funções de utilidade (forma funcional).

As relações de superação são relações binárias que permitem avaliar o grau de superação de uma alternativa b_k em relação a uma alternativa b_j . Esse grau de superação aumenta se há argumentos suficientes para confirmar que uma alternativa b_k é pelo menos tão boa quanto uma alternativa b_j (representado por: $b_k S b_j$), sem que haja evidências para contrariar essa afirmação (ZOPOUNIDIS & DOUMPOS, 2002). Segundo Gomes et al (2006), as relações de superação são construídas em duas etapas:

- primeira etapa (construção): desenvolvimento de uma ou mais relações de superação entre as alternativas;
- segunda etapa (pesquisa): as relações de superação são utilizadas para definir uma recomendação (seleção da melhor alternativa, classificação das alternativas, ou ordenação das alternativas em termos de preferência).

As funções de utilidade são baseadas na Teoria da Utilidade Multiatributo (MUT, do termo em inglês *Multiattribute Utility Theory*) (KEENEY & RAIFFA, 1993), que por sua vez são uma extensão da teoria da utilidade (PEARCE & TURNER, 1992) para um caso multidimensional. Dado um conjunto de alternativas ($b_1...b_n$), as funções de valor / utilidade multiatributo (U) são definidas de tal forma que:

$$U(b_j) = U(u_1(b_j), u_2(b_j), \dots, u_n(b_j))$$

Onde $u_1...u_n$ são as utilidades marginais associadas aos critérios de avaliação considerados no processo decisório.

- se $U(b_j) > U(b_k)$, então há preferência da alternativa b_j em relação à alternativa b_k ; e.
- se $U(b_j) = U(b_k)$, então as alternativas b_j e b_k são indiferentes.

Os métodos ELECTRE e PROMETHEE utilizam relações de superação, enquanto que os métodos MAUT e AHP utilizam funções de utilidade.

Dentre os métodos listados acima, para o desenvolvimento da metodologia apresentada nesta Tese foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (AHP), visto que este é de grande utilização e aceitação na comunidade acadêmica, bem como em outros setores. Para exemplificar essa vasta utilização do método, Vaidya e Kumar (2006) apresentam uma revisão de literatura com 150 casos de aplicação do método AHP, incluindo utilizações para problemas envolvendo: (i) seleção de alternativas, (ii) avaliação de alternativas, (iii) análise de custo-benefício, (iv) questões de alocação e locação, (v) pesquisa e desenvolvimento, (vi) priorização e ranqueamento, (vii) tomada de decisão, (viii) questões de previsão, e (ix) medicina e campos correlatos. Esses autores relatam que as aplicações do método AHP encontrados em sua revisão incluíram os campos: (i) pessoal, (ii) social, (iii) manufatura, (iv) política, (v) engenharia, (vi) educação, (vii) indústria, (viii) governo, e (ix) outras aplicações. Saaty (2008) também reporta uma série de casos de aplicação do método AHP, incluindo problemas decisórios na administração pública e tomadas de decisão em empresas privadas.

Uma outra razão para a escolha do método AHP foi que esse método permite a organização do problema decisório em uma estrutura hierarquizada, o que é bastante útil quando se trata de avaliações com grande número de informações, como as que eram objetivo desta Tese.

2.2.1 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O Processo Analítico Hierárquico (AHP, do termo em inglês *Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Tomas Saaty (SAATY, 1990; 2008), e consiste em uma abordagem multicritério para suporte à tomada de decisão na qual fatores da decisão são arranjados em uma estrutura hierárquica. O método AHP utiliza uma abordagem de comparação dos critérios e subcritérios da decisão em pares para obter uma relação de prioridades (importâncias) entre eles em relação ao objetivo da tomada de decisão.

Segundo Saaty (2008), a aplicação do AHP inclui as seguintes etapas:

- 1 - Definição do problema.
- 2 – Estruturação da hierarquia do problema em níveis, a partir do objetivo principal da decisão (no topo da hierarquia), estabelecendo os critérios e objetivos intermediários em cada nível da hierarquia, até o nível mais baixo da hierarquia, que normalmente compreende o conjunto de alternativas para a decisão.
- 3 – Construção de um conjunto de matrizes para comparação dos critérios da decisão em pares. Os critérios vinculados a um mesmo elemento (critério / objetivo) no nível imediatamente superior são comparados entre si para determinação de suas prioridades (importâncias) em relação a esse dado elemento do nível superior.
- 4 – Uso de prioridades obtidas a partir das comparações em pares para atribuir pesos aos critérios. As prioridades globais dos critérios em cada nível são obtidas pela sua prioridade em relação ao critério / objetivo do nível imediatamente superior (obtida da comparação em pares) ponderada pela importância desse critério do nível superior. Esse processo é repetido do topo para a base da hierarquia até se obter as prioridades das alternativas na base da hierarquia.

Saaty (1990; 2008) descreve que na etapa 3 acima a comparação em pares das importâncias dos critérios para a tomada de decisão é feita utilizando-se uma abordagem de autovetores e autovalores para determinação de um vetor de prioridades, conforme apresentado a seguir:

- seja A_1, A_2, \dots, A_n o conjunto de critérios a serem comparados;
- seja w_1, w_2, \dots, w_n os pesos correspondentes de cada critério.

A comparação dos pesos dos critérios em pares é feita conforme abaixo, obtendo-se uma matriz A cujos argumentos correspondem à razão entre as importâncias relativas dos critérios face ao objetivo de elemento ao qual estão vinculados:

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

Multiplicando-se a matriz A pela matriz de pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ conforme formulação abaixo, tem-se que se n é um autovalor de A , então w é um autovetor da matriz A .

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

A equação (2.1) acima pode também ser representada por:

$$A \times w = n \times w$$

Da equação (2.1) acima tem-se que todos os autovalores da matriz A , exceto um, são iguais a zero, de forma que a soma dos autovalores de A é igual a n . Portanto, n é o maior, ou o principal, autovalor de A . A solução da equação (2.1), chamada de autovetor principal de A , consiste de valores positivos e é única para uma dada constante multiplicativa. De forma para se obter a matriz w única, os valores dessa matriz são normalizados dividindo-os pela sua soma.

A matriz $A = (a_{ij})$, $a_{ij} = w_i / w_j$, $i, j = 1, \dots, n$ tem somente valores positivos e satisfaz a propriedade de reciprocidade, onde $a_{ji} = 1/a_{ij}$. A matriz com essa propriedade é chamada matriz recíproca. Além disso, A é consistente visto que a seguinte condição é satisfeita: $a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}$, $i, j, k = 1, \dots, n$.

Em um problema de decisão os valores de w_i/w_j não podem ser definidos precisamente, mas somente estimados pelos tomadores de decisão, resultando em pequenos erros de julgamento. Pequenas perturbações em um autovalor simples, conforme verificado em n quando A é consistente, leva a um problema de autovalores do tipo:

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (2.2)$$

Onde λ_{\max} é o principal autovalor de A e $(\lambda_{\max} - n)$ mede o desvio dos valores de w_i/w_j de uma aproximação consistente.

A solução da equação (2.2) acima pode ser dada por:

$$(A - \lambda_{\max} \cdot I) \cdot w = 0 \quad (2.3)$$

Com base nas equações acima, Saaty (1990) define um índice de consistência (CI, do termo de inglês *Consistence Index*) para avaliação dos valores obtidos na equação (2.3), que é dado por:

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (2.4)$$

Saaty (2008) apresenta valores de CI para serem utilizados como referência, os quais foram obtidos como uma média a partir de um grande número de matrizes recíprocas de diversas ordens, conforme apresentado na Tabela 2-1 abaixo.

Tabela 2-1 - Índices de Consistência para avaliação dos resultados do método AHP

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CI _{ref}	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,45	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

n: ordem da matriz

CI: Índice de Consistência

Dividindo-se o valor de CI obtido a partir da equação (2.4) pelos valores de referência de CI apresentados na Tabela 2-1, calcula-se a razão de consistência (CR, do termo em inglês *Consistence Ratio*), conforme apresentado abaixo:

$$CR = CI / CI_{\text{ref}} \quad (2.5)$$

Saaty (1990, 2008) apresenta que valores de CR iguais ou inferiores a 10% indicam um nível de consistência satisfatório. Caso se obtenha valores de CR superiores a 10%, a comparação dos pesos dos critérios deve ser revista, de forma a se aumentar o nível de consistência (i.e. reduzir o valor de CR).

Considerando a determinação das prioridades de um conjunto de n critérios em relação ao objetivo no nível imediatamente superior ao qual estão vinculados, é necessário realizar um número $n.(n - 1)/2$ de comparações em pares das importâncias relativas ($a_{ij} = w_i / w_j$) desses critérios. Essas comparações são feitas inicialmente de forma qualitativa e posteriormente são aplicados valores numéricos que representam a relação de importância entre os critérios utilizando uma escala de valores definida por Saaty (2008), conforme apresentado na Tabela 2-2.

Tabela 2-2 - Escala de importâncias para aplicação do método AHP

Intensidade de Importância em uma Escala Absoluta (a_{ij})	Definição	Explicação
1	Igual importância	Dois atividades contribuem igualmente para o objetivo.
2	Um elemento é ligeiramente mais importante que outro.	NA
3	Um elemento é moderadamente mais importante que outro	Experiência e julgamento favorecem moderadamente uma atividade em comparação com outra
4	Moderado mais	NA
5	Um elemento é fortemente mais importante que outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em comparação com outra
6	Forte mais	NA
7	Um elemento apresenta uma importância muito forte ou demonstrada em relação a outro	Uma atividade é favorecida muito fortemente em comparação com outra; sua dominância é demonstrada na prática.
8	Muito, muito forte	NA
9	Extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade em comparação com outra é da maior ordem possível de afirmação.
Recíprocos dos valores acima	Se uma atividade i apresenta um dos valores acima quando comparada a uma atividade j , então a atividade j apresenta o valor recíproco quando comparado com i .	

Fonte: adaptado de Saaty (2008)

NA: Não aplicável

Utilizando-se os valores apresentados na Tabela 2-2 e a equação (2.3) são obtidos os vetores de prioridades w para cada conjunto n de critérios. Utilizando o valor de λ_{\max} e as equações (2.4) e (2.5) pode-se checar a consistência dos valores obtidos. Caso necessário, a comparação em pares deve ser ajustada para melhorar a consistência dos valores.

2.3 Aspectos e Impactos Ambientais

Na norma NBR ISO 14001 são apresentadas as seguintes definições para aspectos e impactos ambientais (ABNT, 2004a):

- aspecto ambiental: elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente;
- impacto ambiental: qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Em atividades que envolvem a extração e/ou processamento de matérias primas, como no setor de mineração, óleo e gás, siderurgia, alimentícia e outras, são verificados diversos aspectos ambientais, incluindo:

- geração e lançamento de emissões atmosféricas (gases, material particulado);
- geração e lançamento de efluentes líquidos;
- geração e disposição de resíduos sólidos;
- consumo de água;
- consumo de energia; e
- consumo de outros recursos.

Estes aspectos podem estar relacionados a diversos impactos ambientais, conforme apresentado a seguir:

- alteração da qualidade do ar;
- alteração da qualidade de água superficial;
- alteração da qualidade de água subterrânea;
- assoreamento de corpos d'água;
- alteração da qualidade de solos;
- esgotamento de recursos naturais;

- uso / modificação de espaço físico;
- danos à flora e à fauna;
- aquecimento global;
- depleção da camada de ozônio.

Embora a relação entre aspectos e impactos ambientais seja óbvia em alguns casos, pode apresentar mecanismos complexos em outros, demandando uma análise mais completa para estabelecer o vínculo entre causa e efeito. Como exemplo, emissões atmosféricas de partículas sedimentáveis podem levar à contaminação do solo superficial. Através de drenagem pluvial do material sedimentado no solo pode ocorrer contaminação de águas superficiais, levando a danos à flora e à fauna que utilizam dessas águas. Por outro lado, os contaminantes carregados pela água pluvial podem infiltrar e percolar no solo, alcançando o lençol freático e levando à contaminação da água subterrânea. Mais exemplos dessa complexidade podem ser encontrados no trabalho realizado por Holland e Watkiss (2005), que considera para efeito de cálculo impactos ambientais a até 1000 km da fonte de emissões atmosféricas, bem como diversos mecanismos associando as emissões aos impactos.

2.3.1 Identificação de aspectos e impactos ambientais

A identificação de aspectos e impactos ambientais compreende uma das etapas iniciais da implantação de Sistemas de Gestão Ambiental. Na norma ISO 14004 a identificação de aspectos e impactos ambientais é apresentada como um processo contínuo, sendo recomendado levar em consideração as entradas e saídas associadas às atividades, produtos e/ou serviços atuais e passados da organização nessa identificação (ABNT, 2004b). Nessa mesma norma é apresentado que esse processo inclui a identificação de potencial exposição legal, regulamentar e comercial que pode afetar a organização, podendo incluir ainda a identificação de impactos sobre a saúde e segurança das pessoas.

Ressalta-se ainda que na ISO 14004 recomenda-se a avaliação de impactos reais, potenciais, positivos e negativos associados às atividades em estudo, o que inclui dois conceitos pouco explorados em alguns casos, o de possíveis impactos, que pode ser compreendido no conceito de risco, e o de benefícios ambientais gerados pela atividade (ABNT, 2004b).

A identificação de aspectos e impactos ambientais pode envolver trabalhos de campo, incluindo listas de verificação, entrevistas, inspeções e medições diretas, resultados de auditorias anteriores ou outras análises, dependendo da natureza das atividades, seguindo-se a compilação e avaliação das informações levantadas (ABNT, 2004b). Torna-se importante, portanto, que os indivíduos responsáveis pela identificação tenham algum conhecimento prévio das atividades em estudo, bem como das características ambientais locais, de modo planejar as atividades de levantamento de informações de forma objetiva e abrangente o suficiente para cobrir os aspectos e impactos ambientais mais relevantes associados à atividade em questão.

2.4 Indicadores de performance ambiental

A avaliação da performance ambiental de uma organização consiste em um processo no qual são selecionados e monitorados indicadores que representam aspectos físicos e gerenciais associados à sua gestão ambiental (ABNT, 2004b). Tais indicadores devem ser quantificáveis, possibilitando que a organização possa obter valores numéricos sobre os aspectos físicos e gerenciais supracitados e que possa comparar esses resultados com critérios de performance estabelecidos caso a caso.

Segundo Olsthoorn (2000), o gerenciamento e tomada de decisão envolvendo questões complexas requer métodos para representação dessas questões através de unidades simples de medida, o que denomina como indicadores, ou informações condensadas para a tomada de decisão.

Berkhout (2001) pondera que indicadores de performance ambiental podem ser utilizados pelas partes interessadas no negócio de diferentes maneiras:

- gestores de negócios utilizam indicadores de performance ambiental como ferramenta de gerenciamento interno e para comunicação externa;
- bancos e seguradoras examinam os indicadores de performance ambiental das empresas para auxiliar na avaliação de riscos econômicos de longo prazo;
- gerenciadores de fundos utilizam critérios ambientais para responder a demandas para incorporação de preocupações ambientais e éticas em decisões de investimentos;

- responsáveis por formulação de políticas podem avaliar a efetividade de diferentes instrumentos políticos na melhora da performance ambiental de empresas;
- grupos ambientais comparam o perfil ambiental de empresas a fim de exercer pressão política naquelas com baixa performance;
- vizinhos observam qual a extensão de danos causados por uma empresa no meio ambiente local;
- pesquisadores analisam o desenho e tendências para melhorar o entendimento das causas de alta e baixa performance ambiental.

O *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA, 2006) destaca alguns benefícios relacionados ao gerenciamento e reportagem da performance ambiental de uma empresa com o uso de indicadores:

- economias e ganhos de produtividade: através da redução do uso de energia e matérias primas, redução de custos com gerenciamento de emissões, efluentes e resíduos, redução dos custos de seguros para cobrir riscos e passivos, etc. Segundo o DEFRA (2006), o setor de indústria no Reino Unido poderia economizar de dois a três bilhões de libras esterlinas por ano, equivalente a sete por cento dos lucros desse setor, caso adotasse melhores práticas para a minimização de resíduos, que envolveriam investimentos mínimos;
- aumento de vendas: associado à melhora da reputação da empresa com seus clientes;
- status de fornecedor preferencial: grandes empresas têm dado preferência a fornecedores com boa performance ambiental. Segundo o DEFRA (2006), setenta e quatro por cento da população do Reino Unido admite que mais informações sobre o comportamento ético e social das empresas influenciaria em suas decisões de compra;
- aumento da atratividade para investimentos: verifica-se que empresas com boa performance ambiental são mais atrativas para investidores.
- inovação em serviços e produtos: a mensuração e gerenciamento dos impactos ambientais causados por uma empresa pode auxiliar no desenvolvimento de seus produtos e serviços;

- diferencial no recrutamento de funcionários: uma boa reputação e performance ambiental pode ser um fator importante para profissionais na escolha da empresa para qual querem trabalhar. Segundo o DEFRA (2006), três em cinco pessoas pesquisadas nas vinte maiores economias do mundo desejam trabalhar em empresas cujos valores são consistentes com os seus;
- maior facilidade na obtenção de licenças: a redução de impactos ambientais, minimizando o número de multas e divergências com órgãos ambientais, pode ajudar no relacionamento com tais órgãos, facilitando a obtenção e renovação de licenças.

A utilização de indicadores para a avaliação da performance ambiental de organizações é objeto da norma ISO 14031, que define diretrizes para seu uso. Nessa norma a avaliação de performance ambiental é apresentada como um processo sujeito à melhoria contínua, seguindo os moldes do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check and Act*). Nesse processo a fase de planejamento (*Plan*) envolve a seleção de indicadores para a avaliação de performance, a fase de realização (*Do*) envolve o levantamento, compilação, avaliação e reportagem / comunicação de informações, e as fases de checagem e ação corretiva (*Check and Act*) envolvem revisão e, se necessário, modificações no processo de avaliação ambiental (ISO, 2004).

Ressalta-se, entretanto, que nessa norma não são estabelecidos níveis de performance, como o que ocorre com padrões estabelecidos em legislação (e.g.: concentração máxima de determinado parâmetro nas emissões de uma empresa), os quais são compulsórios. Além disso, os itens apresentados na ISO 14031 não são sujeitos à certificação, como o que ocorre com sistemas de gestão ambiental, que podem ser certificados em caso de conformidade com os requisitos estabelecidos na norma ISO 14001 (ISO, 2004).

Na norma ISO 14031 são apresentados indicadores para avaliação de performance ambiental agrupados em (ISO, 2004):

- indicadores de performance ambiental:
 - indicadores de performance gerencial: informações sobre o esforço gerencial das empresas para influenciar sua performance ambiental. Exemplos incluem indicadores para representar:

- a implantação de políticas e programas ambientais (e.g. número de indivíduos contratados treinados, número de iniciativas de prevenção de poluição implementadas, etc.);
 - a conformidade da organização com um determinado requerimento ou expectativa (e.g. nível de atendimento à legislação; número de auditorias realizadas versus planejadas, etc.);
 - a relação entre a performance ambiental e financeira da organização (e.g. retorno do investimento em projetos relacionados a melhorias ambientais, economias devido à redução do uso de energia, prevenção da poluição, reciclagem de resíduos, etc.);
 - a resposta da comunidade local para as questões ambientais influenciadas pela organização (e.g. número de reclamações sobre questões relacionadas ao meio ambiente, número de relatórios sobre a performance ambiental da empresa, etc.);
- indicadores de performance operacional: informações sobre a performance ambiental das operações das empresas. Exemplos incluem indicadores para representar performance ambiental relacionada a:
- uso de materiais e energia nas operações da organização (e.g. quantidade de água utilizada por quantidade de produto, quantidade de energia proveniente de queima de combustível utilizada por unidade de produto, etc.);
 - serviços utilizados para suportar as operações da organização (e.g. quantidade de produtos de limpeza utilizados por prestadores de serviços, etc.);
 - instalações e equipamentos utilizados na operação da organização (e.g. número de horas por ano que uma peça de um equipamento está em operação, área utilizada para produção de uma unidade de energia, etc.);
 - produtos e subprodutos gerados pela organização (e.g. número de produtos que podem ser reutilizados ou reciclados, etc.);
 - resíduos gerados, emissões liberadas para a atmosfera ou efluentes lançados em corpos receptores oriundos das operações da organização (e.g. quantidade de resíduo gerado por unidade de

produto, quantidade de um parâmetro específico lançado junto com efluentes durante o ano, etc.);

- indicadores de condições ambientais: informações sobre as condições do meio ambiente. Exemplos incluem indicadores para representar as condições de:
 - água superficial e subterrânea, solo e ar local (e.g. concentração de um determinado parâmetro na água, ar ou solo, etc.);
 - flora e fauna locais (e.g. número total de espécies de flora e fauna, etc.);
 - população local (e.g. longevidade da população, níveis de chumbo no sangue da população, etc.);
 - patrimônio estético e cultural local (e.g. condições de estruturas sensíveis à corrosão, etc.).

O relatório técnico ISO 14032 apresenta uma série de exemplos que ilustram a avaliação de performance ambiental com o uso de indicadores, abrangendo diversos tipos de organização (indústrias de vários setores, organizações governamentais, empresas prestadoras de serviços), diferentes portes (pequenas, médias e grandes empresas) e diferentes localizações geográficas (ISO, 1999). Hunkeler, et al. (2002) reportam que em um estudo foram identificados vinte e quatro categorias e cento e quinze indicadores de performance ambiental relevantes para o setor de produção de alumínio.

Segnestam (1999) pondera que dada a diversidade de problemas ambientais, a variedade de contextos em que ocorrem e as inúmeras possibilidades de solução para tais problemas, não existe um grupo de indicadores que possa ser definido como correto.

Diante da grande diversidade de indicadores, a empresa deve selecionar aqueles que melhor representem suas atividades e cujos dados possam ser obtidos de maneira técnica e economicamente viável. Wehrmeyer et al. (2001) argumentam que uma representação aproximada, e não uma precisa, é suficiente para descrever a performance ambiental de empresas, apresentando em seu estudo o caso do setor de papel e celulose em seis países da Europa (Áustria, Bélgica, Alemanha, Itália, Holanda e Reino Unido), para o qual a utilização de 32 indicadores em algumas empresas não produzira resultados muito diferentes da utilização de apenas 8 em

outras, devido principalmente à falta de dados e pouca representatividade de alguns dos indicadores utilizados nos casos com maior número.

Segnestam (1999) pondera que na seleção de indicadores de performance ambiental deve-se considerar:

- limitação do número de indicadores: um pequeno grupo de indicadores bem selecionados tende a ser a abordagem mais efetiva;
- clareza na definição de indicadores: evitar interpretações errôneas na sua avaliação;
- custos para levantamento de informações: viabilizar financeiramente a utilização dos indicadores;
- qualidade e confiabilidade dos dados: caso os dados que alimentarão os indicadores não sejam confiáveis, sua utilização ficará comprometida;
- escalas de tempo e espaço apropriadas: visto que as escalas em que determinadas questões ambientais são verificadas são diferentes (e.g.: efeitos de alteração da qualidade do ar usualmente são verificados a distâncias maiores e com duração inferiores a efeitos de alteração da qualidade de solo), pode ser necessária a utilização de indicadores em escalas diferentes.

2.4.1 Utilização de indicadores ambientais em Balanced Scorecard

O Balanced Scorecard é uma ferramenta para gestão estratégica, que utiliza de modo balanceado indicadores financeiros e não financeiros, estabelecendo as relações de causa e efeito entre esses indicadores. Normalmente apresenta de forma resumida a estratégia de uma empresa distribuída em quatro perspectivas: (i) financeira, (ii) clientes, (iii) processos internos e (iv) aprendizado e crescimento (MONTEIRO et al., 2003).

Monteiro et al. (2003) argumentam que indicadores de performance ambiental podem ser incorporados em Balanced Scorecards de empresas como uma forma de incluir a variável ambiental em seu planejamento estratégico. Para isso, apresentam quatro possibilidades:

- distribuição de indicadores de performance ambiental dentre as quatro perspectivas do Balanced Scorecard, o que denomina como “esverdeamento” de indicadores originalmente não ambientais;

- a inclusão de uma quinta perspectiva, exclusiva para o meio ambiente;
- a inclusão de indicadores de performance ambiental apenas na perspectiva de processos internos; e
- a criação de um Balanced Scorecard exclusivo para o departamento de meio ambiente das empresas.

Segundo os autores supracitados, a distribuição de indicadores de performance ambiental dentre as quatro perspectivas do Balanced Scorecard é mais interessante que a inclusão de uma quinta perspectiva exclusiva para o meio ambiente, pois mantém a sua estrutura compacta, o que é um dos principais atrativos do Balanced Scorecard, e propicia o envolvimento de todas as áreas da empresa na questão ambiental. Monteiro et al. (2003) ponderam ainda que essas duas possibilidades não excluem a alternativa de criação de um Balanced Scorecard exclusivo para o departamento de meio ambiente.

2.4.2 Indicadores de Sustentabilidade

Indicadores tradicionais utilizados para representar questões ambientais, econômicas e sociais são utilizados para medir variações em cada uma dessas esferas, independentemente das outras. Indicadores de sustentabilidade apresentam uma evolução em relação aos indicadores tradicionais por incorporar as interconexões entre as questões ambientais, econômicas e sociais. Dessa forma, indicadores de sustentabilidade tendem a refletir melhor o que acontece na realidade, onde essas três esferas estão intimamente relacionadas umas as outras. Essas interconexões estão relacionadas, por exemplo, a alterações econômicas e sociais resultantes de perturbações no meio ambiente (e.g. fluxo migratório devido à degradação ambiental de uma área), alterações no meio ambiente e sociais resultantes de perturbações econômicas (e.g. criação de favelas em áreas ambientalmente sensíveis devido à instalação de uma empresa próxima), dentre outras.

Dentre outros usos, indicadores de sustentabilidade podem ser utilizados para (SUSTAINABLE MEASURES, 2007):

- auxiliar no monitoramento da saúde de uma população, de forma que tendências negativas possam ser identificadas e gerenciadas antes de se tornarem um problema;

- auxiliar na definição e acompanhamento de políticas públicas que envolvam questões econômicas, ambientais e sociais.

Na página do *Sustainable Measures* (2007) são apresentados alguns exemplos de indicadores tradicionais e de sustentabilidade correspondentes, sendo destacada a ênfase desse último, conforme exemplificado na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 - Exemplos de indicadores de sustentabilidade e comparação com indicadores tradicionais

Indicadores tradicionais	Indicadores de sustentabilidade	Ênfase dos indicadores de sustentabilidade
Renda média per capita (indicador econômico)	Número de horas trabalhadas pagas com um salário médio necessárias para suportar necessidades básicas	- O que o salário pode comprar - Definir as necessidades básicas em termos de consumo sustentável
Níveis de poluição no ar ou água (indicador ambiental)	- Uso e geração de materiais tóxicos (na produção e no uso final) - Distância percorrida por veículos.	Mensuração de atividades que causam poluição
Número de eleitores registrados (indicador social)	Número de eleitores que votaram nas eleições	Participação no processo democrático

Fonte: adaptado de Sustainable Measures (2007)

2.5 Riscos

O conceito de risco pode ser definido genericamente como a possibilidade de ocorrência de um evento (GUIMARÃES, 2003). Floyd e Footitt (1999) apresentam dez métodos diferentes para o cálculo de riscos, todos envolvendo os conceitos de probabilidade (da ocorrência do evento) e de severidade (das consequências do evento), podendo ser representado de forma genérica como:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Severidade}$$

2.5.1 Probabilidade

Segundo Faucheux and Froger (1995), a maioria dos problemas ambientais está em um contexto de incerteza, que pode ser expressa em quatro diferentes categorias dependendo do nível de informação sobre a distribuição de probabilidade associada à ocorrência de um evento:

- certeza: definida como a situação que possui uma única e totalmente confiável distribuição de probabilidade, reduzida a um único valor;
- incerteza fraca: descrito como risco, é definida por uma única distribuição de probabilidade que é aditiva e totalmente confiável;
- incerteza forte: é definida por distribuição de probabilidades não aditivas e/ou por várias distribuições de probabilidade que não são totalmente confiáveis;
- ignorância: é definida como a ausência de uma distribuição de probabilidade confiável.

Guimarães (2003) apresenta quatro definições de probabilidades:

- definição clássica;
- definição axiomática (ou média contável);
- frequência relativa; e
- verossimilhança (ou probabilidade subjetiva).

Segundo esse autor, a definição clássica corresponde à definição mais corrente, podendo ser denominada como “instintiva”. A probabilidade nesse caso corresponde à razão entre o número de alternativas que interessam ao experimento, N_A , e número de alternativas passíveis de realização, N , podendo ser representada por $P(A) = N_A/N$. Um exemplo dessa probabilidade é a chance de acerto de números em jogo de dados. Considerando-se um dado com seis lados, cada um com um número de 1 a 6, a probabilidade de tirar um número qualquer, 2 por exemplo, em uma única jogada seria de $1/6$.

A definição axiomática pode ser ilustrada pela medida contável, na qual probabilidade é dada pela razão entre o número de objetos particulares contados em uma amostra e número total de objetos observados nessa amostra. Um exemplo disso é a probabilidade de elementos defeituosos em uma linha de produção, que pode ser expressa pela razão entre o número de elementos defeituosos, k , e o número de elementos observados, n , ou seja, $P = k/n$ (GUIMARÃES, 2003).

Na definição de frequência relativa, Guimarães (2003) apresenta que, se um experimento é repetido n vezes, a probabilidade $P(A)$ é definida como o limite da frequência relativa n_A/n quando n tende a infinito, ou seja:

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} (n_A/n).$$

Um exemplo da utilização dessa probabilidade é a determinação da frequência de falha de um determinado tipo de equipamento, que pode ser obtida através do número de falhas observada em um longo período de operação (vários anos). Nesse caso é comum somar os períodos de operação de vários equipamentos do mesmo tipo operando sob condições semelhantes, de forma a se obter um número de experimentos, observações diárias por exemplo, suficientemente elevado para ter representação estatística.

A verossimilhança, ou probabilidade subjetiva, representa a medida da confiança que pode ser dada a uma proposição incerta, usualmente derivada da reflexão e análise do cenário no qual esta probabilidade está inserida (GUIMARÃES, 2003). Dessa forma, é comum que diferentes analistas associem probabilidades distintas a uma proposição, dependendo de seu julgamento.

De acordo com Siegel et al. (2010) uma pessoa está certa de alguma coisa se ele/ela tem confiança sobre seu conhecimento relativo a uma questão específica, e incerta se lhe falta confiança sobre seu conhecimento relativo a essa questão. Segundo esse mesmo autor, a incerteza envolvida em processos decisórios envolvendo riscos ambientais é de natureza subjetiva, de forma que o uso de probabilidade subjetiva seria mais apropriado para tais processos.

Segundo Clemen (1996), probabilidades podem apresentar natureza contínua, quando há um número infinito de possibilidades de resultados, ou natureza discreta, quando o número de possíveis resultados é finito. Esse autor apresenta os seguintes métodos para a representação numérica da probabilidade subjetiva de natureza discreta:

- indicação direta: o tomador de decisão informa diretamente o seu grau de confiança sobre a ocorrência de um evento;
- métodos baseados em apostas:
 - método de apostas: o tomador de decisão é questionado sobre as apostas que estaria disposto a fazer a respeito de um resultado,

considerando possibilidades de ganhos e perdas financeiras (i.e., dois tipos de apostas). Através de ajustes sucessivos nos valores das apostas, a ideia é encontrar uma quantidade específica que o tomador de decisão estaria disposto a ganhar ou perder de forma que ele fique indiferente em relação ao tipo de aposta (ganho ou perda). A partir desses valores são calculadas as probabilidades;

- método de loterias equivalentes: o tomador de decisão é questionado sobre a preferência entre dois jogos de loterias que apresentam prêmios diferentes. Através de ajustes sucessivos nas probabilidades de uma das loterias, a ideia é encontrar um valor específico de probabilidade que faça com que o tomador de decisão fique indiferente às duas loterias.

Segundo Clemen (1996), valores de probabilidade subjetiva obtidos por qualquer dos métodos acima devem obedecer às regras de probabilidade objetiva, incluindo que os valores devem estar entre 0 e 1 e que a soma das probabilidades de eventos mutuamente exclusivos deve ser igual a 1.

2.5.2 Severidade

No conceito de risco a severidade representa o grau das consequências de um evento, e pode ser aplicada a uma série de categorias, como pessoas, meio ambiente, bens, propriedade, dentre outros (GUIMARÃES, 2003). Em alguns casos a severidade compreende além do conceito de intensidade (o quanto um receptor é afetado), a abrangência (qual a extensão ou quantos receptores são afetados).

Na categoria de pessoas, as consequências podem ser expressas, por exemplo, como danos à saúde, devido à exposição a agentes tóxicos ou cancerígenos, e à segurança, decorrente de eventos acidentais. Nesse último caso, pode-se expressar os danos pelo número e intensidade de injúrias (lesões leves, severas, etc.) e número de fatalidades decorrentes do evento acidental.

Na categoria de meio ambiente, as consequências podem ser representadas, por exemplo, pelos impactos ambientais, conforme apresentado na Seção 2.3. Nesse caso, a severidade dos impactos pode ser expressa, por exemplo, pela modificação causada no meio, expressa por indicadores de condições ambientais, conforme apresentado na Seção 2.4.

Para a categoria de bens e propriedades a severidade pode ser expressa, por exemplo, pelo número de instalações afetadas ou destruídas por um evento, podendo ser utilizados em indicadores financeiros, ou seja, o custo para reformar/refazer as instalações até o seu estado original.

Além das consequências a bens e propriedades, indicadores financeiros, expressos através de números absolutos (reais, dólares, etc.) ou normalizados (percentual do faturamento, do lucro, etc.), podem ser utilizados para representar a severidade das consequências a pessoas e ao meio ambiente.

2.6 Custos Ambientais

Moraes (2005) apresenta a contabilidade como a principal fonte de informação para fins de tomada de decisão, pois permite evidenciar a composição patrimonial de bens, direitos e obrigações de várias categorias, homogeneizando-os por meio da mensuração monetária. Nesse contexto, torna-se cada vez mais importante o conhecimento e análise de custos ambientais, que podem corresponder a parcelas significativas dos custos totais das empresas. No documento *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool* preparado pelo American Institute of Chemical Engineers (AIChE) são apresentados exemplos que ilustram essa significância, como o caso de uma refinaria da Amoco Petroleum, cujos custos ambientais correspondiam a pelo menos 22% dos custos operacionais, e de uma planta de pesticidas da DuPont, cujos custos ambientais representavam 19% dos custos totais de manufatura (AIChE, 1999).

Segundo Kraemer (2004), os custos ambientais representam todo empenho e todo o esforço direta ou indiretamente vinculado a qualquer gasto, independentemente de desembolso, relativo a bens ou serviços que visem, única e exclusivamente a preservação do meio ambiente.

Enquanto alguns custos, como os incorridos com monitoramento e equipamentos de controle da poluição, são claramente ambientais, outros podem estar situados na fronteira entre custos ambientais e outros tipos de custos, como operacionais, pesquisa e desenvolvimento, dentre outros. Como exemplo, um investimento em um novo equipamento que reduza o consumo de energia de uma empresa pode ser visto como operacional, pois reduziria os custos de operação, ou ambiental, pois reduziria o aspecto de consumo de energia. O modo como uma

empresa define um custo ambiental depende de como pretende utilizar esta informação (e.g.: alocação de custos, definição de orçamento, design de processos/produtos ou outras decisões gerenciais). Mais importante que definir como ambientais ou não é garantir que os custos relevantes recebam atenção apropriada na tomada de decisão (U.S. EPA, 1995).

Os custos ambientais podem ser divididos em dois grandes grupos (U.S. EPA, 1995):

- custos privados: afetam somente a empresa geradora de suas causas, que é legalmente responsável por tais custos; e
- custos sociais: também denominados “externalidades”, afetam indivíduos, sociedade e meio ambiente, e não são imputados legalmente à empresa geradora de suas causas. Correspondem a custos impostos a um agente pelas ações de outro agente (SÖDERHOLM & SUNDQVIST, 2003).

Uma vez que a definição de custos privados e sociais depende de questões legais, pode haver variações na fronteira entre esses custos, dependendo das leis aplicáveis e de sua interpretação. Por exemplo, custos hospitalares decorrentes de tratamentos de doenças respiratórias devido a emissões atmosféricas de indústrias, que usualmente são cobertos pelo governo ou pelos indivíduos afetados, sendo, portanto, custos sociais, poderiam, por meio de decisões judiciais, ser imputados às empresas geradoras, passando a ser considerados como custos privados. Isso seria equivalente à internalização de externalidades (MOTTA, 2006).

Os custos ambientais privados podem ser divididos em 4 tipos (U.S. EPA, 1995):

- custos convencionais: custos diretos, incluindo operação e manutenção, que usualmente são considerados na contabilidade das empresas;
- custos potencialmente ocultos: custos indiretos, não alocados a produtos ou processos, que podem ser potencialmente ocultos para gerentes de empresas e não considerados em processos decisórios. Podem ser incorridos antes, durante e após a operação de processos, sistemas e instalações e podem decorrer do cumprimento de regulamentações ou de ações voluntárias;
- custos de contingência: podem ou não incidir em algum momento futuro. São melhor descritos em termos probabilísticos, pelo seu valor esperado, faixa ou probabilidade de exceder um certo valor;

- custos de imagem e relacionamento: também denominados custos “menos tangíveis”, “intangíveis” ou de “imagem corporativa”, afetam subjetivamente (embora de forma mensurável) a percepção de gerentes, clientes, empregados, comunidade e reguladores. Podem ser refletidos em variações do valor de mercado da empresa, maior ou menor dificuldade na obtenção de licenças e empréstimos, dentre outros (WAGNER, 2001).

Na Tabela 2-4 são apresentados exemplos dos custos ambientais privados.

Tabela 2-4 - Exemplos de custos ambientais privados

Tipos de Custos	Exemplos de Custos
Custos Convencionais	Capital de equipamentos; materiais; mão de obra; utilidades, estruturas.
Custos Potencialmente Ocultos	<p><u>Anteriores a operação</u>: Estudos ambientais; preparação do terreno; licenciamento; pesquisa e desenvolvimento; engenharia e aquisições; instalação.</p> <p><u>Regulatórios / conformidade (durante a operação)</u>: Notificação; elaboração de relatórios; monitoramento/testes; estudos/modelagens; remediação; registro de dados; planos; treinamentos; inspeções; manifestos; classificação de resíduos; equipamentos de proteção; vigilância médica; seguro ambiental; seguro financeiro; controle de poluição; resposta a vazamentos; gerenciamento de efluentes pluviais, gerenciamento de resíduos; taxas/impostos.</p> <p><u>Voluntários / além da conformidade (durante a operação)</u>: relação com comunidade; monitoramento/testes; treinamento, auditorias; qualificação de fornecedores; relatórios (e.g.: relatórios ambientais anuais); seguros; planejamento; estudos de viabilidade; remediação; reciclagem; estudos ambientais; pesquisa e desenvolvimento; proteção de habitat; paisagismo; outros projetos ambientais; ajuda financeira a grupos ambientais ou pesquisadores.</p> <p><u>Posteriores a operação</u>: Fechamento/descomissionamento; pós-fechamento (e.g.: monitoramento de áreas contaminadas); levantamentos de campo.</p>
Custos de Contingência	Custos de conformidade futura; multas/penalidades; resposta a liberações acidentais futuras; remediação; danos a propriedades; danos a pessoas; despesas legais; danos a recursos naturais; perdas econômicas.
Custos de Imagem e Relacionamento	Imagem corporativa; relacionamento com clientes (aceitação e fidelidade), investidores, seguradoras, staff profissional, trabalhadores, fornecedores, bancos (empréstimo), comunidades locais, órgãos reguladores.

Fonte: adaptado de U.S. EPA (1995).

No documento *An Introduction to Environmental Accounting as a Business Management Tool: Key Concepts and Terms* preparado pela U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) é enfatizada a necessidade da inclusão dos custos privados nos processos decisórios das empresas, sendo encorajado também a consideração dos custos sociais. É destacado, entretanto, que à medida que se amplia o escopo dos custos ambientais, a empresa pode encontrar maior dificuldade no seu levantamento e mensuração, conforme ilustrado na Figura 2-1 (U.S. EPA, 1995).

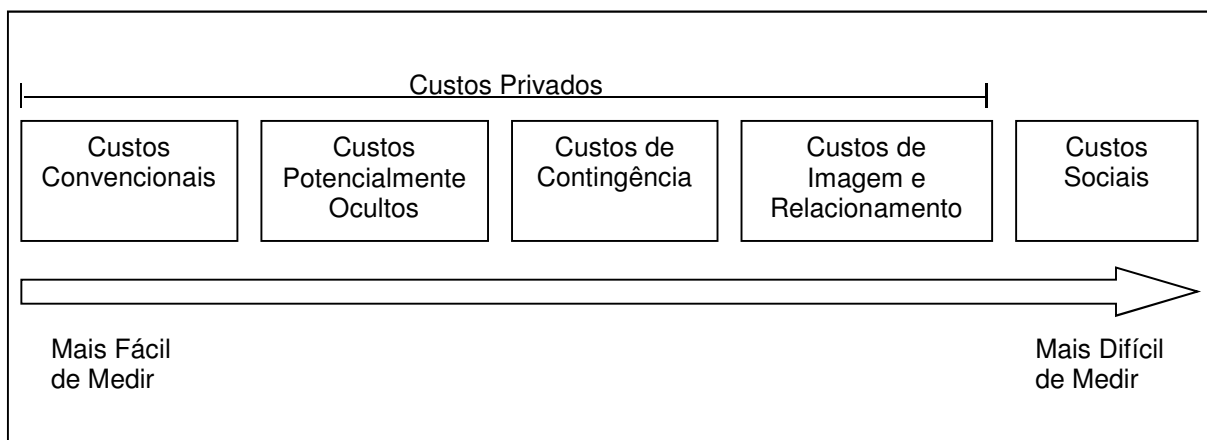


Figura 2-1 – Espectro dos custos ambientais

Fonte: adaptado de USEPA (1995)

2.6.1 Identificação de Custos Ambientais

A seguir são apresentadas considerações sobre a identificação de custos ambientais.

Tipos I e II - Custos convencionais e potencialmente ocultos

Os custos ambientais dos tipos convencionais e potencialmente ocultos geralmente podem ser determinados a partir do sistema de contabilidade interno das empresas, os quais são usualmente específicos para cada companhia (AICHE, 1999).

No Brasil comumente as empresas não diferenciam esses custos em sua contabilidade, considerando-os como parcelas de custos operacionais, ou mesmo desconhecendo-os.

Uma forma aproximada de identificar tais custos ambientais seria imaginar uma mesma empresa operando no contexto ambiental atual e em um contexto hipotético, no qual não haveria restrições ou controles dos órgãos ambientais ou qualquer tipo de conscientização da população sobre o meio ambiente. Nesta situação hipotética, a empresa não necessitaria de estrutura física e de pessoal para prevenção e controle de poluição, não incorrendo nos custos para instalação e manutenção dessa estrutura, monitoramento e elaboração de relatórios ambientais, dentre outros. Esses custos originados devido ao contexto ambiental atual e futuro no qual as empresas estão inseridas poderiam ser classificados como ambientais.

Tipo III - Custos de contingência

Conforme apresentado anteriormente, os custos de contingência podem ser descritos em termos de sua probabilidade de ocorrência e valor esperado. Exemplos de bancos de dados contendo informações sobre valores desse tipo de custos, a maior parte deles preparado pela U.S. EPA, são apresentados no documento *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool* preparado pelo AIChE, onde também são discutidos uma série de fatores que podem influenciar na probabilidade de ocorrência desses custos, incluindo (AIChE, 1999):

- opinião pública, que pode influenciar iniciativas de órgãos reguladores para aumento dos controles sobre as empresas;
- a extensão e toxicidade dos contaminantes no caso de vazamentos acidentais;
- o histórico da empresa em relação a não conformidades;
- a proximidade da empresa de receptores ambientais sensíveis, tais como corpos d'água utilizados para abastecimento, pesca ou recreação, fontes de água subterrânea, habitats protegidos (e.g.: manguezais), etc.;
- a quantidade e toxicidade de resíduos no caso de disposição inadequada;
- o clima regulatório (e.g., um clima apontando para restrição das regulamentações no futuro pode refletir em aumento dos custos).

Tanto os valores esperados quanto a probabilidade de ocorrência dos custos de contingência dependem fortemente da ação dos órgãos reguladores, que determinarão a incidência de tais custos para as empresas. Dessa forma, para a determinação de valores de custos de contingência deve-se priorizar a utilização de

base de dados locais, que reflitam a ação dos órgãos reguladores que atuam sobre a empresa em estudo.

Tipo IV - Custos de imagem e relacionamento

No documento *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool* preparado pelo AICHE são apresentados trabalhos que relacionam custos de imagem e relacionamento a características e eventos com significância ambiental, sendo ressaltado, entretanto, que nenhum dos estudos avaliados quantifica e correlaciona objetivamente os impactos em termos de valor de ações ou custos para as empresas com sua reputação ambiental, registros ambientais, incidentes ambientais passados ou relatórios ambientais. Também é apresentado que não há consenso na relação entre responsabilidade social corporativa com a performance ambiental das empresas. Dentre os trabalhos apresentados a maioria mostra que uma melhor ou pior performance ambiental, expressa por número e severidade de incidentes ou por relatórios ambientais, refletem respectivamente em melhor e pior performance financeira, ilustrada na maioria dos casos em aumento ou redução do valor das ações da empresa, sem, entretanto, haver uma relação matemática que correlacione as duas performances. Nesse documento há ainda referência a outros estudos que afirmam não haver associação entre a performance ambiental e financeira das empresas para os respectivos casos estudados (AICHE, 1999).

A probabilidade de ocorrência de custos de imagem e relacionamento pode ser associada à reputação da empresa, histórico de incidentes ambientais e qualidade do relacionamento da companhia com investidores, bancos, comunidades e órgãos reguladores (AICHE, 1999).

Dessa forma, é possível que duas empresas que gerem um mesmo tipo de incidente ambiental, como um vazamento de certa quantidade de óleo em um determinado corpo d'água, apresentem custos de imagem muito diferentes. Também são conhecidos casos de empresas que tem maior dificuldade e, conseqüentemente, maiores custos na obtenção de licenças ambientais para suas atividades em função de seu histórico e reputação. A forma como informações sobre a performance ambiental das empresas são veiculadas, também pode exercer forte influência nos seus custos de imagem, o que fica evidenciado em casos de acidentes ambientais. O simples fato de o acidente ser ou não veiculado em um

canal de imprensa de grande abrangência, pode resultar em uma variação significativa dos seus custos de imagem.

Tipo V - Custos sociais ou “externalidades”

Os custos sociais podem ser determinados por (ELETROBRAS, 2000):

- quantificação e valoração do dano causado pela atividade geradora dos impactos ambientais, por meio da determinação de funções dose-resposta; ou
- valoração econômica do recurso ambiental.

Metodologias de quantificação do dano – função dose-resposta

As metodologias de quantificação de danos baseiam-se no estabelecimento das relações físicas entre a causa (e.g., emissões atmosféricas) e efeito de um dano ambiental (e.g., corrosão em prédios ou incidência de doenças respiratórias), as quais são denominadas funções dose-resposta. As etapas para aplicação desses métodos consistem resumidamente de (ELETROBRAS, 2000):

- 1 - Identificação e caracterização das emissões de poluentes do empreendimento;
- 2 - Determinação da concentração dos poluentes no meio ambiente (aquático, atmosférico ou solo) através de modelos de dispersão;
- 3 - Estabelecimento da relação quantitativa entre a dose e os efeitos causados pelo poluente (e.g. a exposição a determinada concentração de material particulado por certo tempo – dose – causaria doenças respiratórias – efeito);
- 4 - Cálculo do incremento do risco individual causado pelo poluente (e.g. incremento do risco de doenças respiratórias em indivíduos devido à exposição a determinada concentração de material particulado);
- 5 - Cálculo do incremento do risco total ou coletivo, dado pelo produto do risco individual pela população ou bens patrimoniais e ambientais afetados pelo poluente;
- 6 - Determinação do preço do dano (e.g. custo unitário para tratamento de doença respiratória ou para restauração de um monumento afetado por chuva ácida);
- 7 - Determinação do valor total do dano, dado pelo produto entre o preço do dano e a extensão do impacto (incremento do risco total).

Holland e Watkiss (2005) apresentam uma série de casos que exemplificam a utilização de funções dose-resposta para o cálculo de custos sociais associados a emissões atmosféricas na Europa, os quais são expressos por meio do incremento de custos hospitalares e de fatalidades decorrentes de doenças respiratórias causadas por essas emissões.

No documento *The Benefits and Costs of the Clean Air Act* preparado pela U.S. EPA são utilizadas funções dose-resposta para calcular os custos e benefícios (custos evitados) do “*Clean Air Act*” de 1970 a 1990, compreendendo itens relacionados à agricultura, meio ambiente e saúde humana (U.S. EPA, 1997).

O estabelecimento de funções dose-resposta pode representar uma tarefa árdua e pouco precisa, na medida em que as relações causais em ecologia são ainda pouco conhecidas e de estimativa bastante complexa (ELETROBRÁS, 2000). Como exemplo dessa complexidade, um dos casos abordados pela U.S. EPA compreende o cálculo dos custos adicionais com educação de crianças cujo quociente de inteligência (QI) fora afetado por emissões atmosféricas de chumbo (U.S. EPA, 1997).

Metodologias de Valoração do Meio Ambiente

Embora o uso de recursos ambientais não tenha seu valor reconhecido no mercado, pois tais recursos são públicos e não são comercializados, seu valor econômico existe na medida em que seu uso altera o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade (MMA, 2004).

Nas estimativas de custos sociais, também denominadas externalidades, busca-se levantar e avaliar a variação do “valor econômico do recurso ambiental” (VERA), que é constituído de (ELETROBRÁS 2000):

- “Valor de Uso” (VU): valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo seu uso presente ou pelo seu potencial de uso futuro. Pode ser dividido em:
 - “Valor de Uso Direto” (VUD): valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem estar que ele proporciona através de uso direto (e.g. na forma de extrativismo, visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto);
 - “Valor de Uso Indireto” (VUI): valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício de seu uso deriva de funções

ecossistêmicas (e.g. contenção de erosão, estabilidade climática decorrente da preservação de florestas);

- “Valor de Opção” (VO): valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de futuramente fazer uso do recurso ambiental, de forma direta ou indireta (e.g. o benefício de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas nas florestas tropicais);
- “Valor de Não Uso” (VNU) ou “Valor de Existência” (VE): valor que está dissociado do uso e deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo (e.g. mobilização da opinião pública para salvamento das baleias ou dos ursos panda em regiões que a maioria das pessoas nunca visitará ou terá qualquer benefício de uso).

O valor econômico do recurso ambiental é então dado por:

$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE$$

A medida que passa-se dos valores de uso direto para de não uso aumenta-se a dificuldade de estimar tais valores (MMA, 2004).

As metodologias que possibilitam levantar os valores econômicos dos recursos ambientais podem ser agrupadas conforme apresentado na Figura 2-2 (ELETROBRÁS, 2000).

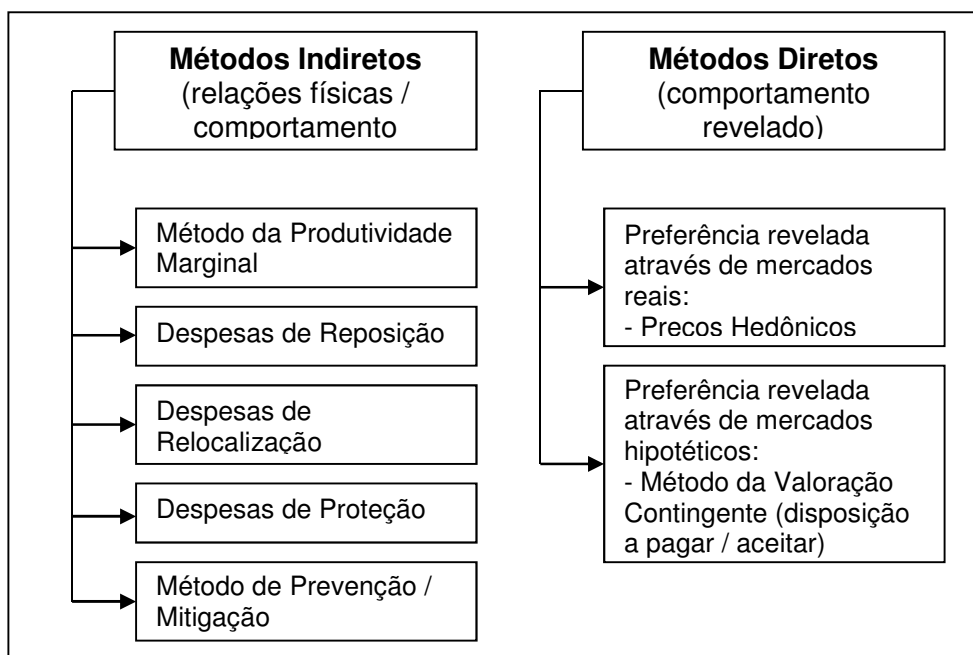


Figura 2-2 – Métodos de valoração ambiental

Fonte: adaptado de ELETROBRAS (2000)

Os métodos de valoração indireta, também denominados métodos de função de produção, podem ser utilizados quando a produção ou consumo de um bem privado for afetada pela variação da quantidade e/ou qualidade de recursos ambientais (ELETROBRAS, 2000).

Os benefícios ou custos da variação da disponibilidade do recurso ambiental são calculados pelo produto entre a variação da quantidade dos bens privados e seu valor de mercado. Por exemplo, a perda de produtividade do solo causada por erosão devido ao desmatamento de áreas adjacentes poderia ser calculada pela variação da produtividade agrícola da área afetada, ou a redução da sedimentação de uma bacia devido a um projeto de revegetação poderia ser expressa pelo aumento da vida útil (produtividade) de uma hidrelétrica instalada no local (MMA, 2004).

Os métodos de valoração direta, também denominados métodos de função de demanda, assumem que a variação da disponibilidade de um recurso ambiental altera a disposição a pagar ou aceitar dos agentes econômicos em relação àquele recurso ou seu bem privado complementar. Por exemplo, os custos de viagem que as pessoas incorrem para visitar um determinado parque podem determinar a disposição a pagar dos indivíduos em relação aos recursos ambientais dessa área (MMA, 2004).

Visto que o aprofundamento teórico dos métodos de valoração ambiental não é objeto desta Tese, são apresentados na Tabela 2-5 apenas alguns exemplos de utilização dos métodos de valoração.

Tabela 2-5 - Exemplos de valoração de recursos ambientais

Método de Valoração	Exemplo
Produtividade marginal	- Valor econômico da perda de produtividade agrícola devido à erosão do solo; - Valor econômico da variação da produtividade das atividades de pesca e turismo devido à alteração da qualidade de corpos d'água.
Despesas de reposição	- Despesas com reposição de nutrientes no solo perdidos devido à erosão; - Despesas com reflorestamento.
Despesas de realocização	- Despesas com mudança do local de captação em um corpo d'água parcialmente contaminado.
Despesas de proteção	- Custos para instalação de isolamento acústico para proteção contra ruídos em grandes cidades.
Despesas de prevenção / mitigação	- Custos para construção de diques para contenção de drenagem pluvial para prevenir erosão do solo.
Preços hedônicos	- Variação do custo de propriedades em função da proximidade de um bem natural conservado (e.g. praia ou floresta); - Variação do salário em função da presença de condições ambientais adversas (e.g. poluição atmosférica).
Custos de viagem	- Custos que indivíduos incorrem para visitar um parque nacional.
Valoração contingente	- Disposição a pagar para garantir a qualidade da água de um rio (pagamento de uma taxa hipotética); - Disposição a aceitar pelo desmatamento de uma floresta (recebimento de uma compensação hipotética).

Fonte: adaptado de MMA (2004)

Durante a pesquisa bibliográfica verificou-se que os métodos de produtividade marginal e de valoração contingente apresentam-se como os mais frequentes em estudos de valoração ambiental.

A utilização do método de produtividade marginal depende do estabelecimento de funções de produção correlacionando a variação da quantidade / qualidade do recurso ambiental e a variação da quantidade do bem privado, o que, conforme discutido para o caso de funções dose-resposta, pode ser uma tarefa complexa (ELETROBRAS, 2000).

Um exemplo dessa complexidade pode ser ilustrado por um dos estudos de caso apresentados no documento *Manual de Valoração Ambiental* preparado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), no qual tentou-se correlacionar matematicamente a população de uma determinada espécie de lagartos nas Antilhas, que atua como predador de pestes que afetam a agricultura, com a produtividade agrícola da região. Nesse estudo de caso não é obtida uma função dose resposta que pudesse ser aplicada para representar essa relação (MMA, 2004).

O método de valoração contingente é a única técnica com potencial de captar o valor de existência, porém envolve custos elevados de pesquisa, que podem ser superiores a US\$ 100 mil para estudos simples (KAHN, 2001).

Esse método baseia-se na aplicação de questionários específicos sobre a disposição a pagar pela manutenção ou melhora na qualidade ou disponibilidade de um recurso ambiental, ou a disposição a aceitar pela redução dessa qualidade / disponibilidade. A grande crítica a esse método, entretanto, é sua limitação em captar valores ambientais que indivíduos não entendem, ou mesmo desconhecem (e.g., ursos panda na China) e o caráter hipotético da pesquisa, que pode levar os entrevistados a superestimar valores por saberem que na realidade não vão arcar com os custos apresentados na pesquisa (MMA, 2004).

2.7 Tomada de Decisões Baseada em Questões, Riscos e Custos Ambientais

Primeiramente, deve-se ressaltar que a incorporação de questões, riscos e custos ambientais no processo de tomada de decisão não soluciona a questão da escolha de alternativas, mas sim fornece informações adicionais ao tomador de

decisões que, juntamente com outras informações técnicas, financeiras, políticas, etc., lhe possibilitam uma análise mais abrangente do problema. A palavra final no processo decisório caberá aos tomadores de decisão.

Shields et al. (1997) apresentam que as cinco empresas dos ramos de química e óleo e gás avaliadas em seu estudo utilizam custos ambientais e complementarmente indicadores não financeiros em seus processos de tomada de decisão. Esse autor argumenta ainda que ao nível de plantas industriais os indicadores não financeiros são mais úteis, pois podem ser levantados de maneira mais ágil que os custos ambientais, atendendo a demanda de decisões imediatas, normalmente presenciada nas indústrias. À medida que se sobe nos níveis de tomada de decisão, os custos ambientais passam a ter um papel mais importante, pois permitem agregar informações de várias áreas e o processo decisório pode ter prazo mais longo, possibilitando o levantamento desses custos.

A utilização de índices não financeiros para incorporar fatores ambientais no processo de tomada de decisão usualmente se faz por meio do uso de indicadores de performance ambiental, discutidos na Seção 2.4.

Na metodologia de análise de ciclo de vida (ACV), onde são inventariados os aspectos e impactos ambientais gerados por um produto desde seu berço (extração das matérias primas) até seu túmulo (disposição final do produto após seu uso), indicadores de impacto ambiental são utilizados para avaliar alternativas que possibilitem a redução desses impactos ambientais, como novas rotas de produção ou alteração de matéria prima (KULAY, 2000).

Nos casos de utilização de indicadores não financeiros, os tomadores de decisão usualmente buscam a redução ou não aumento dos aspectos e impactos ambientais associados a suas empresas.

No documento *Background Paper On Valuing Environmental Benefits and Damages in the NIS: Opportunities to Integrate Environmental Concerns into Policy and Investment Decisions* preparado pela Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) são apresentados alguns casos de utilização de custos e benefícios ambientais no processo de priorização de investimentos públicos, onde são utilizadas algumas das metodologias de identificação de custos ambientais apresentadas na Seção 2.6.1. Nesse trabalho é ressaltado que dentre as alternativas avaliadas em cada caso, uma é a “não ação”, cujos custos associados correspondem às perdas financeiras decorrentes da não mudança do cenário atual (e.g., continuar

com altos custos com internações hospitalares devido a doenças respiratórias agravadas por poluição atmosférica) (OECD, 2000).

Dentre os trabalhos pesquisados durante a revisão bibliográfica, o que mostrou-se mais completo em termos de compreender questões, riscos e custos ambientais foi o *Total Cost Assessment* (TCA) do AIChE, cuja metodologia é apresentada no documento *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool* (AIChE, 1999). Essa metodologia é apresentada resumidamente a seguir.

2.7.1 Total Cost Assessment - TCA

Esta metodologia compreende a consideração de um amplo espectro de custos e benefícios ambientais, incluindo alguns normalmente não contabilizados pelas empresas, no processo de tomada de decisão. Consiste, em uma definição genérica, em uma análise custo-benefício para avaliação de alternativas.

Nesse trabalho os custos ambientais são classificados conforme definições da U.S. EPA, apresentadas na Seção 2.6, em tipos de I a V, correspondendo a:

- I - custos diretos (convencionais);
- II – custos potencialmente ocultos;
- III – custos de contingência;
- IV - custos intangíveis internos (imagem e relacionamento); e
- V – custos externos (sociais).

O procedimento para aplicação da metodologia do TCA consiste em sete etapas:

- 1 - Definição da decisão e de seu escopo: descrição da decisão a ser avaliada ou projeto, seus objetivos, restrições e alternativas de decisão;
- 2 - Detalhamento das questões ambientais envolvidas na decisão: identificação e descrição dos aspectos e impactos ambientais envolvidos em cada alternativa;
- 3 - Identificação de riscos potenciais que podem gerar custos do tipo III, IV e V: identificação de cenários de riscos compreendendo incertezas internas (e.g. liberações acidentais) e externas (e.g. mudanças na legislação) e os possíveis custos incorridos (e.g. multas, remediação) associados a cada alternativa;

- 4 - Condução do inventário de custos: identificação dos custos dos tipos I a V associados a cada alternativa e definição das probabilidades a serem aplicadas aos cenários de risco.
- 5 - Condução da avaliação de impactos: determinação das maiores contribuições para os custos em cada alternativa e quais serão incorporados na análise, em função da sua confiabilidade, parcela de contribuição e entendimento por parte dos tomadores de decisão;
- 6 - Documentação dos resultados;
- 7 - Feedback para os tomadores de decisão da empresa: os resultados do TCA são incorporados no processo decisório, juntamente a outras informações.

De forma a ilustrar a aplicação do TCA, no documento *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool* é apresentado um exemplo hipotético envolvendo o cálculo dos custos associados a dois tipos de resíduos em uma indústria, um cuja disposição seria feita por meio de incineração na própria indústria (resíduo 1) e outro cuja disposição seria feita externamente em um aterro (resíduo 2). O objetivo da decisão no exemplo é a minimização dos custos de disposição e de potenciais responsabilidades futuras (e.g., remediação), por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para a redução da geração do resíduo associado ao maior custo ambiental.

Inicialmente são considerados na análise os custos do tipo I e II associados a cada resíduo, compreendendo uma parcela de custos administrativos corporativos, depreciação, serviços internos e externos, mão de obra, utilidades e matérias primas necessárias às duas rotas de disposição. Nessa primeira análise obteve-se custo total e unitário (normalizado por unidade de massa dos resíduos) para o resíduo 1 superior ao resíduo 2. Em um segundo momento, quando são incorporados custos dos tipos III, IV e V, incluindo aqueles relacionados a restrições da legislação de emissões atmosféricas (afeta a incineração), não conformidades ambientais, perda de mercado devido à imagem, custo do reflorestamento da área utilizada para o aterro, o resíduo 2 passa a apresentar custos mais elevados, sendo priorizado para alocação de recursos de pesquisa e desenvolvimento.

Embora esse seja um exemplo hipotético, ilustra a questão de que uma análise mais ampla dos custos associados a cada alternativa pode mostrar resultados diferentes daqueles obtidos em uma análise convencional, o que pode alterar a tomada de decisão.

Cabe ressaltar que os autores deixam a critério do usuário a inclusão dos custos do tipo V, visto que as externalidades, por definição, não impactam o desempenho financeiro das empresas geradoras desses custos. Um outro aspecto notado é quanto aos valores de probabilidade aplicados aos riscos considerados na análise, que não justificados, sendo possivelmente do tipo verossimilhança (probabilidade subjetiva).

No TCA todos os custos são avaliados em termos de seu valor presente. Dessa forma, os potenciais custos futuros são trazidos para o valor presente por meio da aplicação de taxas de desconto, conforme equação:

$$VP = VF \cdot (1/(1+r)^t) \quad (2.6)$$

onde:

VP = valor presente

VF = valor futuro;

r = taxa de desconto,

t = período de tempo

Kahn (2001) enfatiza a importância da taxa de desconto escolhida, visto que maiores taxas de desconto implicam em menores valores presentes de um custo futuro, tornando-o menos importante quando comparado com custos presentes. Esse fator torna-se mais relevante quando se avalia decisões com implicações em longo prazo, sendo sugerida pelo autor nesse caso a utilização de taxas de desconto baixas, como um ou dois por cento ao ano.

2.8 Considerações sobre a Revisão Bibliográfica

Apresenta-se a seguir algumas considerações sobre as informações levantadas durante a pesquisa bibliográfica:

- a tomada de decisão, que em muitos casos é intuitiva, pode ser melhorada estruturando-se o processo decisório, pois pode-se trabalhar com as informações envolvidas nessa decisão de forma mais ordenada. Embora para casos simples de decisões cotidianas a estruturação do processo decisório possa ser considerada como desnecessária, para situações complexas, onde o número de variáveis envolvidas no processo decisório é elevado, mostra-se bastante eficiente, justificando-se o esforço para essa estruturação;

- a análise multicritério para suporte à tomada de decisão apresenta-se como uma alternativa bastante promissora para a avaliação de problemas de decisão corporativos, por possibilitar a análise de forma ordenada das diversas variáveis envolvidas nesses problemas. Dentre os métodos de análise multicritério, o método AHP é um dos mais utilizados, tendo sido escolhido para o desenvolvimento da metodologia proposta nesta Tese;
- em relação aos aspectos e impactos ambientais, verificou-se que ainda há divergências em alguns casos, especialmente na sua identificação e forma de expressão. Embora existam normas que orientem esses trabalhos, não foi verificado um padrão nos processos de identificação e na expressão dos aspectos e impactos ambientais;
- o conceito de risco é abrangente, porém envolve em sua essência severidade e probabilidade. Verificou-se que a aplicação do conceito de risco é fundamental em processos decisórios, visto que tais processos envolvem incertezas que são melhor expressadas em termos de risco;
- a valoração ambiental mostra-se como uma promissora ferramenta para expressar as questões ambientais em uma linguagem de uso comum, a financeira no caso. Entretanto, a complexidade envolvida no levantamento dos custos ambientais mostra-se como um fator limitante da sua plena utilização como elemento de gestão; e
- as metodologias para auxílio à tomada de decisão envolvendo questões e riscos ambientais identificadas focam quase que exclusivamente os custos que essas questões e riscos representam, o que envolve a limitação da valoração ambiental, discutida anteriormente. Verifica-se, portanto, que tais metodologias poderiam ser complementadas, de forma a envolver elementos além de custos ambientais, que possam suprir parte da deficiência verificada na valoração ambiental.

3 BASES PARA A METODOLOGIA PROPOSTA

A fim de estabelecer as bases para o desenvolvimento da metodologia para suporte à tomada de decisão proposta nesta Tese, primeiramente foi feito um levantamento sobre questões de imagem corporativa, visto que este foi um elemento novo incorporado na metodologia proposta em relação a outras existentes. Em seguida foram analisadas as interações entre as atividades de uma empresa, os riscos ambientais associados, e como esses riscos podem afetar a sustentabilidade do negócio.

A fim de avaliar essas interações, primeiramente foi necessário estabelecer algumas fronteiras para essa análise. Para o propósito dessa análise um negócio é entendido como uma organização reconhecidamente legalizada e projetada para fornecer produtos e/ou serviços para os seus clientes (O'SULLIVAN & SHEFFRIN, 2003). Adicionalmente, essa análise foi focada em empresas privadas cujo negócio é orientado para obtenção de resultados financeiros e remuneração de seus acionistas. Com base nesses limites essa análise excluiu organizações ilegais ou controladas pelo governo, bem como outras organizações que não tenham como objetivo a remuneração de seus acionistas, tais como entidades filantrópicas.

Para fins desta análise, o meio ambiente é entendido como o conjunto que engloba componentes ecológicos (natural) e componentes sociais, conforme definições utilizadas em avaliações de impacto ambiental (MAGRINI, 1992). O componente ecológico inclui componentes físicos, tais como ar, água e solo, e componentes biológicos, como flora e fauna. O componente social inclui os stakeholders potencialmente afetados pelas atividades de um negócio, bem como as interações e o contexto socioeconômico nos quais eles estão inseridos.

Para essa Tese utilizou-se a definição de stakeholders apresentada pelo *Global Reporting Initiative* (GRI, 2011), que os apresenta como entidades ou indivíduos para os quais há uma expectativa razoável que possam ser significativamente afetados pelas atividades, produtos e/ou serviços de uma organização, e cujas ações podem afetar a habilidade da organização em implementar suas estratégias com sucesso e alcançar seus objetivos. Verifica-se que embora haja semelhança entre os grupos de stakeholders apresentados por diversos autores, não há um consenso geral na literatura sobre como os stakeholders de uma organização devem ser agrupados. Por exemplo, o GRI (2011) apresenta como grupos de stakeholders:

(i) acionistas e fornecedores de capital, (ii) empregados, (iii) fornecedores, (iv) clientes, (v) comunidades, e (vi) sociedade civil; classificando os três primeiros como stakeholders internos, que investem na organização, e os três últimos como stakeholders externos. Haksever et al. (2004), por sua vez, ponderam que os seguintes grupos podem ser considerados como um conjunto bastante compreensivo de stakeholders: (i) proprietários/acionistas, (ii) empregados, (iii) fornecedores, (iv) clientes, e (v) sociedade em geral.

Para fins de análise das relações entre as atividades de um negócio, os riscos ambientais associados e o seu impacto na sustentabilidade do negócio, considerou-se nesta Tese os seguintes grupos de stakeholders:

- acionistas;
- credores (e.g. bancos e agências de crédito);
- empregados;
- fornecedores;
- clientes;
- comunidades vizinhas;
- reguladores (entidades regulatórias governamentais); e
- sociedade civil.

Ressalta-se que em relação às definições apresentadas acima, o grupo “sociedade” foi dividido em subgrupos baseado em suas interações com o negócio, conforme discutido na Seção 3.3 mais adiante. O grupo “sociedade civil” apresentado acima representa aqueles componentes que não são esperados de serem afetados significativamente pelas atividades de um negócio, mas podem afetá-la.

Para fins do desenvolvimento da metodologia proposta nesta Tese, considerou-se que o objetivo final dos negócios de organizações privadas que são foco deste trabalho, conforme apresentado anteriormente nesta seção, seja a maximização do retorno financeiro para os seus acionistas. Considera-se ainda como premissa adicional que esses negócios devem ser projetados para maximizar sua duração, resultando que a maximização do retorno financeiro para os acionistas deve incluir também um componente temporal. Dessa forma, considera-se que o objetivo dos negócios de organizações privadas voltadas para a remuneração dos seus acionistas, as quais são objeto desta Tese, seja a maximização do retorno financeiro

sustentável para os seus acionistas, que é definido como a geração e distribuição de lucros em um longo período, ao mesmo tempo que se faz um uso eficiente e responsável dos recursos econômicos, ambientais e sociais disponíveis (Barkemeyer et al., 2011).

3.1 Imagem Corporativa

Conforme apresentado na Seção 1, a metodologia multicritério de auxílio à tomada de decisão desenvolvida nesta Tese incluiu como um dos critérios principais para a tomada de decisão a imagem corporativa. Esse critério foi selecionado devido à sua sensibilidade em relação a questões associadas a riscos ambientais, conforme discutido na Seção 3.3 mais adiante, e sua influência na tomada de decisão dos stakeholders de uma organização.

Segundo Van Riel (1995), a imagem corporativa é definida como o conjunto de significados pelos quais um objeto é conhecido e através dos quais as pessoas o descrevem, lembram e se relacionam com ele, sendo o resultado das interações entre as crenças, ideias e sentimentos de uma pessoa e suas impressões sobre o objeto. Dutton e Dukerich (1991) definem a imagem corporativa como a forma como que os membros de uma organização acreditam que outras pessoas enxergam essa organização.

Considerando que a imagem corporativa envolve a percepção de outras pessoas sobre a organização, Hooghiemstra (2000) pondera que esse elemento é o resultado de informações transmitidas por meio de veículos de comunicação ou através de comunicação interpessoal. Esse autor sugere também que a imagem corporativa de uma empresa depende do julgamento de pessoas externas à organização em relação ao que elas acreditam ser verdadeiro e o que elas consideram ser importante.

Segundo Keller (2003), os seguintes elementos podem ser considerados como os mais importantes componentes da imagem corporativa:

- produtos e/ou serviços – atributos e/ou benefícios para clientes:
 - qualidade;
 - inovação;
- pessoas e relações:

- orientação da empresa em relação aos seus clientes e demais stakeholders;
- valores e programas:
 - responsabilidade ecológica;
 - responsabilidade social;
- credibilidade corporativa:
 - especialidade;
 - confiança;
 - aprovação geral do público.

Um aspecto importante da imagem corporativa de uma empresa, que abrange parte dos componentes acima, é sua reputação, que segundo Nguyen e Leblanc (2001) é o resultado das ações passadas de uma organização. A reputação está relacionada à percepção dos stakeholders sobre a habilidade de uma organização em atender às suas demandas e expectativas, bem como as demandas e expectativas de outros grupos de stakeholders. Segundo esse autor, a reputação de uma empresa está relacionada à qualidade de seus produtos e serviços quando comparada aos seus competidores, e pode ser associada à consistência de um atributo de uma entidade ao longo do tempo. Dessa forma, uma empresa pode apresentar reputações diversas, como associadas a preço, qualidade de produto, inovação, gestão ambiental, ou uma reputação global.

Em uma revisão de seis estudos sobre rankings de reputação de empresas, Bebbington et al.(2008) indicam que os seguintes elementos são os principais focos desses rankings:

- performance financeira;
- qualidade do gerenciamento;
- aspectos relacionadas à gestão de questões sociais e ambientais;
- fatores relacionados a empregados; e
- qualidade de produtos e serviços.

Segundo Lewis (2001), a reputação de uma empresa consiste em um dos seus patrimônios mais valiosos, visto que lhe propicia vantagens competitivas no mercado, e corresponde ao produto de variáveis relacionadas ao comportamento da empresa, comunicação e expectativas dos stakeholders. Considerando essa última

variável na formação da reputação e imagem de uma empresa, esse autor pondera que diferentes grupos de stakeholders podem levar em conta diferentes atributos para avaliar a imagem de uma empresa, apresentando os resultados de uma pesquisa que corrobora com essa afirmação. Nessa pesquisa, diferentes grupos foram questionados sobre qual o fator mais importante levado em consideração quando da formação do julgamento a respeito de uma empresa, apresentando como possíveis respostas: (i) qualidade de produtos e serviços, (ii) atendimento a clientes (iii) tratamento de seus funcionários, (iv) performance financeira, (v) qualidade do gerenciamento, (vi) responsabilidade ambiental, e (vii) responsabilidade social. Os resultados indicaram prioridades diferentes para os grupos de stakeholders entrevistados. Riordan et al. (1997) também corroboram com essa diferenciação da imagem de uma empresa de acordo com os grupos de stakeholders, argumentando que a percepção da imagem corporativa é afetada pelo tipo de relação entre a empresa e tais stakeholders.

Segundo Nguyen e Leblanc (2001) a reputação de uma empresa é construída através de suas ações, sendo um elemento frágil, visto que uma má ação exerce um efeito muito maior na percepção dos stakeholders que uma boa ação. Dessa forma, a construção de uma boa reputação requer que a empresa exerça boas ações ao longo do tempo. Por outro lado, uma boa reputação pode ser destruída facilmente por más ações isoladas. As boas e más ações nesse caso estão associadas à capacidade da empresa em cumprir ou não suas promessas, bem como atender ou não às expectativas que ela causa em seus stakeholders.

Há um consenso geral, muitas vezes intuitivo, que a reputação, como componente da imagem corporativa, e a imagem em si podem influenciar as decisões dos stakeholders de uma empresa. Nguyen e Leblanc (2001) apresentam um estudo que corrobora com essa hipótese, no qual quantificam a relação entre a lealdade dos clientes e a reputação / imagem de uma empresa usando como base uma pesquisa realizada com cerca de 800 clientes dos setores de vendas a varejo, telecomunicações e ensino. Esses autores definem a lealdade dos clientes como relacionada ao comportamento de compras, ressaltando que a lealdade existe quando o cliente mantém sua preferência de compra por uma determinada marca e resiste a pressões (e.g. propaganda, preços) para mudar para outra marca.

Nesse estudo os autores relacionaram numericamente a probabilidade de retenção do cliente com o seu nível de avaliação da imagem e reputação de uma

empresa. Os resultados do estudo indicaram que existe uma forte relação entre a lealdade dos clientes e a reputação / imagem corporativa de uma empresa. Os resultados indicam também que há uma interdependência entre a reputação e a imagem corporativa, concluindo que o primeiro elemento é um componente do segundo.

Em outro estudo que corrobora com a relação entre imagem corporativa e lealdade de clientes, Tu et al. (2012) apresentam os resultados de uma pesquisa com 199 entrevistados cujos resultados indicam uma forte correlação direta entre a imagem corporativa e a lealdade de clientes. Adicionalmente, esses autores incluem um componente de satisfação de clientes, relacionado ao nível de atendimento de suas expectativas após transações com a empresa, concluindo que esse componente é fortemente afetado pela imagem corporativa e afeta fortemente a lealdade de clientes. Dessa forma, identificam dois caminhos pelos quais a imagem corporativa afeta a lealdade de clientes, diretamente e através do seu efeito na satisfação desses clientes.

Além do consenso sobre a relação entre a imagem de uma empresa e as decisões de seus stakeholders, há um entendimento comum de que essa relação é positiva, ou seja, uma boa imagem leva seus stakeholders a tomarem decisões favoráveis, ou não tomar decisões desfavoráveis, em relação à empresa. De acordo com Hooghiemstra (2000), empresas com uma boa reputação podem, dentre outras coisas, cobrar preços diferenciados, melhorar seu acesso a mercados, atrair investidores mais facilmente, e obter melhores condições de financiamento, resultando em uma vantagem competitiva. Jabbour et al. (2012) indicam que há uma tendência de aumento do valor de mercado de empresas que anunciam a adoção de boas práticas de gestão ambiental, resultante da melhora desse componente da imagem corporativa da empresa. Chen (2011) associa a “imagem verde” de empresas com vantagens competitivas. Beder (2002) apresenta ainda alguns possíveis impactos positivos para uma empresa resultante de uma boa reputação perante seus stakeholders:

- clientes: vendas, preços que podem ser cobrados, lealdade;
- fornecedores: negócios, lealdade, preços;
- agentes reguladores: maior facilidade para obtenção de licenças;
- vizinhos: suporte, evitar protestos e reclamações;

- empregados (atuais e potenciais): atrair novos talentos, moral, lealdade.

Segundo Beder (2002), a reputação apresenta uma maior relevância na tomada de decisão dos stakeholders de uma empresa quando outros atributos das alternativas disponíveis são semelhantes. Esse autor exemplifica essa hipótese para um caso em que clientes têm que decidir sobre a compra de combustível entre duas empresas, cujos produtos apresentam preços e qualidade similares. Nesse caso, possivelmente a reputação teria uma importância maior no processo de tomada de decisão.

A comunicação exerce um papel fundamental na formação da imagem corporativa, visto que esse elemento possibilita aos stakeholders conhecer as ações, atitudes e/ou informações de uma empresa e, a partir desse conhecimento, formar sua imagem dessa empresa. Segundo Akin e Demirel (2011), a comunicação pode se dar de duas formas, que denomina como comunicação em massa e comunicação interpessoal. Segundo esses autores, a primeira forma se dá através de veículos de mídia, e é mais rápida e abrangente, possibilitando alcançar um número maior de stakeholders. Entretanto, a comunicação em massa é menos efetiva em termos de possibilitar a compreensão das informações pelos stakeholders. Essa pouca efetividade para possibilitar a compreensão das informações pode representar um desperdício de recursos no caso em que a empresa deseje promover informações positivas a seu respeito (e.g. ações de marketing, relatórios ambientais favoráveis), ou uma vulnerabilidade no caso em que informações negativas a seu respeito (e.g. riscos ambientais adversos) sejam transmitidas por veículos de mídia, resultante de interpretações errôneas sobre tais informações.

3.2 Interações entre as Atividades de um Negócio e o Meio Ambiente

Atividades, produtos e serviços de um negócio podem apresentar elementos com potencial para interagir direta e indiretamente com o meio ambiente, resultando em alterações positivas e/ou negativas de suas condições. Conforme apresentado na Seção 2.3, esses elementos são denominados aspectos ambientais, e podem incluir, dentre outros, consumo de recursos naturais (e.g. água, combustíveis, matérias primas), emissões de resíduos (e.g. efluentes líquidos, emissões

atmosféricas, resíduos sólidos), e pressões e demandas econômicas (e.g. oportunidades de trabalho).

Aspectos ambientais normalmente são evidentes em casos onde potenciais interações diretas entre as atividades de um negócio e os componentes físico e biótico do meio ambiente podem existir. Esse é o caso de atividades produtivas, que normalmente estão associadas ao consumo de recursos naturais e emissão de resíduos. Segundo Baumgärtner et al. (2002), considerando uma perspectiva termodinâmica, processos produtivos necessariamente e inevitavelmente resultam na produção de subprodutos de alta entropia, que normalmente são considerados como resíduos.

Adicionalmente, aspectos ambientais podem estar indiretamente relacionados às atividades de um negócio, associados aos insumos e recursos utilizados por esse negócio ou o uso de seus produtos e destinação de seus resíduos. Esse conceito é baseado em uma relação de causalidade, considerando que as atividades de um negócio podem gerar demandas de atividades anteriores na cadeia produtiva (atividades *upstream*), e que seus produtos e resíduos podem gerar oportunidades e/ou demandas posteriores (atividades *downstream*).

A avaliação de aspectos ambientais resultantes de interações indiretas pode ser conduzida por meio de metodologias que incorporam uma visão holística do negócio, tal como a análise de ciclo de vida (KULAY, 2000; KAENZIG et al., 2011). Essa metodologia consiste em uma abordagem do “berço ao túmulo” para avaliação de sistemas industriais, começando na extração das matérias primas para a produção de produtos e terminando no ponto onde todos os materiais são retornados para a terra (U.S. EPA, 2006). Nessa metodologia são contabilizados os aspectos e impactos ambientais resultantes das atividades *upstream* (e.g. produção de materiais) e *downstream* (e.g. transporte e uso de produtos) em relação às atividades do negócio em análise.

Algumas metodologias e guias para a preparação de inventários de gases de efeito estufa (GEE) incorporam conceitos de análise de ciclo de vida para contabilizar emissões diretas e indiretas de GEE (ABNT, 2007; Argonne National Laboratory, 2006; WRI/WBCSD, 2004). Com a crescente conscientização sobre questões relacionadas a mudanças climáticas, surgimento e intensificação de legislações e pressões de mercado para a reportagem de inventários de GEE, essas

metodologias tem sido utilizadas por um número significativo e crescente de empresas.

Conforme apresentado na Seção 2.3, mudanças nas condições do meio ambiente resultantes de aspectos ambientais são denominadas como impactos ambientais, podendo ser resultado de interações diretas e/ou indiretas entre as atividades de um negócio e o meio ambiente. Exemplos de impactos diretos incluem mudanças na qualidade do ar resultante das emissões atmosféricas de uma atividade de negócio, mudanças na qualidade da água de um corpo receptor resultante do lançamento de efluentes, mudanças nas condições naturais de uma área resultantes da extração de materiais (e.g. mineração), mudanças na população de uma espécie resultante de extrativismo ou pesca, mudanças nas condições econômicas resultantes do emprego de trabalhadores locais, dentre outros.

Impactos indiretos podem ser resultantes de vários níveis de interação. Para propósito desta análise, pelo menos dois níveis de interação são necessários para caracterizar um impacto como indireto (i.e. a atividade de negócio afeta o componente A, resultando em mudanças nas condições do componente B do meio ambiente). O número de níveis de interação associados com impactos indiretos pode variar significativamente, dependendo do tipo de atividade e rotas sendo avaliados (e.g. atividade de negócio afeta o componente A, que afeta o componente B, que afeta o componente C, e assim por diante). Considerando essa possibilidade, normalmente é necessário estabelecer fronteiras caso específicas para a avaliação de impactos ambientais, de forma a limitar o número de interações a serem avaliadas.

Várias rotas podem ser consideradas quando da avaliação de impactos indiretos. Mudanças na qualidade do ar resultante de atividades de negócio, conforme apresentado acima, podem, por exemplo, resultar em efeitos na saúde humana de receptores, alterações na vegetação e qualidade do solo (devido a deposição). Mudanças na qualidade da água de corpos receptores podem resultar em efeitos nocivos para espécies animais e vegetais que utilizam ou tem contato com essa água, podendo resultar em impactos à saúde das pessoas que utilizam essas espécies animais e vegetais para alimentação, ou impactos econômicos resultantes de restrição a alguma atividade (e.g. pesca). Outro exemplo consistiria

no impacto que mudanças das condições naturais de uma área teriam no bem estar³ de pessoas vivendo próximo a essa área. Esses tipos de interações podem ser verificadas também como resultados de atividades *upstream* e *downstream* em relação à atividade de negócio em análise, caso uma abordagem de análise de ciclo de vida seja adotada.

Os exemplos de impactos diretos e indiretos apresentados acima servem apenas para ilustrar a complexidade das interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente. Esses exemplos não consistem em uma listagem exaustiva, visto que outras inúmeras interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente podem ser verificadas em diferentes rotas e diferentes níveis de interação. A Figura 3-1 apresenta uma representação esquemática de como as atividades de um negócio podem afetar o meio ambiente através de interações diretas e indiretas. Além das interações ilustradas nessa figura, outras interações em cada dimensão do meio ambiente também podem ocorrer.

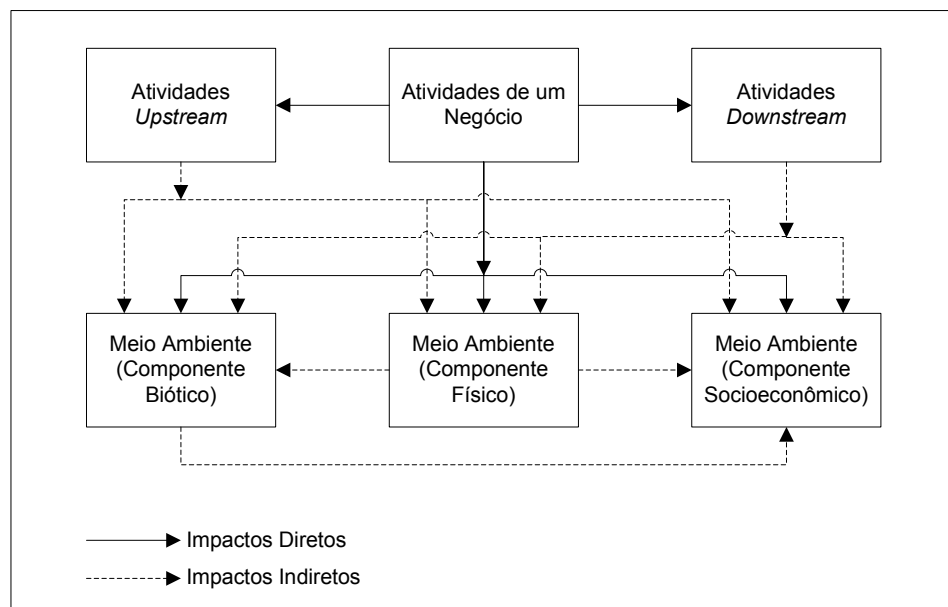


Figura 3-1 – Interações diretas e indiretas entre um negócio e o meio ambiente

Fonte: Elaboração própria

Outro aspecto relevante a ser considerado na avaliação das interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente é a possibilidade de ocorrência de um impacto direto ou indireto. Considerando a definição de aspectos ambientais, como elementos com potencial de resultar em impactos ambientais, a existência de

³ Baseado no conceito econômico de utilidade (Pearce & Turner, 1992).

aspecto não garante necessariamente que um determinado impacto, definido pela sua intensidade e extensão, será verificado. Esse dado impacto ambiental poderá ser considerado certo se já foi verificado, ou se é esperado de ocorrer com nível absoluto de confiança, ou, caso contrário, deverá ser considerado incerto.

Conforme apresentado na Seção 2.5.1, a incerteza associada aos impactos ambientais pode apresentar vários níveis, variando da ignorância, quando não há uma distribuição de probabilidade confiável para representar essa incerteza, até o nível de certeza, quando há apenas um valor para representar essa incerteza.

Para o propósito de simplificação, o termo risco, no sentido da possibilidade de ocorrência de um evento (Guimarães, 2003) foi adotado nesta Tese para levar em consideração os diversos níveis de incerteza associados a impactos ambientais. Dessa forma, aspectos ambientais e os impactos diretos e indiretos associados às atividades de um negócio são referidos neste trabalho como riscos ambientais.

Ressalta-se que com base nessa definição e na definição de impactos ambientais apresentada anteriormente, podem ser verificados riscos negativos, representando a possibilidade de ocorrência de condições não desejáveis, bem como riscos positivos, representando a possibilidade de ocorrência de condições desejáveis.

3.3 Como os Riscos Ambientais Podem Afetar as Atividades de um Negócio

Considerando as fronteiras e definições apresentadas anteriormente para esta análise, tem-se que o objetivo final de empresas privadas voltadas para o lucro seja a maximização do retorno financeiro sustentável para os seus acionistas. Considera-se que os principais componentes do retorno financeiro dos acionistas de uma empresa sejam a distribuição de lucros e dividendos e a valorização do capital investido, através do valor das ações da empresa. Dessa forma, o retorno financeiro sustentável para os acionistas dependerá da lucratividade e valor de mercado da empresa, considerando uma perspectiva de manutenção e/ou aumento desses componentes com o tempo.

A lucratividade de uma empresa dependerá de suas receitas e custos operacionais, e o seu valor de mercado dependerá, dentre outros fatores, do valor de seus ativos (tangíveis e intangíveis) e do valor de seus passivos. Os ativos tangíveis correspondem a bens físicos da empresa, como equipamentos, imóveis, e

materiais e produtos em inventário, enquanto que os ativos intangíveis correspondem àqueles que não são de natureza material, como propriedade intelectual (e.g., patentes, marcas, direitos), reconhecimento da marca e a boa intenção em relação à empresa, representando a diferença entre o valor de fato dos ativos e seu preço de venda (Lee & Lee, 2006)⁴.

A fim de avaliar as questões que influenciam no retorno financeiro dos acionistas, as interações entre a organização e seus stakeholders devem ser consideradas. Considerando os grupos de stakeholders definidos no início desta Seção, são apresentados na Tabela 3-1 exemplos de como estes podem ser afetados e como podem afetar os negócios de uma empresa.

Tabela 3-1 - Stakeholders e suas interações com um negócio

Stakeholders	Como podem ser afetados pelas atividades de um negócio	Como podem afetar as atividades de um negócio
Acionistas	- Retorno financeiro do investimento	- Disponibilidade de capital (investimento)
Credores	- Receita (juros e outras cobranças por empréstimos)	- Disponibilidade e custo do capital
Empregados	- Remuneração (salários e bônus) - Riscos à saúde e segurança	- Qualidade de produtos e serviços - Performance geral do negócio (e.g. questões de gerenciamento e produtividade)
Fornecedores	- Receita (vendas)	- Qualidade de produtos e serviços - Imagem corporativa (riscos ambientais indiretos)
Clientes	- Qualidade e preço de produtos e serviços (relacionado ao bem estar)	- Receita (vendas) - Valor de mercado (devido ao <i>market share</i>)
Comunidades vizinhas	- Riscos ambientais	- Imagem corporativa - Passivos
Reguladores	- Receita (taxas e impostos) - Custos (externalidades)	- Custos (taxas e impostos) - Restrições
Sociedade civil	- Não é afetada significativamente	- Imagem corporativa (mídia) - Potenciais empregados (performance do negócio) - Potenciais clientes (<i>market share</i>)

Fonte: Elaboração própria

⁴ Essa discussão simplifica sobre os aspectos financeiros de um negócio não almeja ser exaustiva, mas somente prover base para a discussão das interações entre riscos ambientais e as atividades de um negócio.

Em relação à importância de cada grupo de stakeholders nas atividades de um negócio, Pedersen e Neergaard (2009) apresentam os resultados de uma pesquisa com 149 gerentes de corporações multinacionais, em que foram questionados sobre o nível de influência exercida por diferentes grupos de stakeholders em suas organizações. Os resultados dessa pesquisa indicaram que esses tomadores de decisão percebem os clientes diretos e empregados como aqueles que exercem maior influência e afetam de forma mais significativa as atividades de suas organizações, conforme apresentado na Figura 3-2.

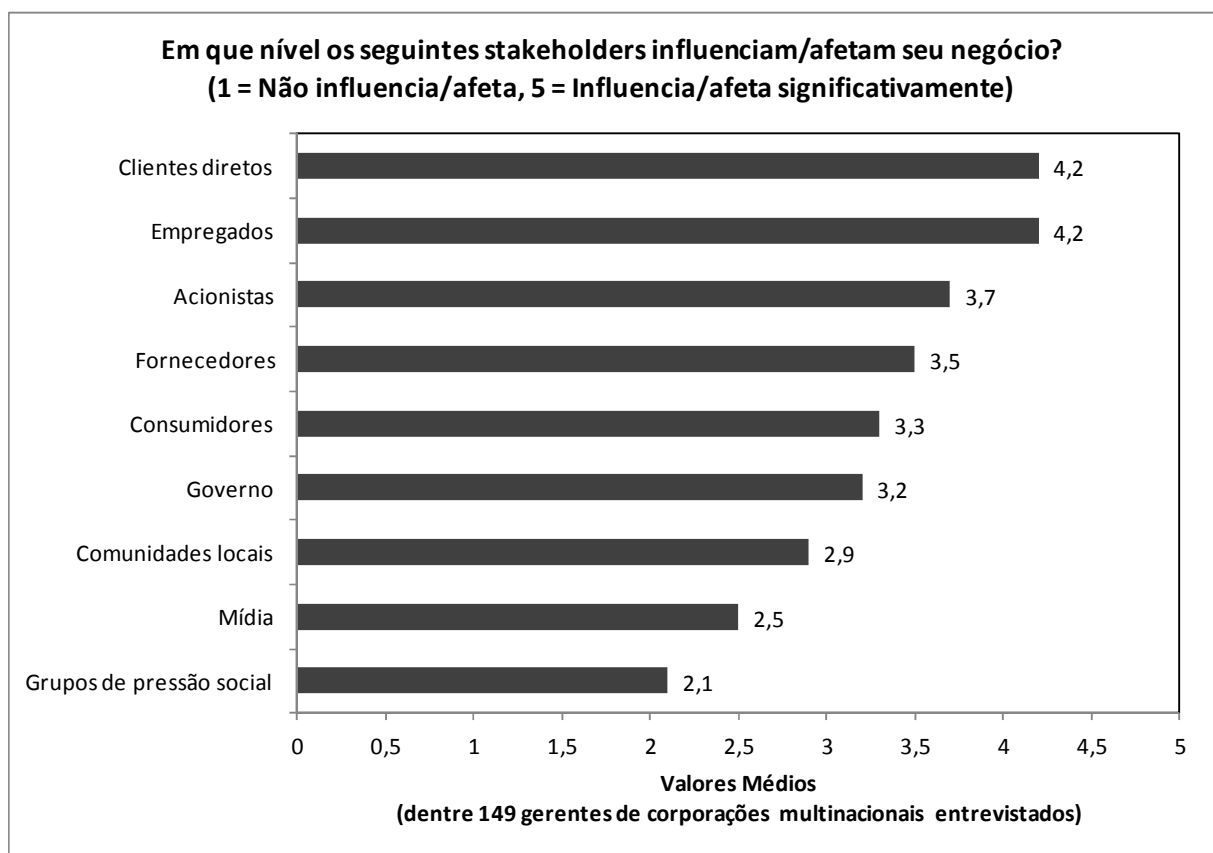


Figura 3-2 - Influência dos Stakeholders no negócio

Fonte: adaptado de Pedersen e Neergaard (2009)

A fim de entender as interações entre os riscos ambientais associados a uma dada atividade de negócio e a habilidade da empresa em maximizar o retorno financeiro sustentável para os seus acionistas, considera-se que esses riscos podem afetar as decisões dos stakeholders (GRI, 2011), e essas decisões podem ultimamente afetar o negócio. A Figura 3-3 apresenta um esquema dessas interações.

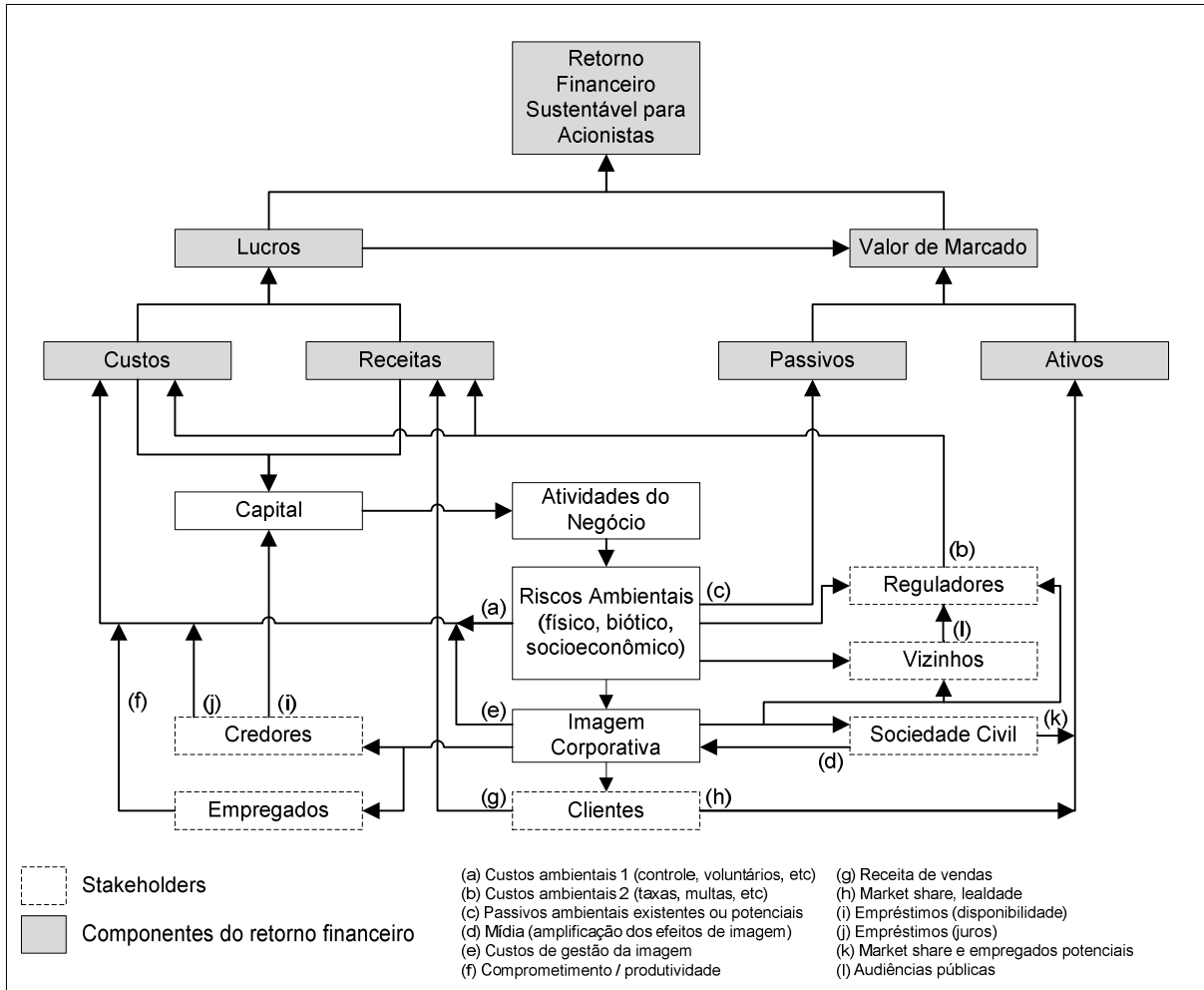


Figura 3-3 – Interações entre riscos ambientais, stakeholders e o negócio

Fonte: Elaboração própria

Inicialmente considera-se que as atividades de um negócio resultam em riscos ambientais, conforme discutido na Seção 3.2. Na Figura 3-3 acima as interações correspondentes a impactos e riscos diretos e indiretos, conforme ilustrado na Figura 3-1, são representadas no item “Riscos Ambientais”. Dessa forma, pode-se incluir aí os riscos ambientais indiretos relacionados às atividades de fornecedores bem como outros componentes relacionados a atividades *upstream* e *downstream* caso se adote uma abordagem de ciclo de vida.

A gestão desses riscos ambientais é necessária para garantir conformidade com exigências de entidades regulatórias, como leis, decretos, resoluções, e condicionantes de licenças ambientais, ou com outros aspectos de iniciativas voluntárias, tais como políticas e programas da empresa. Essa gestão requer investimentos, tais como equipes parcialmente ou totalmente dedicadas, equipamentos de controle, elaboração de estudos ambientais, dentre outros

esforços, que acabam por impactar os custos operacionais de um negócio, conforme representado pela interação (a) na Figura 3-3. Os custos associados a essa gestão podem ser considerados como custos convencionais e/ou potencialmente ocultos, conforme apresentado na Tabela 2-4 da Seção 2.6.

Adicionalmente aos custos de gestão das questões ambientais mencionados acima, outros custos associados aos riscos ambientais de um negócio podem ser diretamente impostos por entidades reguladoras para cumprimento de suas exigências ou como punição ao não cumprimento de exigências. Esses custos são representados pela interação (b) na Figura 3-3, e podem incluir taxas (e.g. cobrança pelo uso da água, taxas para licenciamento), bem como multas e penalidades (e.g. restrições de produção resultando em perdas financeiras), no caso da empresa não cumprir determinados requerimentos estabelecidos em legislação ou licenças ambientais. Em relação aos custos indicados no parágrafo acima (interação (a)), neste caso (i.e. interação (b)) os custos são mais dependentes de fatores externos, controlados pelas agências reguladoras, de forma que, uma vez ocorrido o fato gerador do custo, a empresa tem uma menor capacidade de gerenciá-los, ou eventualmente não pode gerenciá-los. Como exemplo, a definição de valores de taxas e multas é imputada aos reguladores, cabendo à empresa atuar para evitar ou atenuar os fatos geradores desses custos (e.g. não conformidade) através da gestão dos seus riscos ambientais, correspondente à interação (a) acima.

As atividades de um negócio podem resultar também em passivos ambientais, que são definidos pela U.S. EPA (1996) como obrigações legais para realizar gastos no futuro devido a atividades realizadas no passado ou que estão em andamento que afetaram negativamente o meio ambiente (e.g. passivos relacionados à remediação de áreas contaminadas, obrigações relativas à conformidade legal). Esses passivos ambientais podem ser classificados como existentes, no caso da obrigação já existir, ou potenciais, caso a obrigação dependa de eventos futuros ou quando a lei ou regulamentação que caracteriza o passivo ainda não está em curso (U.S. EPA, 1996).

O conceito de passivos potenciais implica que mesmo que uma empresa se mantenha em conformidade com todos os requerimentos legais correntes, seus riscos ambientais atuais podem gerar custos no futuro, dependendo de futuras demandas legais ou de mudanças na legislação. Esses custos futuros podem ser resultantes, por exemplo, de limites mais restritivos para a qualidade do solo ou da

água subterrânea, requerendo remediação de áreas afetadas por uma atividade de negócio que se encontra em conformidade com a legislação atual, bem como compensações por externalidades, também chamadas de internalização de externalidades (SÖDERHOLM & SUNDQVIST, 2003; TOLMASQUIM et al., 2001), resultantes de demandas dos stakeholders da empresa ou mudanças na legislação.

A contabilização de passivos vem sendo abordada recentemente através de mecanismos como o *Statement of Financial Accounting Standards* (SFAS) número 143 (FASB, 2001) e Planos de Fechamento de Mina. O SFAS 143 define regras para a contabilização de custos para cumprir com obrigações legais relacionadas ao encerramento de ativos tangíveis. Consiste em um reporte anual em que as empresas reconhecem o valor de seus passivos, incluindo passivos ambientais, com vistas ao estabelecimento de critérios para transações financeiras. Planos de Fechamento de Mina consistem em ferramentas de gestão e provisionamento de recursos financeiros, nos quais são definidas as ações necessárias para a desativação de empreendimentos minero-industriais visando à estabilização física, química e biológica das áreas impactadas, bem como a redução dos impactos socioeconômicos associados ao fechamento dos empreendimentos, e estimados os custos dessas ações. No Estado de Minas Gerais os Planos de Fechamento de Mina são objeto da Deliberação Normativa COPAM 127/2008 (COPAM, 2008), e a nível internacional são contemplados no documento *Planning for Integrated Mine Closure: Toolkit* (ICMM, 2008), que serve como um guia para a elaboração de Planos de Fechamento.

Os exemplos acima ilustram o impacto de passivos ambientais existentes na performance financeira e valor de mercado de uma empresa. Adicionalmente, verifica-se que passivos futuros já começam a ser considerados na avaliação do valor de mercado das empresas, conforme verificado em um estudo elaborado por Dowell et al. (2000), no qual os autores concluem que as externalidades ambientais negativas são consideradas no processo de valoração econômica de empresas, mesmo se essas externalidades ocorram em locais com legislação ambiental pouco rígida.

Riscos ambientais tem o potencial de afetar a imagem corporativa de uma empresa, influenciando mesmo aqueles indivíduos que não são afetados de forma direta ou indireta por esses riscos.

Os efeitos de riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa podem ser resultantes de eventos específicos, tais como vazamentos e liberações acidentais de matéria e/ou energia e divulgação de relatórios de performance ambiental (WAGNER, 2001), ou de informações históricas sobre os riscos associados a um negócio e como esses riscos são geridos, o que consiste em um componente da reputação da empresa.

Os impactos de riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa resultantes de comunicação interpessoal são normalmente verificados entre os acionistas e empregados, que usualmente tem um maior acesso à informação sobre a performance e práticas ambientais de uma empresa, e em uma menor escala, entre vizinhos. A transmissão de informações através de veículos de mídia tem o potencial de amplificar os impactos (positivamente ou negativamente) de riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa (interação (d) na Figura 3-3), aumentando o número de stakeholders (indivíduos e/ou entidades) cuja percepção sobre a empresa será modificada, bem como a intensidade dessas mudanças. Esse efeito de amplificação dependerá, dentre outros fatores, do alcance do veículo de mídia utilizado, da reputação da empresa em relação à gestão de seus riscos ambientais e da intensidade e extensão dos riscos ambientais.

Um estudo elaborado por Avagyan et al. (2011) avalia a questão da comunicação na gestão da imagem corporativa de empresas abordando a componente ambiental dessa imagem. Nesse estudo são avaliados os efeitos de inovações relacionadas à gestão ambiental e o marketing relacionado à gestão ambiental de empresas sobre seu valor de mercado. Como resultado os autores indicam que há uma correlação positiva de ambos os fatores, ações de gestão e as ações de marketing, em relação ao valor de mercado das empresas. Os autores ressaltam, entretanto, que quando ocorre simultaneamente o desenvolvimento de tecnologias voltadas à gestão ambiental e a promoção dos resultados dessas tecnologias por meio de ações de marketing, o mercado financeiro pode interpretar isso como uma preocupação ambiental excessiva da empresa, e como consequência, reduzir sua avaliação do valor das empresas.

Blumenshine e Wunnava (2010) apresentam o resultado de um estudo que corrobora com a hipótese de agregação de valor de mercado de empresas resultante de questões de imagem associadas ao componente ambiental. Nesse estudo foi feita uma avaliação da relação entre a performance ambiental e o valor de

mercado de 500 empresas listadas no *Top 500 Green Rankings* da revista Newsweek em 2009. Os autores verificaram que há uma correlação positiva entre a performance ambiental e o valor de mercado das empresas, justificando como possíveis causas que: (i) os investidores estão incluindo fatores ambientais na valoração de preços de ações; ou (ii) que outras variáveis intangíveis associadas à boa performance ambiental estariam contribuindo para aumentar o valor de mercado das empresas.

Conforme discutido na Seção 3.1 a imagem corporativa está relacionada à percepção das pessoas sobre a empresa, e depende, dentre outros fatores, de suas expectativas em relação a essa dada empresa. Verifica-se, portanto, que os impactos dos riscos ambientais na imagem corporativa perante seus stakeholders dependerá das características desses stakeholders, incluindo o seu nível de “consciência ambiental”, tolerância em relação aos riscos, e ou outros aspectos culturais e posições ideológicas dos indivíduos expostos às informações sobre esses riscos.

Acionistas, empregados e fornecedores tendem a ter uma maior tolerância em relação aos riscos ambientais associados a um negócio, devido a receberem benefícios diretos da empresa, associados à remuneração e receitas, conforme apresentado na Tabela 3-1. Dessa forma, para um dado nível de informação, os impactos de riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa perante a esses stakeholders tendem a ser menores. No caso de credores, apesar dos benefícios econômicos associados a esse grupo de stakeholders, sua associação com empresas com uma imagem deteriorada normalmente não é desejada, pelo risco de afetar sua própria imagem. Dessa forma, os impactos de imagem para esses stakeholders tendem a ser maiores que os dos grupos acima.

Para o caso de clientes, a avaliação dos impactos de imagem pode ser diferenciada para os clientes intermediários e os clientes finais. No primeiro caso, similarmente à discussão acima para credores, verifica-se uma preocupação sobre o potencial impacto da associação com uma empresa com uma imagem deteriorada na sua própria imagem perante aos seus clientes. Essa preocupação pode ser verificada, por exemplo, através das exigências de algumas empresas de grande porte para cadastros de seus fornecedores, que podem incluir a comprovação de certificação em sistemas de gestão ambiental, como a ISO 14001 (ABNT, 2004a), ou outras informações que comprovem boas práticas de gestão ambiental. No caso de

clientes finais, a avaliação dos riscos ambientais na sua formação da imagem corporativa da empresa tende a ser mais influenciada pelas suas posições ideológicas e aspectos culturais, incluindo seu nível de conhecimento e conscientização sobre questões ambientais.

O impacto dos riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa perante os seus vizinhos tenderá a ser influenciado pelo nível de relacionamento entre a empresa e esse grupo de stakeholders. Quando há um histórico de relacionamento ruim, pode haver uma predisposição de percepção negativa sobre os riscos ambientais de uma empresa, afetando negativamente sua formação da imagem da empresa.

No caso de reguladores, a reputação da empresa pode exercer uma forte influência na sua avaliação dos riscos ambientais para a formação da imagem corporativa. Isso pode ser evidenciado, por exemplo, na definição do valor de multas quando da ocorrência de incidentes que causam impactos ambientais não controlados. Empresas com históricos de incidentes tendem a ser pior avaliadas, resultando em valores de multas mais elevadas. Esse fator de reputação, embora não seja referenciado com essa denominação, é inclusive contemplado em legislação, por meio de fatores de agravamento de multa em casos de reincidência.

Para o grupo de stakeholders designado como sociedade civil, espera-se que sua avaliação de riscos ambientais na formação da imagem corporativa de uma empresa seja similar ao discutido para clientes finais.

Esforços para melhorar a imagem corporativa de uma empresa afetada pelos riscos ambientais associados às suas atividades, ou para tomar vantagem de uma boa posição da empresa nesse quesito quando comparada aos seus competidores, requer a alocação de recursos, que acabam por aumentar seus custos operacionais. Essa interação é representada pelo item (e) na Figura 3-3.

A parcela ambiental da imagem corporativa de uma empresa pode afetar as decisões dos seus stakeholders de diferentes maneiras, conforme exemplificado abaixo:

- acionistas: decisão sobre a quantidade de capital a ser investido em uma empresa (RIORDAN et al., 1997);
- empregados: decisão sobre permanecer ou não com a empresa e o nível de comprometimento com as atividades do negócio, dessa forma afetando sua produtividade (BCG, 2009) (interação (f) na Figura 3-3);

- clientes: decisão sobre a quantidade de recursos financeiros a ser gasto e sobre continuar ou não comprando produtos e/ou serviços de uma empresa (lealdade), afetando sua receita (interação (g) na Figura 3-3) e seu market share, que por sua vez afeta seu valor de mercado (interação (h) na Figura 3-3);
- credores: decisão sobre a concessão ou não de empréstimos a uma empresa, afetando a quantidade de capital disponível (interação (i) na Figura 3-3), bem como as taxas de juros cobradas, que afetam o custo operacional da empresa (interação (j) na Figura 3-3) (WEBER et al., 2010);
- vizinhos: decisão sobre apoiar ou não decisões sujeitas a audiências públicas, podendo resultar em atrasos na produção e perda de receita no caso de oposição (interação (l) na Figura 3.3);
- reguladores: decisões relacionadas à concessão de licenças ambientais e custos relacionados a penalidades por não cumprimento da legislação ambiental, implicando em custos adicionais e/ou perda de receita (interação (b) na Figura 3-3); e
- sociedade civil: decisão sobre se unir ou não a uma empresa como um novo funcionário ou parceiro, e decisão sobre se tornar ou não um novo cliente, afetando a performance do negócio e seu market share, que é considerado como parte dos ativos intangíveis de uma empresa, bem como a criação de valor associada à iniciativas de Responsabilidade Social Corporativa (OLSON, 2010; MOORE & MANRING, 2009). Esses aspectos são representados pela interação (k) na Figura 3-3.

Em relação ao último componente acima, Veljković & Petrović (2011) ponderam que o componente ecológico da imagem corporativa tem exercido um papel significativo nos processos de aquisições de empresas, visto que empresas com uma imagem corporativa de forte responsabilidade ecológica são vistas como parceiras desejáveis, tanto para iniciativas de cooperação quanto para aquisições. Os autores indicam ainda que pode haver uma melhora da imagem corporativa de uma empresa ao se associar ou adquirir outra com uma boa imagem relacionada à gestão de questões ambientais.

Em relação à discussão acima sobre as respostas de grupos de stakeholders aos efeitos dos riscos ambientais na imagem corporativa de uma empresa, deve-se ressaltar que alguns indivíduos podem eventualmente ser incluídos em mais de um grupo de stakeholders, tais como empregados e clientes que também são vizinhos. Dessa forma, espera-se que esses indivíduos estejam envolvidos em mais de um tipo de interação com as atividades de um negócio.

Outro aspecto a ser considerado na análise dos efeitos dos riscos ambientais nas atividades de negócio de uma empresa é que stakeholders de um mesmo grupo podem apresentar respostas diferentes a um dado risco ambiental. Conforme discutido anteriormente nesta seção, a percepção da imagem corporativa de uma empresa depende de fatores pessoais, de forma que a avaliação acima deve ser vista como uma aproximação para um determinado grupo, e não uma análise individual.

Esse nível de complexidade das interações entre os riscos ambientais associados a uma atividade de negócio e sua performance e objetivo final, entendido neste trabalho como sua habilidade em prover retorno financeiro de forma sustentável para seus acionistas, associado à complexidade das interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente, discutidas na Seção 3.2 dificultam a incorporação de riscos ambientais nos processos de tomada de decisão corporativas. A próxima seção apresenta uma metodologia proposta para a incorporação de riscos ambientais em processos de tomada de decisão corporativas que leva em consideração parte dessas interações.

4 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta foi desenvolvida considerando princípios e práticas de Responsabilidade Social Corporativa (ABREU et al., 2012), onde decisões corporativas poderiam agregar valor em todas as três dimensões: Planeta, Pessoas e Lucro (VAN DER HEIJDEN, 2010; LAMBOOY, 2011). Para isso, tentou-se incorporar as interrelações entre as atividades do negócio, os riscos ambientais associados e o impacto desses riscos nas atividades das empresas, conforme discutido na Seção 3, no processo decisório, buscando-se como resultado a melhora das condições nessas três dimensões.

A metodologia proposta foi desenvolvida com o objetivo de permitir a avaliação dos potenciais resultados relativos a questões ambientais associadas a cada uma das alternativas consideradas em um processo decisório, obtendo como resultado informações que possam auxiliar na tomada de decisão.

Uma vez que tais potenciais resultados podem envolver incertezas, tanto na sua ocorrência, como nas suas consequências, verificou-se a necessidade da utilização do conceito de risco para essa avaliação (ver Seção 2.5). Portanto, a metodologia em estudo pode ser descrita resumidamente como uma avaliação integrada dos riscos associados às alternativas envolvidas no processo decisório.

Ressalta-se que os riscos correspondem a potenciais consequências das alternativas, podendo ser tanto negativas (i.e. indesejáveis), como positivas (i.e. desejáveis). A aplicação da metodologia permitiria avaliar um balanço dos riscos negativos e positivos associados às alternativas consideradas no processo decisório, o que serviria como parâmetro para auxílio à tomada de decisão.

De forma a facilitar o gerenciamento e utilização das informações por parte dos atores da decisão, buscou-se expressar numericamente os resultados da avaliação de riscos associados a cada alternativa, de forma a facilitar sua comparação. Embora essa “quantificação” dos riscos possa parecer desnecessária para decisões simples, envolvendo poucas variáveis, mostra-se extremamente útil à medida que cresce o número de informações a serem consideradas no processo decisório (CLEMEN, 1996).

A fim de estabelecer a estrutura para a metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta, foi considerada a estrutura do processo decisório apresentada por Clemen (1996), que inclui as seguintes etapas:

- identificação do problema e entendimento dos objetivos da tomada de decisão;
- identificação das alternativas;
- decomposição e modelagem do problema;
- escolha da melhor alternativa;
- análise de sensibilidade;
- verificação da necessidade de análise adicional; e
- implementação da alternativa escolhida.

Nesta Tese são abordados os cinco primeiros itens acima, conforme apresentado a seguir.

4.1 Identificação do Problema de Decisão e Objetivos

Conforme apresentado na Seção 2.1.3, considerou-se como premissa para a estruturação da metodologia proposta que os processos de tomada de decisão em empresas podem ser considerados genericamente como problemas de alocação de recursos financeiros.

Considerando a premissa apresentada na Seção 3, que o objetivo final de empresas de capital privado voltadas para o lucro seja prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas, decisões corporativas deveriam ser direcionadas a esse objetivo final, assumindo como premissa que tais decisões não iriam contra qualquer posição ética da empresa (e.g. descrita em suas políticas corporativas) ou dos seus tomadores de decisão, e que também os resultados dessas decisões não resultariam em não conformidades em relação à legislação eventualmente aplicável. Dessa forma, considera-se que esse objetivo final de prover retorno financeiro sustentável para os acionistas deva estar inserido de forma explícita ou implícita na maioria, senão em todas, as decisões corporativas.

A generalização do objetivo final de processos decisórios de empresas como sendo prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas não significa que tais processos de decisão devam ser restritos a um único critério de decisão econômico, mas que esse objetivo intrínseco deve ser considerado na análise dos processos decisórios.

Essa generalização do objetivo de decisões corporativas pode parecer contrária ao conceito de sustentabilidade do negócio, em que o sucesso de uma empresa

depende da sua habilidade em satisfazer as necessidades de todas as suas partes interessadas (BCG, 2009). Entretanto, usualmente isso não é possível em um único contexto decisório devido aos objetivos das partes interessadas serem diferentes, e algumas vezes conflitantes (ANANDA & HERATH, 2003), conforme exemplificado na Seção 2.1.3.

Embora esse objetivo final possa estar escondido em alguns casos, uma análise mais aprofundada de decisões corporativas pode revelá-lo. Quando uma empresa decide adotar uma postura mais amigável em relação ao meio ambiente, além de questões de conformidade legal ou exigências de mercado, por exemplo, ela possivelmente pretende melhorar sua imagem corporativa (GHOBADIAN et al. 1994), o que pode atrair novos consumidores ou acionistas, representando uma vantagem financeira para a empresa. De fato, considerando uma perspectiva de negócios, não faz sentido direcionar recursos para as necessidades de uma parte interessada (que não seja os acionistas) se não é esperado que isto afete de forma positiva a habilidade do negócio de prover retorno financeiro sustentável para os seus acionistas.

Esse objetivo intrínseco está em conformidade com os resultados de uma pesquisa realizada por Pedersen e Neergaard (2009) com gerentes de corporações multinacionais. Questionados sobre as razões da empresa para investir em ações relacionadas à Responsabilidade Social Corporativa, na média os respondentes colocaram “melhorar a imagem corporativa” como a segunda razão mais importante, após “é a coisa certa a fazer”, conforme apresentado na Figura 4-1. Adicionalmente, verifica-se que outras razões apontadas com pontuações mais altas também podem ser relacionadas a benefícios indiretos para a empresa, como “fonte de vantagem competitiva” e “protege a empresa de mídia negativa, boicotes, ativistas, etc.”, os quais também podem ser associados de forma indireta a aspectos da imagem corporativa da empresa. Conforme discutido na Seção 3.3, os aspectos de imagem corporativa podem ser relacionados ao retorno financeiro sustentável para os acionistas de uma empresa.

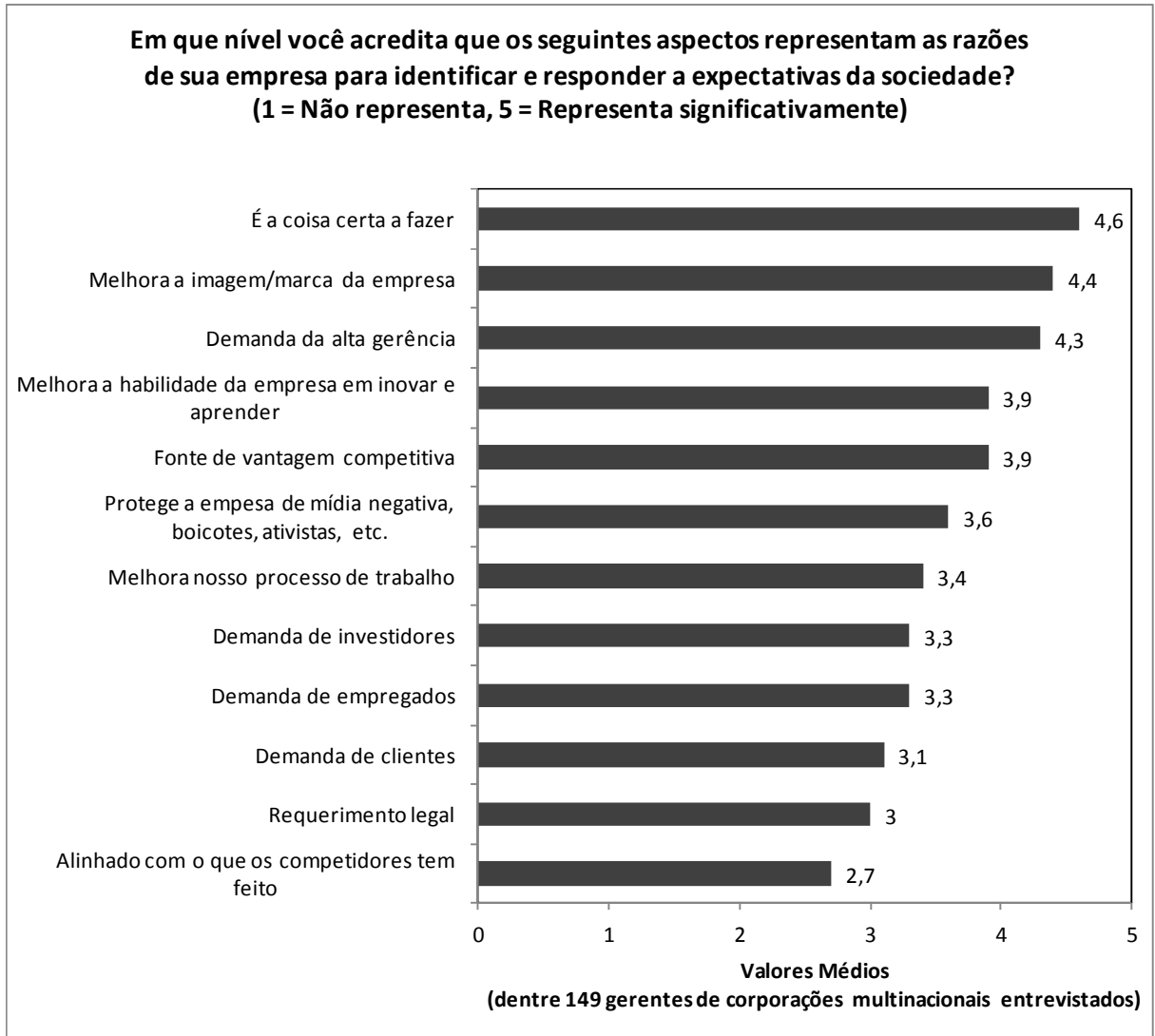


Figura 4-1 – Razões para investir em Responsabilidade Social Corporativa

Fonte: adaptado de Pedersen e Neergaard (2009)

Um outro estudo que corrobora para a discussão acima foi desenvolvido pelo *The Boston Consulting Group* (BCG, 2009), que incluiu a realização de uma pesquisa a nível mundial com líderes de 1.560 empresas voltadas para o lucro (i.e. remuneração dos acionistas). Questionados sobre qual o principal benefício para a empresa resultante da gestão de questões de sustentabilidade, a grande maioria dos respondentes indicou a melhora da imagem corporativa da empresa como item mais relevante, conforme apresentado na Figura 4-2.

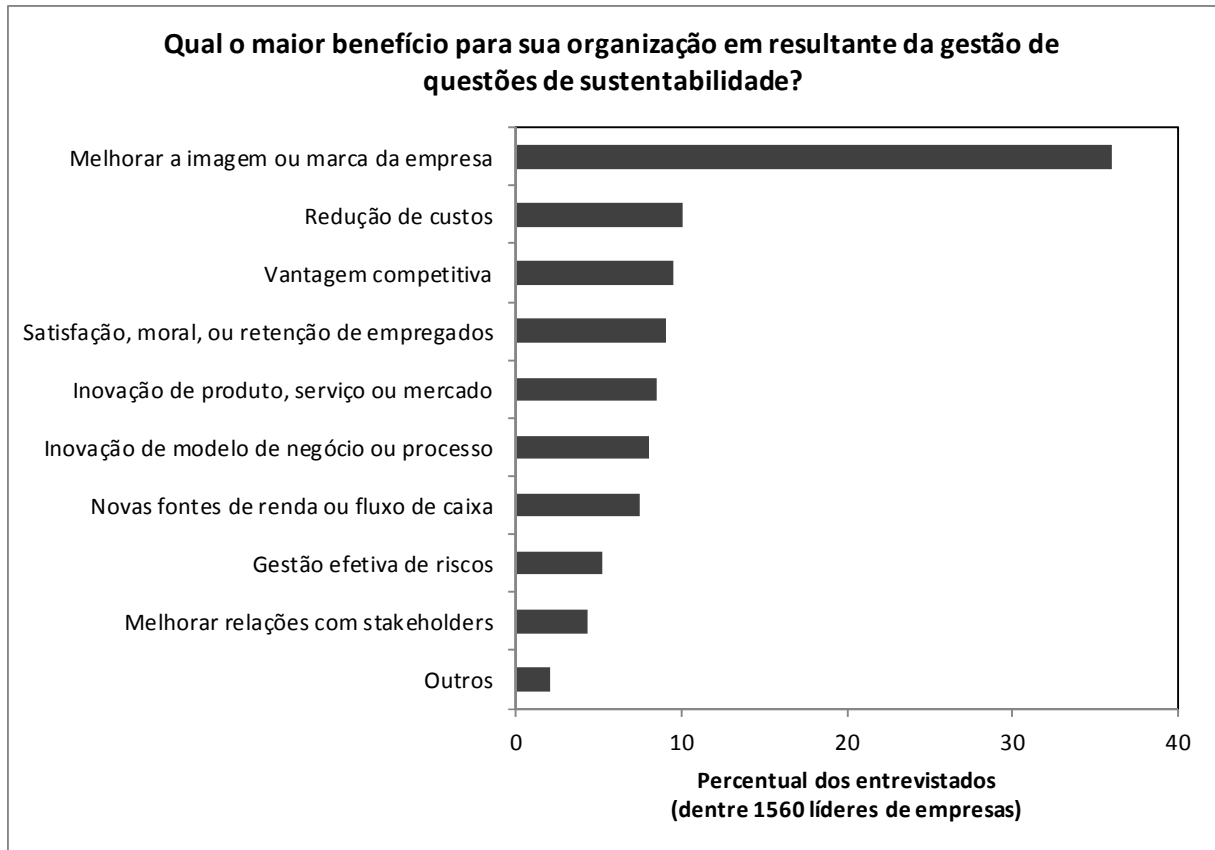


Figura 4-2 – Benefícios de ações de sustentabilidade

Fonte: adaptado de BCG (2009)

Uma outra pesquisa desenvolvida por GlobeScan (2010) com 1200 especialistas na área de sustentabilidade confirmou que há uma percepção geral, verificada entre 88% dos respondentes, de que investimentos em iniciativas de sustentabilidade resultam em ganhos para a imagem das empresas. Apenas 2% dos respondentes discordaram dessa correlação positiva entre ações de sustentabilidade e ganhos de imagem.

Verifica-se, portanto, que há uma percepção entre os tomadores de decisões que suas ações devem resultar em ganhos para suas empresas, mesmo que isso não seja colocado explicitamente durante os processos decisórios.

Com base na discussão a cima, e nas interações discutidas na Seção 3, espera-se que decisões focadas para aspectos de sustentabilidade, nas dimensões social, ambiental e econômica, resultem em melhora da imagem corporativa da empresa, dessa forma maximizando o seu potencial de prover retorno financeiro sustentável para os seus acionistas.

Portanto, em um problema de alocação de recursos relacionados à gestão dos riscos ambientais de uma empresa, o objetivo pode ser generalizado como a seleção de alternativas sustentáveis (nas dimensões ambiental, social e econômica) que resultem em um aumento do potencial da empresa de prover retorno financeiro sustentável para os seus acionistas.

4.2 Identificação de Alternativas

A identificação de alternativas para um processo decisório deve ser baseada na avaliação de informações específicas para o caso em questão, incluindo os objetivos primários da decisão e as condições de contorno para o problema.

Os objetivos primários representam o que deverá ser resolvido no problema decisório. Pode incluir, por exemplo, a definição da localização de um novo empreendimento, ou a definição da rota tecnológica para um novo processo industrial.

As condições de contorno podem incluir aspectos como restrições tecnológicas, econômicas e legais, bem como eventuais aspectos que possam representar oportunidades de ganho incorporado ao processo decisório, como redução de custos e melhora da imagem corporativa da empresa.

Considerando as discussões da Seção 4.1, as alternativas para o processo decisório devem incluir soluções sustentáveis que possam potencialmente satisfazer aos objetivos primários da decisão e ao objeto geral, de aumentar o retorno financeiro sustentável para os acionistas da empresa.

Para o propósito de definição da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta, as alternativas para um processo decisório podem ser genericamente descritas como:

- Alternativa 0: não há alocação de recursos financeiros;
- Alternativa 1: alocação de recursos financeiros com características C_{11} , C_{12} , C_{13} , ..., C_{1n} ;
- Alternativa 2: alocação de recursos financeiros com características C_{21} , C_{22} , C_{23} , ..., C_{2n} ;
- Alternativa m: alocação de recursos financeiros com características C_{m1} , C_{m2} , C_{m3} , ..., C_{mn} .

Onde a Alternativa 0 corresponde a não modificação de um estado existente, que serve como linha de base para comparação da demais alternativas. Pode compreender, por exemplo, no caso de um processo, unidade ou corporação existente, que suas atividades continuariam a ser executadas da mesma forma que são atualmente, sem modificações. No caso em que a decisão se refere à implementação de um novo processo ou unidade, por exemplo, a Alternativa 0 corresponderia à não implementação dos referidos processos ou unidades. As Alternativas 1 a m corresponderiam a diferentes modificações das condições existentes.

Os itens C_{i1} a C_{in} representam as características de cada alternativa i em relação a diferentes atributos, de 1 a n . Alguns desses atributos poderão ser relevantes ao processo decisório, afetando diretamente ou indiretamente os critérios a serem definidos para a tomada de decisão, enquanto que outros atributos poderão ser irrelevantes ao processo decisório. Para poderem ser diferenciadas entre si no processo decisório, as alternativas deverão apresentar características diferentes em pelo menos um dos atributos que sejam relevantes ao processo decisório.

Caso implementada, cada alternativa resultaria em um conjunto de condições esperadas atuais e futuras relacionadas aos seus riscos ambientais e aos impactos desses riscos no negócio. Considerando que as alternativas devam ter características diferentes em pelo menos um dos atributos relevantes ao processo decisório, as condições atuais e/ou futuras resultantes de sua implantação também deverão apresentar diferenças. Essas diferenças serão utilizadas para a comparação das alternativas. As condições resultantes da Alternativa 0, de não alocação de recursos, consistirão na linha de base para essas comparações.

4.3 Decomposição e Modelagem do Problema

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) (SAATY, 1990, 2008) (ver Seção 2.2.1) foi utilizado como base para criar uma estrutura hierárquica que reflita parte das interações discutidas nas Seções 3.2 e 3.3, de forma a possibilitar a incorporação de riscos ambientais nos processos de tomada de decisões corporativas.

Conforme discutido a Seção 4.1, considerou-se como o objetivo do primeiro nível da hierarquia o aumento do retorno financeiro sustentável para os acionistas da empresa. Considerou-se que esse objetivo do primeiro nível seja afetado por riscos

ambientais associados às atividades de um negócio, conforme discutido na Seção 3.3, bem como por outros fatores, que podem incluir aspectos operacionais, econômicos, políticos e outros que não estejam diretamente relacionados a riscos ambientais. Para o desenvolvimento da metodologia proposta nesta Tese, focou-se na avaliação dos aspectos relacionados aos riscos ambientais associados a uma atividade de negócio. Nesse caso, pode-se definir como o objetivo para esse critério no processo de tomada de decisão como sendo a minimização dos impactos negativos / maximização dos impactos positivos dos riscos ambientais de uma empresa na sua capacidade de prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas.

Informações sobre os outros aspectos mencionados acima, que não tenham relação direta com os riscos ambientais, poderiam ser avaliadas em uma análise paralela e incluídas no processo decisório com o auxílio de métodos de análise multicritério, como o AHP. Ressalta-se, entretanto, que a análise desses outros aspectos não fez parte do escopo desta Tese.

Com o propósito de definir os componentes da hierarquia no nível imediatamente inferior aos riscos ambientais, as interações entre riscos ambientais e os negócios de uma empresa, conforme discutido na Seção 3, foram divididas em três grupos, conforme apresentado a seguir.

O primeiro grupo consiste de elementos e interações entre riscos ambientais e a capacidade de uma empresa de prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas que são razoavelmente fáceis de quantificar em termos monetários com um nível satisfatório de confiança (para propósito de tomada de decisão), e que não dependam significativamente de aspectos relacionados à imagem da empresa. Esse grupo de elementos e interações é ilustrado pelas interações (a), (b) e (c) na Figura 3-3 da Seção 3.3, e pode incluir, por exemplo, custos de capital, operação e manutenção de sistemas de controle ambiental, custos para a preparação de estudos ambientais e relatórios para o propósito de conformidade com a legislação ambiental, custos com tarifas relacionadas ao uso de recursos naturais, custos com perdas de produção devido a restrições causadas por não cumprimento da legislação ambiental vigente, o valor de potenciais passivos ambientais, dentre outros.

O segundo grupo consiste de elementos e interações entre os riscos ambientais de uma empresa e sua capacidade de prover retorno financeiro

sustentável para seus acionistas que sejam difíceis de quantificar em termos monetários de com um nível satisfatório de confiança e que também não dependam significativamente de aspectos relacionados à imagem da empresa. Esse grupo de elementos e interações podem incluir, por exemplo, alterações na qualidade de componentes do meio ambiente em casos em que a informação fique restrita à empresa, limitando os eventuais impactos de imagem resultantes. Esse grupo é representado pelos próprios riscos ambientais (i.e. alterações na qualidade do meio ambiente e/ou nas condições socioeconômicas) na Figura 3-3.

O terceiro grupo de elementos e interações consiste de componentes que dependam de aspectos relacionados à imagem da empresa, conforme ilustrado pelas interações (f), (g), (h), (i), (j), (k) e (l) na Figura 3-3 da Seção 3.3. Esse grupo de elementos e interações pode incluir, por exemplo, alterações no valor de mercado de uma empresa devido a decisões de clientes afetadas por sua percepção do modo de gestão da empresa em relação aos seus riscos ambientais, dentre outros.

Com base na discussão acima, para o desenvolvimento da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta considerou-se que o primeiro grupo de elementos e interações seja representado e incluído nos processos de tomada de decisão corporativas em uma dimensão econômica, o segundo grupo em uma dimensão ambiental e o terceiro grupo em uma dimensão de imagem corporativa. Dessa forma, as dimensões ambiental, econômica, e de imagem corporativa foram selecionadas para representar os critérios para a tomada de decisão no nível da hierarquia imediatamente abaixo de riscos ambientais. A Figura 4-3 a seguir ilustra essa estrutura inicial proposta para a incorporação de riscos ambientais em processos de tomada de decisão corporativa.

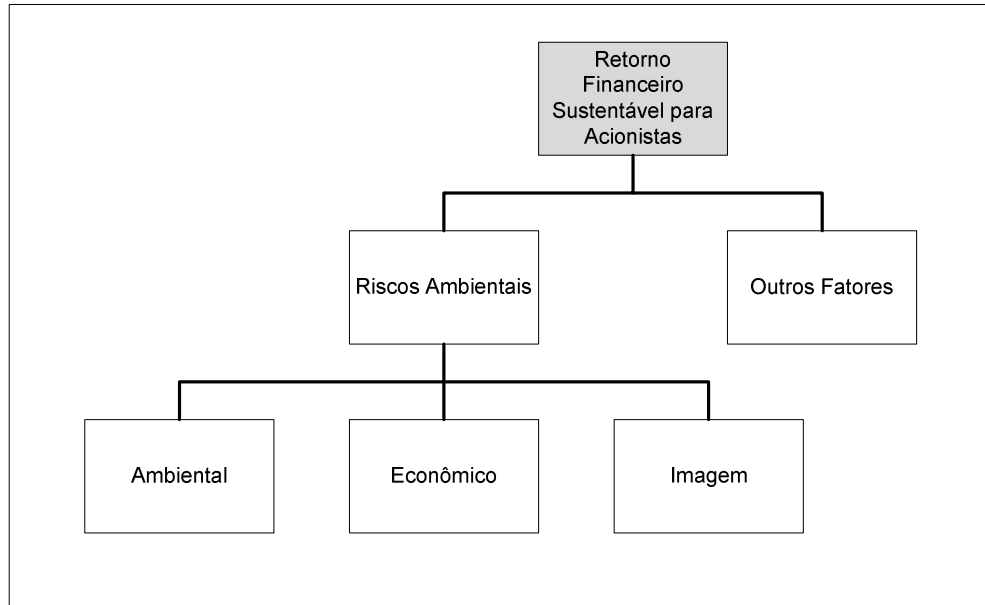


Figura 4-3 – Hierarquia inicial do problema proposta para incorporação de riscos ambientais em decisões corporativas

Fonte: Elaboração própria

Ao selecionar os três critérios indicados acima como os principais para a estrutura de tomada de decisão proposta, propõe-se utilizar informações econômicas quando estas estiverem disponíveis ou puderem ser obtidas com um nível razoável de certeza, considerando os recursos e prazo disponíveis para a análise do processo decisório. Interações mais complexas poderiam ser incluídas e avaliadas no processo de tomada de decisão nas dimensões ambiental e de imagem corporativa, sem a necessidade de valoração econômica, de forma a simplificar o processo.

Ressalta-se que as fronteiras para cada critério, ou seja, a definição de qual elemento ou interação deverá ser representado em termos econômicos, ambientais e de imagem deverá ser definida caso a caso, e irá depender da quantidade e qualidade das informações disponíveis. Como exemplo, em uma decisão sobre a seleção entre rotas de processo A e B, que apresentassem o mesmo custo de capital e de operação, mas diferentes níveis de emissões atmosféricas, caso os custos de conformidade de cada opção fossem conhecidos a priori com um nível satisfatório de confiança, o critério econômico poderia ser utilizado para avaliar esse componente do risco ambiental, caso contrário, o critério ambiental poderia ser utilizado.

O critério de imagem corporativa foi selecionado para representar parte da dimensão social afetada pelo negócio, visto que essa dimensão leva em consideração a percepção dos stakeholders a respeito de uma empresa e, conforme discutido na Seção 3.3, considera-se que essa percepção é afetada pelos impactos (riscos, considerando a perspectiva de incerteza) do negócio nos stakeholders. Segundo Riordan et al. (1997) devido à relação entre as ações das empresas e o seu impacto na percepção da imagem corporativa por parte de seus stakeholders, a imagem tem sido estudada como indicador da performance social de uma organização.

Ressalta-se que com o uso desse critério de imagem não se pretende representar todas as complexas questões sociais afetadas por um negócio, ou as complexas interações entre uma empresa e seus stakeholders, mas sim fornecer informações básicas que sejam consideradas relevantes ao processo de tomada de decisão de uma maneira simplificada.

A estrutura inicial apresentada na Figura 4-3 pode ser utilizada como base para a estruturação de um amplo espectro de decisões corporativas. A definição dos elementos dos níveis seguintes da hierarquia dependerá das especificidades do problema em análise. Entretanto, algumas considerações sobre a complementação dessa estrutura para o processo decisório podem ser feitas, conforme apresentado a seguir.

Considera-se que o critério de imagem possa ser dividido em aspectos positivos e negativos com potencial de afetar a imagem corporativa de uma empresa, e em diferentes grupos de stakeholders no próximo nível da hierarquia.

A diferenciação entre aspectos com potencial de afetar a imagem corporativa de uma empresa de maneira positiva e negativa é baseada nas considerações apresentadas na Seção 3.1 relacionadas aos efeitos de boas e más ações na reputação de uma empresa. Conforme discutido naquela Seção, a reputação de uma empresa é muito mais sensível a más ações do que a boas ações. Dessa forma, considera-se que aspectos de imagem associados a riscos ambientais negativos (e.g. associados a potenciais efeitos adversos à qualidade do meio ambiente causado pelas atividades de uma empresa) tenham um impacto muito maior na imagem de uma empresa que aspectos associados a riscos ambientais positivos (e.g. associados à potencial melhora da qualidade do meio ambiente resultante das ações de uma empresa). Dessa forma, considerando riscos

ambientais negativos e positivos com probabilidades e intensidades semelhantes, os respectivos impactos negativos e positivos na imagem de uma empresa devem ser diferentes, sendo maiores para o primeiro caso e menores para o segundo. Como resultado, o impacto de aspectos de imagem positivos e negativos na capacidade da empresa em prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas também seria diferente, sendo maior no segundo caso.

A diferenciação do critério de imagem de acordo com os grupos de stakeholders no nível seguinte da hierarquia é justificada pelas diferentes formas como sua percepção da imagem corporativa pode ser afetada pelos riscos ambientais de uma empresa, bem como pelas diferentes formas com que suas decisões podem influenciar a capacidade da empresa em fornecer retorno financeiro sustentável para os seus acionistas, conforme discutido na Seção 3. Ressalta-se que, conforme discutido naquela Seção, a formação da imagem corporativa apresenta componentes subjetivos, que podem variar para indivíduos de um mesmo grupo de stakeholders. Dessa forma, o agrupamento de stakeholders proposto para fins de avaliação de questões de imagem relacionadas a riscos ambientais consiste em uma simplificação, que tem o propósito de fornecer informações para o processo decisório.

A utilização de aspectos que podem afetar a imagem corporativa de uma empresa, em detrimento da própria imagem corporativa nos níveis inferiores desse critério foi definida com o propósito de simplificar a análise. Uma vez que a imagem corporativa depende da percepção de indivíduos sobre a empresa, a maneira mais acurada de se levantar informações sobre esse aspecto seria por meio de levantamentos e pesquisas de campo incluindo entrevistas e/ou questionários (LEWIS, 2001; ŠMAIŽIEN & ORŽEKAUSKAS, 2006; WARTICK, 2002). Ressalta-se, entretanto, que a realização de levantamentos e pesquisas de campo muitas vezes pode ser inviável em situações práticas de tomada de decisão corporativa, devido a limitações de tempo e recursos disponíveis, especialmente quando grupos de stakeholders com grande número de indivíduos estão envolvidos. Adicionalmente, outro aspecto limitante comumente verificado em decisões corporativas em empresas de capital privado refere-se a restrições quanto à disponibilização de informações aos seus stakeholders a respeito dos elementos de seus processos decisórios, que, conforme discutido na Seção 4.1, normalmente estão relacionados a questões de alocação de recursos financeiros.

Para o critério ambiental, o nível da hierarquia imediatamente abaixo pode ser dividido em componentes ecológicos (físico e biótico) e sociais, e em componentes específicos no nível seguinte da hierarquia (e.g., qualidade do ar, solo, água). Essa divisão é necessária devido à necessidade de diferenciação da importância desses componentes quando da avaliação dos riscos ambientais. Além disso, a representação desses componentes para fins de tomada de decisão requer o uso de indicadores diferentes, conforme discutido na Seção 4.3.4 mais adiante.

No caso do critério econômico, o nível da hierarquia imediatamente abaixo pode ser dividido em custos e receitas. Os níveis inferiores também poderiam ser divididos para o propósito de organização, mas como são representados pelo mesmo indicador, com a mesma importância (valor monetário no caso), essa divisão não é essencial para a estruturação do processo decisório. A diferenciação de custos e receitas proposta também visa prioritariamente aspectos de organização da estrutura do processo decisório, porém, pode ser útil em casos em que se necessite avaliar a importância relativa desses dois componentes. Considerando que a obtenção de receitas resultantes da gestão de questões ambientais na maior parte dos casos não faz parte do *core business* das empresas, esse item pode ser avaliado com uma importância diferente daquela que é dada para a redução de custos. Por outro lado, em outros casos a geração de receitas a partir da gestão de questões ambientais pode ser avaliada como item relevante para o negócio. Como exemplo desse último caso pode-se citar o caso da empresa Ambev, que decidiu priorizar a geração de receita proveniente do reaproveitamento de resíduos como subproduto para venda, gerando uma receita de R\$ 92,1 milhões e 98,26% de reaproveitamento em suas fábricas no Brasil no ano de 2011 (AMBEV, 2012).

A Figura 4-4 apresenta um exemplo de complementação da estrutura proposta para incorporação de riscos ambientais em processo de tomada de decisão até o nível da hierarquia seguinte aos critérios ambiental, financeiro e de imagem, com base na discussão acima.

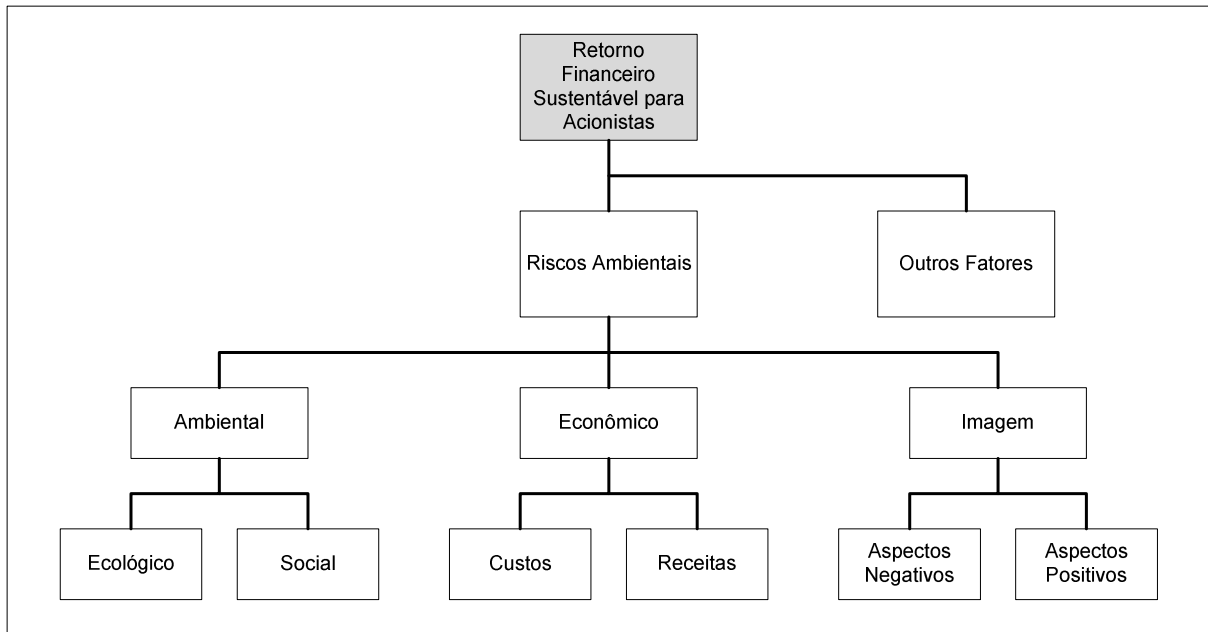


Figura 4-4 – Exemplo de complementação da hierarquia proposta para incorporação de riscos ambientais em processos decisórios corporativos até o nível seguinte aos critérios ambiental, econômico e de imagem.

Fonte: Elaboração própria

Conforme apresentado acima, a complementação da hierarquia deverá ser feita com base em informações específicas para o problema decisório em questão, até que se consiga obter critérios mensuráveis na base da hierarquia. Ressalta-se que ao completar a hierarquia deve-se tomar cuidado para evitar o viés de divisão, que é a tendência de se atribuir maior importância aos ramos com maior quantidade de subcritérios na hierarquia (HÄMALÄINE & ALAJA, 2008). Caso a complementação da hierarquia resulte em ramos desbalanceados em relação ao número de subcritérios, recomenda-se efetuar uma análise de sensibilidade para avaliar o efeito da estrutura hierárquica proposta no processo decisório.

Uma vez que a hierarquia do problema decisório tenha sido definida, os objetivos para cada subcritério podem ser estabelecidos. Considerando a hierarquia inicial e os exemplos indicados acima (Figura 4-3 e Figura 4-4), os objetivos para cada elemento da hierarquia podem ser definidos como:

- Ambiental: minimizar os riscos de efeitos adversos ao meio ambiente;
 - Ecológico: minimizar os riscos de efeitos adversos aos componentes físico e biótico do meio ambiente;

- Social: minimizar os riscos de efeitos adversos ao componente social;
- Econômico: maximizar o saldo positivo de custos e receitas associados com a gestão de riscos ambientais;
 - Custos: minimizar os custos associados a riscos ambientais;
 - Receitas: maximizar as receitas associadas à gestão de riscos ambientais (e.g. comercialização de resíduos, reduções certificadas de emissão de gases de efeito estufa);
- Imagem: maximizar o ganho de imagem da empresa resultante da gestão de riscos ambientais;
 - Aspectos negativos: minimizar aspectos negativos resultantes da gestão de riscos ambientais que possam afetar a imagem corporativa da empresa;
 - Aspectos positivos: maximizar aspectos positivos resultantes da gestão de riscos ambientais que possam afetar a imagem corporativa da empresa.

Considerando que esses objetivos são componentes de uma função objetivo de maximização do retorno financeiro sustentável para os acionistas de uma empresa resultante da gestão dos riscos ambientais associados ao negócio, os objetivos de minimização indicados acima podem ser entendidos como maximização da redução. Dessa forma, todos os objetivos podem ser tratados em uma perspectiva de maximização.

Com base na estrutura inicial do problema decisório e os objetivos apresentados acima, propõe-se que os riscos ambientais associados a um negócio possam ser incluídos nos processos de decisão corporativos de empresas de capital privado voltadas para o lucro uma sequência de etapas, resumidas na Figura 4-5 a seguir.

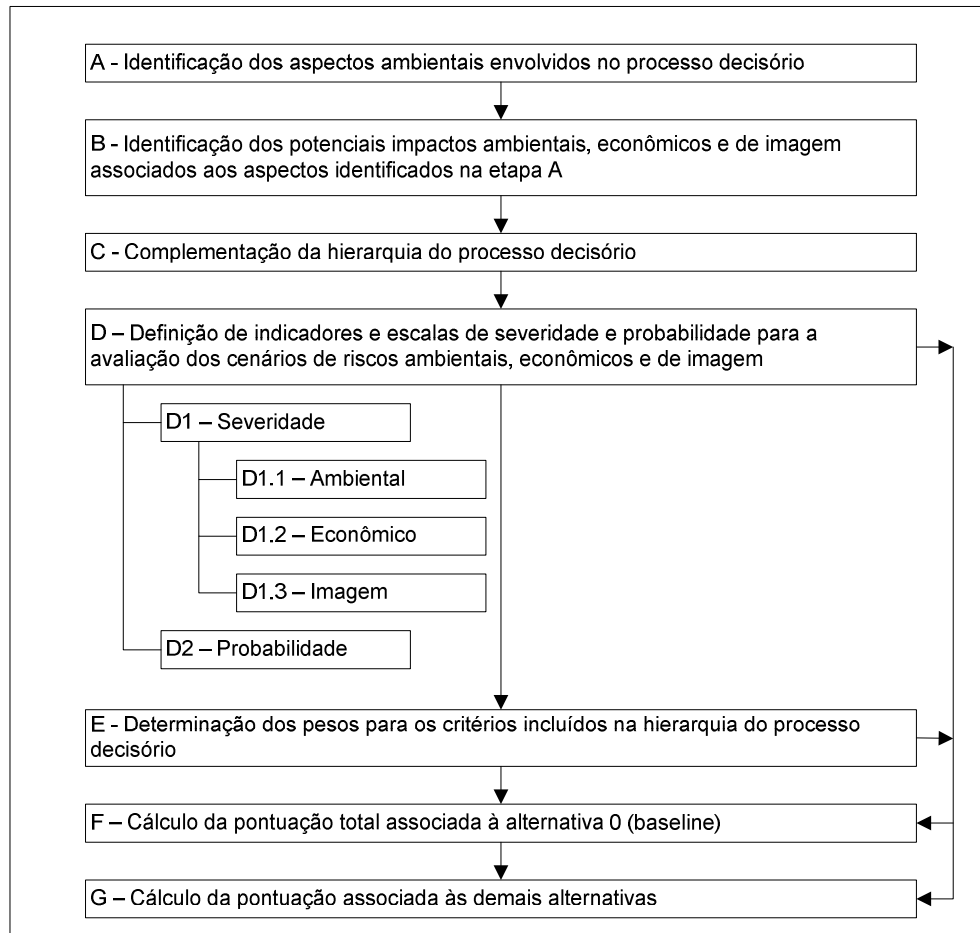


Figura 4-5 – Etapas da metodologia proposta para incorporação de riscos ambientais em processos de tomada de decisão corporativas

Fonte: Elaboração própria

Apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada uma das etapas listadas na Figura 4-5.

4.3.1 Etapa A – Identificação dos aspectos ambientais envolvidos no processo decisório

Esta etapa requer a caracterização do contexto do problema decisório e a identificação de aspectos ambientais relevantes a serem considerados no processo de tomada de decisão.

Na caracterização do contexto do processo decisório os atores da decisão devem estabelecer primeiramente um horizonte de tempo para análise, que será utilizado como base para a avaliação dos riscos ambientais associados esse processo de decisão. O horizonte de tempo deve refletir condições específicas do caso em questão, podendo corresponder, por exemplo, à vida útil de uma unidade

ou operação incluída no processo decisório, ou a duração esperada dos riscos ambientais associados à atividade do negócio considerada no processo decisório. Em alguns casos esse horizonte de tempo pode se estender muito além do período de operação de uma atividade, principalmente quando se considera questões relativas à sustentabilidade nas dimensões ambiental, econômica e social.

Um caso extremo de horizonte de tempo para a avaliação de aspectos e impactos ambientais associados a um processo decisório pode ser exemplificado na definição de alternativas de fechamento para minas de urânio. De acordo com a *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 2004), soluções para fechamento de minas de urânio devem limitar o risco para gerações futuras e minimizar a necessidade de utilização de recursos futuros, de forma que tais soluções devem ser dimensionadas visando a estabilidade das estruturas em muito longo prazo. Para fins de referência, a IAEA (2004) cita especificações da U.S. EPA, que determina dentre outros critérios para projetos de minas de urânio, que estes devem ser efetivos para até 1000 anos sempre que razoavelmente possível, ou no mínimo 200 anos. Esse elevado horizonte de tempo é justificado pela presença de radionuclídeos em instalações desse tipo, que podem representar riscos ambientais relacionados à emissão de radiação ionizante, resultantes de decaimento radioativo, por períodos superiores a milhares de anos.

A importância da seleção de horizontes de tempo apropriados para a avaliação de riscos ambientais é referenciada por Baumgärtner et al. (2002), que argumentam que discrepâncias entre os horizontes de tempo utilizados para a avaliação de impactos ambientais, e aqueles utilizados para decisões econômicas causam falhas de mercado, correspondendo a um equilíbrio de mercado para a maximização de lucros em uma condição abaixo do ótimo em termos de bem estar social.

Uma vez definido o horizonte de tempo da análise, inicialmente a identificação de aspectos deve ser focada naqueles relacionados às atividades que são objeto do processo decisório na condição atual, ou seja, considerando o momento em que o processo de decisão ocorre. Eventuais alterações dentro do horizonte de tempo dos aspectos identificados ou surgimento de novos aspectos resultantes de ações planejadas, como mudanças de processos produtivos, podem ser incluídas no processo decisório.

Adicionalmente, considerando uma perspectiva de análise de ciclo de vida, aspectos relacionados com atividades *upstream* e *downstream* em relação à

atividade em análise também poderiam ser incluídas na análise. Ressalta-se que nesse caso podem ser necessárias informações sobre atividades de outras empresas, que podem não estar disponíveis aos atores responsáveis pelo processo de decisão em questão. Dessa forma, deve-se ponderar a questão da disponibilidade e esforço para conseguir tais informações, com o ganho de qualidade no processo decisório resultante da inclusão de aspectos relacionados às atividades *upstream* e *downstream*.

Para a identificação de aspectos pode-se utilizar as definições apresentadas na Seção 2.3.1. Tais aspectos podem incluir, por exemplo:

- lançamento de uma determinada corrente de efluentes em um corpo d'água;
- captação de água em uma determinada fonte;
- consumo de energia relacionado a determinado processo;
- lançamento de emissões atmosféricas de um determinado ponto da unidade industrial;
- disposição de um determinado tipo de resíduo; etc.

Os aspectos devem corresponder a uma informação ou grupo de informações que necessitem ser analisadas individualmente para seu entendimento ou avaliação de soluções. Quando possível, deve-se evitar uma subdivisão excessiva do problema, criando um número muito grande de aspectos, pois o excesso de informações pode dificultar sua análise nas fases posteriores da aplicação da metodologia proposta.

Como exemplo, uma indústria pode apresentar diversas oficinas que geram o mesmo tipo de efluente, oleoso no caso, decorrente do mesmo tipo de processo (e.g. lavagem de peças). Poder-se-ia neste caso trabalhar com o aspecto “geração e lançamento de efluentes oleosos em oficinas” caso não fosse necessário avaliar a geração de efluente individualmente em cada uma das oficinas.

Independente da nomenclatura utilizada, é importante que os aspectos identificados compreendam a maioria das informações básicas relevantes à estruturação do processo decisório. No exemplo anterior, um analista poderia nomear o aspecto como “geração e lançamento de efluentes oleosos de oficinas” enquanto outro poderia considerar a geração e lançamento como aspectos diferentes. Qualquer dos dois analistas estaria correto desde que tanto a geração como o lançamento de efluentes fossem considerados na análise.

4.3.2 Etapa B – Identificação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem

Para a identificação de potenciais impactos associados aos aspectos identificados na Etapa A, considerou-se a possibilidade de ocorrência de eventos ao longo do horizonte de tempo definido para a análise, que poderiam intensificar os impactos associados a um determinado aspecto, ou eventualmente resultar em novos potenciais impactos a partir desses aspectos.

Tais eventos podem ser associados a incertezas internas e externas à empresa objeto da análise do problema decisório. Consideram-se incertezas internas aquelas que podem ser gerenciadas pela empresa, podendo incluir, por exemplo, a confiabilidade e/ou eficiência de sistemas de controle ambiental, e incertezas quanto à migração de contaminantes a partir de um termo fonte, dentre outros. As incertezas externas, por outro lado, são consideradas como aquelas que não podem ser controladas pela empresa, podendo incluir, por exemplo, alterações na legislação ambiental, ou mudanças no comportamento dos stakeholders, afetando sua percepção da imagem da empresa.

Uma vez identificados os aspectos associados ao problema decisório, deve-se então definir hipóteses de eventos possíveis de ocorrer no horizonte de tempo definido para a análise. Conforme apresentado acima, tais eventos podem incluir, por exemplo, falhas em sistemas de controle ambiental, migração de contaminantes a partir de um termo fonte ou alterações na legislação ambiental. As hipóteses devem compreender eventos plausíveis (i.e. deve-se evitar hipóteses absurdas ou com chances muito remotas de ocorrer), de forma a evitar um número excessivo de informações a serem analisadas no processo decisório.

Para cada aspecto ambiental deve-se então verificar quais os potenciais impactos ambientais associados aos aspectos identificados na Etapa A para duas condições, a primeira correspondente a não ocorrência de eventos e a segunda correspondente à ocorrência dos eventos identificados, conforme descrito acima.

Cada conjunto de aspecto / potencial impacto ambiental ou aspecto / evento / potencial impacto ambiental é definido como um cenário de risco ambiental na metodologia proposta, para o qual poderá ser definida uma probabilidade de ocorrência.

O levantamento dos potenciais impactos ambientais pode seguir os procedimentos previamente estabelecidos pela empresa ou orientações normativas,

como da ISO 14004 ou de outros órgãos, conforme discutido na Seção 2.3.1. Esse levantamento pode incluir inspeções de campo, revisão de documentação técnica, dentre outras fontes de informação.

Após o levantamento dos impactos ambientais, deve-se proceder ao levantamento de eventuais componentes de custos e/ou receitas ambientais associados aos riscos ambientais. Devem ser avaliados eventuais custos diretos (tipo I) e potencialmente ocultos (tipo II), conforme definidos na Seção 2.6, cujas informações normalmente podem ser obtidas nos departamentos financeiro, de meio ambiente e operacional da empresa. As receitas ambientais normalmente provêm de vendas da empresa, podendo ser levantadas junto ao seu departamento comercial. Adicionalmente pode ser verificada a eventual ocorrência de custos dos tipos III, IV e V, conforme discutido na Seção 2.6. Ressalta-se entretanto que, conforme discutido na Seção 4.3, devido ao aumento da complexidade na quantificação dos custos ambientais à medida que se avança dos custos do tipo I para os custos do tipo V, a proposição é que essas interações mais complexas possam ser representadas nas dimensões ambiental e de imagem corporativa, de forma de evitar quantificações de custo muito complexas ou com grande incerteza.

Cada conjunto de aspecto / potencial impacto econômico ou aspecto / evento / potencial impacto econômico é definido como um cenário de risco econômico na metodologia proposta.

Para a identificação dos potenciais impactos de imagem deve-se primeiramente definir os stakeholders de interesse para a análise do processo decisório em questão. Propõe-se utilizar a lista definida no início da Seção 3 como base, excetuando-se os acionistas, visto que estes já estão incorporados no objetivo do processo decisório, relativo ao seu retorno financeiro sustentável. Dessa forma, pode-se utilizar como base a seguinte listagem de stakeholders:

- credores;
- empregados;
- fornecedores;
- clientes;
- comunidades vizinhas;
- reguladores;
- sociedade civil.

Ressalta-se que nem sempre será necessário incluir todos os grupos de stakeholders listados acima. A definição daqueles relevantes a um processo decisório específico dependerá do contexto identificado para a decisão.

A definição dos stakeholders de interesse para o processo decisório e a identificação dos potenciais impactos de imagem preferencialmente deverá ser avaliada ou validada junto aos representantes da empresa que lidam com suas partes interessadas (diretores, gerentes, relações públicas, etc.), bem como junto a fontes possam conter informações sobre a percepção das partes interessadas da empresa (imprensa local, associações de moradores vizinhos, etc.).

Cada conjunto de aspecto / potencial impacto de imagem ou aspecto / evento / potencial impacto de imagem é definido como um cenário de risco de imagem corporativa na metodologia proposta.

A fim de exemplificar os itens discutidos acima, pode-se considerar um exemplo no qual um dos aspectos identificados seja o lançamento de efluentes de uma indústria. Ter-se-ia a alteração da qualidade da água no corpo receptor como um impacto ambiental. Na hipótese de falha no sistema de tratamento de efluente (evento), poderia ocorrer uma intensificação do impacto ambiental de alteração da qualidade da água do corpo receptor, bem como impactos econômicos e de imagem caso sejam aplicadas multas por não conformidade devido ao lançamento não controlado e divulgação dessa informação. Nesse exemplo, ter-se-ia, portanto, quatro cenários de risco associados a um único aspecto, cada um com uma probabilidade de ocorrência diferente: (i) lançamento de efluente (aspecto) resultando em alteração da qualidade da água do corpo receptor (impacto); (ii) lançamento de efluentes (aspecto) não controlado (evento) causando intensificação da alteração da qualidade da água (impacto); (iii) lançamento de efluentes (aspecto) não controlado (evento) resultando em multa por não conformidade (impacto); (iv) lançamento de efluentes (aspecto) não controlado (evento) resultando em danos de imagem (impacto).

A diferenciação dos cenários de risco é necessária devido aos mesmos envolverem diferentes probabilidades de ocorrência. Voltando ao exemplo anterior, as probabilidades de cada um dos cenários provavelmente seriam diferentes, pois o lançamento não controlado de efluentes certamente causaria intensificação do impacto ambiental, porém não implicaria necessariamente em impactos econômicos

e de imagem, cuja ocorrência dependeria de variáveis (incertezas) adicionais, como ação dos órgãos fiscalizadores, imprensa, etc.

A identificação de riscos ambientais, econômicos de imagem nesta fase irá subsidiar a complementação da hierarquia do problema na Etapa C. Dessa forma, é necessária a diferenciação das categorias de risco em cada uma das dimensões, ambiental, econômica e de imagem, conforme discutido no início desta Seção.

Ao final desta etapa, recomenda-se utilizar uma planilha para a consolidação de dados, conforme ilustrado na Tabela 4-1. Os aspectos, eventos e potenciais impactos seriam descritos sucintamente na planilha para facilitar o gerenciamento das informações nas fases posteriores da utilização da metodologia.

Tabela 4-1 – Exemplo de planilha para consolidação da identificação dos riscos na metodologia proposta

Aspectos	Eventos	Potenciais Impactos	Tipo de Risco ^(a)	Categoria ^(a)	Ref
Aspecto 1	Nenhum	Impacto 1			1.0.1
		Impacto 2			1.0.2
		Impacto n			1.0.n
	Evento 1	Impacto 1			1.1.1
		Impacto 2			1.1.2
		Impacto n			1.1.n
	Evento n	Impacto 1			1.n.1
		Impacto 2			1.n.2
		Impacto n			1.n.n
Aspecto n	Nenhum	Impacto 1			n.0.1
		Impacto 2			n.0.2
		Impacto n			n.0.n
	Evento 1	Impacto 1			n.1.1
		Impacto 2			n.1.2
		Impacto n			n.1.n
	Evento n	Impacto 1			n.n.1
		Impacto 2			n.n.2
		Impacto n			n.n.n

(a) Ambiental; Econômico; Imagem

(b) e.g. ecológico / qualidade de água; ecológico / qualidade do ar; custo; receita; imagem negativa / empregados; imagem negativa / vizinhos.

Fonte: Elaboração própria

O estudo de caso apresentado na Seção 5 apresenta um exemplo de preenchimento da Tabela 4-1.

4.3.3 Etapa C – Complementação da hierarquia do processo decisório

Uma vez que os riscos ambientais, financeiros e de imagem tenham sido identificados, a hierarquia do problema decisório em análise pode ser complementada.

Considera-se como base para o desenvolvimento da hierarquia do problema a hierarquia inicial apresentada na Figura 4-3. Em muitos casos, o exemplo apresentado na Figura 4-4 também poderia ser utilizado como base para essa complementação.

Os tipos e categorias de riscos identificados na Etapa B devem primeiramente ser agrupados, com o objetivo de definir as tipologias de riscos que poderão ser incluídas na estrutura do processo decisório. Esses grupos devem ser inseridos a partir do topo para a base da hierarquia, até que se obtenha critérios mensuráveis na sua base, observando as considerações apresentadas no início desta Seção sobre a complementação da hierarquia de processos decisórios.

4.3.4 Etapa D – Definição de indicadores e escalas de severidade e probabilidade

A definição de indicadores e escalas de severidade e de probabilidade nesta etapa também deve ser baseada em informações específicas para o problema decisório em análise, e visa a representação dos riscos em termos numéricos. Para isso, utiliza-se a definição básica de risco apresentada na Seção 2.5:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \times \text{Severidade}$$

Os indicadores de severidade serão utilizados para representar os critérios na base da hierarquia definida para o processo decisório, enquanto que o indicador de probabilidade será utilizado para representar a possibilidade de ocorrência de cada um dos cenários de risco identificados na Etapa B.

Apresenta-se a seguir algumas considerações para a seleção dos indicadores de severidade e de probabilidade.

D.1 – Indicadores e escalas de severidade

D.1.1 – Indicadores ambientais

Considerando-se o propósito da análise incluída na metodologia proposta, a severidade dos impactos ambientais idealmente deve ser representada por indicadores de condições ambientais (ISO, 2004), conforme discutido na Seção 2.4. Na seleção dos indicadores a serem utilizados no processo decisório, deve-se considerar, dentre outros fatores, a clareza do indicador (i.e. o indicador não deve levar a interpretações equivocadas dos resultados), os custos de coleta de dados, a qualidade e confiabilidade dos dados disponíveis e escalas de tempo e de espaço apropriadas (SEGNSTAM, 1999). Exemplos de indicadores apresentados pela International Organization for Standardization (ISO, 1999) podem ser utilizados como guia para a definição de indicadores para a representação de riscos ambientais.

Para a definição das escalas para cada tipo de indicador, propõe-se o uso das técnicas de agregação por valores absolutos (SAATY, 1990) e método de classificação (SAATY, 2008). A utilização desses métodos requer primeiramente a identificação o espectro possível de valores que cada indicador poderia assumir no processo decisório em análise. Esse espectro de valores é então dividido em grupos, em uma ordem descendente, do grupo representando os impactos com valores mais elevados para o grupo representando os impactos com os menores valores. Os grupos de valores são então comparados em pares utilizando o método AHP (SAATY, 1990; 2008), conforme apresentado na Seção 2.2.1, para determinar numericamente a importância relativa de cada grupo considerando o atendimento do critério ao qual estão diretamente vinculados. Esses métodos permitem o uso de valores numéricos, quando disponíveis, ou estimativas qualitativas do nível de impacto, como baixo, médio e alto.

Para o primeiro caso, de utilização de valores numéricos, pode-se considerar, por exemplo, um indicador de qualidade do ar cujo possível espectro de valores possa ir de 0 a 100 unidades representativas da qualidade do ar (e.g., concentração de material particulado em suspensão), representando respectivamente um nível mínimo de alteração da qualidade do ar e o nível máximo de alteração da qualidade do ar para o caso em questão. Esses valores poderiam ser agrupados em (i) 0 a 19, (ii) 20 a 39, (iii) 40 a 59, (iv) 60 a 79, e (v) 80 a 100, avaliando-se em seguida a importância relativa de cada grupo em relação à minimização de impactos à

qualidade do ar. Para o uso de indicadores qualitativos, poderia ser considerado, por exemplo, impactos na qualidade do solo, definidos como (i) insignificantes, (ii) moderados ou (iii) significativos. Do mesmo modo que para indicadores quantitativos, esses indicadores seriam comparados em pares utilizando o método AHP para determinar sua importância relativa em relação à minimização do impacto de alteração da qualidade do solo.

Considerando os objetivos dos componentes da estrutura do processo decisório definidos anteriormente, tem-se que para a dimensão ambiental tal objetivo seria a minimização (ou maximização da redução) dos efeitos adversos ao meio ambiente associados a uma atividade de negócio. Dessa forma, níveis de severidade correspondentes a menores impactos negativos teriam maior importância quando comparado aos níveis de severidade correspondentes aos impactos negativos mais significativos. Considerando os exemplos acima, ter-se-ia para o indicador de qualidade do ar que o grupo (i) teria maior importância que o grupo (ii) e assim por diante. O mesmo seria verificado para o indicador de qualidade do solo, onde o grupo (i) seria mais importante que o grupo (ii), que seria mais importante que o grupo (iii).

Trabalhando-se com os métodos de agregação e classificação utilizando o método AHP, conforme descrito acima, os valores das escalas de severidade são convertidos para uma escala arbitrária adimensional, que representa a importância relativa de cada grupo de valor da escala relativo ao indicador que esses grupos representam. Isso irá facilitar a avaliação posteriormente, por unificar os indicadores em uma única escala arbitrária.

D.1.2 – Indicadores econômicos

Impactos econômicos podem ser expressos em termos monetários, como valores absolutos (e.g. Reais, Dólares) ou em termos relativos normalizados por algum indicador (e.g. percentual da receita operacional).

Assim como discutido para as escalas de impactos ambientais, pode recorrer ao artifício de utilização de faixas de valores monetários, em detrimento de valores específicos. Um dos benefícios da utilização de faixas seria o de facilitar a comparação dos valores (no lugar de um número infinito de possibilidades, ter-se-ia um número finito de grupos). Outro benefício seria que as faixas de valores seriam

mais apropriadas para contabilizar a incerteza envolvida nas estimativas de custo, o que é intrínseco a estimativas dessa natureza.

Inicialmente considerou-se a utilização do método AHP para avaliar a importância relativa dos grupos de valores representativos do critério econômico, de forma a se estabelecer os valores para esses indicadores em uma escala arbitrária de importância, conforme discutido acima para os indicadores ambientais. Verificou-se, entretanto, que o método AHP não possibilitava uma representação apropriada de grupos de valores financeiros, cuja importância deveria ser linearmente proporcional a esses valores. Para exemplificar, em uma escala que incluísse grupos de valores de R\$ 0,00 a R\$ 2,00; R\$ 2,01 a 4,00, R\$ 4,01 a 6,00, R\$ 6,01 a R\$ 8,00 e R\$ 8,01 a R\$ 10,00, esperar-se-ia que a razão entre as importâncias do último e do primeiro grupo fosse da ordem de quatro a cinco, a razão entre as importâncias do penúltimo e do primeiro grupo fosse da ordem de 3 a 4, e assim por diante. Não foi possível reproduzir essas razões de importância utilizando o método AHP.

Como alternativa a utilização do método AHP, propõe-se que seja definida uma escala linear de importância para os indicadores econômicos, proporcional à razão entre o maior valor de cada grupo de valores e o maior valor do maior grupo de valores. Para o exemplo acima, os grupos de valores poderiam ser representados pelos valores 0,2 (R\$ 2,00/R\$ 10,00), 0,4 (R\$ 4,00/R\$ 10,00), 0,6 (R\$ 6,00/R\$ 10,00), 0,8 (R\$ 8,00/R\$ 10,00) e 1 (R\$ 10,00/R\$ 10,00) em uma escala arbitrária adimensional.

Conforme discutido anteriormente nesta Seção, os objetivos associados à dimensão econômica foram considerados como minimização (i.e. maximizar redução) de custos e maximização de receitas associadas à gestão dos riscos ambientais de uma empresa. Dessa forma, faixas de custos menores teriam maior importância no ramo da hierarquia associado a custos ambientais, ao passo que faixas de receita maiores teriam maior importância no ramo da hierarquia do processo decisório associado a receitas.

D.1.2 – Indicadores de imagem

A definição de indicadores e escala de imagem é uma tarefa muito mais desafiadora quando comparada a indicadores e escalas para avaliação de impactos ambientais e econômicos. Conforme discutido anteriormente, assumiu-se como premissa que não serão realizados levantamentos de campo ou pesquisas devido a

restrições de tempo e orçamento que normalmente são inerentes à condução de processos decisórios em empresas de capital privado orientadas para o lucro. Dessa forma, considerou-se que a avaliação de impactos na imagem corporativa de uma empresa decorrentes de seus riscos ambientais seria feita com base em aspectos que podem afetar essa imagem.

Uma proposta para indicadores e escalas de imagem, e que foi utilizada no estudo de caso apresentado na Seção 5, consiste em definir o indicador em termos de intensidade e extensão. A intensidade seria relacionada ao potencial da informação sobre os riscos ambientais de uma empresa de alterar as decisões dos stakeholders em relação ao negócio, e a extensão seria associado ao número relativo (e.g. percentual) de indivíduos em cada grupo de stakeholders que poderiam ter sua percepção da empresa alterada nesse determinado nível. A Tabela 4-2 apresenta um exemplo para a definição dos indicadores de impactos de imagem, que seria utilizado para cada um dos grupos de stakeholders incluídos no processo decisório.

Tabela 4-2 – Exemplo de indicadores e escala para avaliação de impactos de imagem na metodologia proposta

Intensidade	Extensão (% dos stakeholders)	Escala
Potencial significativo de afetar as decisões dos stakeholders em relação à empresa.	> 50%	A
	10% a 50%	B
	< 10%	C
Potencial moderado de afetar as decisões dos stakeholders em relação à empresa.	> 50%	D
	10% a 50%	E
	< 10%	F
Potencial mínimo de afetar as decisões dos stakeholders em relação à empresa.	> 50%	G
	10% a 50%	H
	< 10%	I

Fonte: Elaboração própria

A definição das escalas para representar os impactos de imagem para cada grupo de stakeholders seria realizada utilizando o método AHP⁵ para avaliação das importâncias relativas de cada item da tabela acima em relação ao atendimento do critério ao qual o indicador está diretamente vinculado (e.g. impactos de imagem negativos para vizinhos). Para a definição das escalas é necessário primeiramente comparar a importância relativa da intensidade e extensão para o tipo de impacto de imagem (negativo ou positivo) e grupo de stakeholders em questão. Em um segundo momento é necessário comparar as importâncias relativas dos valores de intensidade (e.g. significativo, moderado e mínimo no exemplo acima) e faixas de extensão (e.g. > 50%; 10 a 50%; e < 10% do número de indivíduos no grupo de stakeholders potencialmente afetado, conforme exemplo acima), de forma a determinar a importância relativa desses valores relativos à intensidade e à extensão, respectivamente. Por último, efetua-se a agregação das importâncias relativas de intensidade e extensão para cada componente da escala (i.e. valores “A” a “I” no exemplo acima), para se determinar os valores numéricos correspondentes a esses componentes.

Assim como discutido para os indicadores ambientais e econômicos, a escala dos indicadores de imagem obtida com o uso do método AHP seria representada por valores em uma escala arbitrária adimensional.

Um exemplo de definição de valores para a escala de impactos de imagem é apresentado no estudo de caso na Seção 5.

Considerando os objetivos previamente definidos para a dimensão de imagem na estrutura do processo decisório, para impactos de imagem negativos os valores da escala com menores intensidades e extensões teriam maior importância que aqueles com maiores intensidades e extensões. Ou seja, para impactos negativos à imagem, o valor “I” da escala seria prioritário para processo decisório, enquanto que o valor “A” seria o menos desejável. A importância dos valores intermediários da escala teria essa mesma tendência (i.e. do valor “I” para o valor “A”), mas não necessariamente seguiria essa ordem, dependendo das importâncias atribuídas à abrangência e à extensão. Por exemplo, comparando-se os valores “F” e “G” da escala apresentada na Tabela 4-2, o segundo teria uma maior importância relativa caso se considere a intensidade e a extensão com o mesmo nível de importância.

⁵ Liou e Chuang (2009) apresentam uma abordagem utilizando o método AHP para quantificar a imagem corporativa para empresas do setor de transporte aéreo utilizando uma análise multicritério.

Por outro lado, caso se defina que a extensão do potencial impacto é muito mais relevante que a intensidade, o valor “F” da escala poderia apresentar uma maior importância quando comparado ao valor “G”, visto que representaria impactos para um percentual inferior de indivíduos desse grupo de stakeholders.

A escala apresentada na Tabela 4-2 também poderia ser utilizada para a avaliação de impactos positivos de imagem associados à gestão dos riscos ambientais de uma empresa. Ressalta-se, entretanto, que a ordem de importâncias seria inversa, ou seja, o valor “A” teria uma importância maior que o valor “I”. Além disso, as importâncias relativas de intensidade e extensão, e dos valores desses componentes (e.g. significativo, moderado e mínimo; e > 50% 10 a 50%, e < 10% no exemplo acima) poderiam ser diferentes daqueles utilizados para o caso de impactos negativos de imagem.

Ou outro aspecto a ser considerado é que, conforme discutido nas Seções 3 e 4.3.2, os grupos de stakeholders podem apresentar diferentes formas de perceber os riscos ambientais de uma empresa, de forma que pode ocorrer diferenças nas importâncias dos valores da escala de imagem para diferentes grupos de stakeholders. Dessa forma, a escala de impactos de imagem deve ser revista e, caso necessário, ajustada para cada grupo de stakeholders.

Ressalta-se ainda que a proposição é que se mantenha uma escala de impactos de imagem simplificada, conforme exemplificado na Tabela 4-2 acima, visando reduzir a complexidade das avaliações necessárias à análise do processo decisório.

D.2 – Indicador e escala de probabilidade

A utilização de valores de probabilidade na metodologia proposta visa representar a incerteza associada à ocorrência dos cenários de risco identificados na Etapa B.

A incerteza pode ser considerada como um dos critérios para avaliar a significância de impactos ambientais (NOH & LEE, 2003), visto que pode diferenciar cenários com o mesmo nível esperado de severidade de impactos. Sigel et al. (2010) argumentam que nas decisões envolvendo questões ambientais a incerteza apresenta natureza subjetiva, visto que, devido às complexas interações entre as atividades de uma empresa e o meio ambiente (ver Seção 3.2), muitas vezes não se conhece todos os possíveis resultados em termos de impactos ambientais. Além

disso, esse autor pondera que essas interações complexas muitas vezes podem levar a impactos ambientais com características únicas, cuja probabilidade de ocorrência não pode ser estimada com base na análise de frequência de eventos semelhantes.

Considerando essa natureza subjetiva da incerteza implícita em processos decisórios envolvendo riscos ambientais, a probabilidade subjetiva foi selecionada para representar a incerteza associada aos cenários de risco a serem avaliados na metodologia proposta. Considerou-se ainda que essa incerteza seja representada de forma discreta, ou seja, assumindo-se que há um número finito de possíveis resultados a serem avaliados (ver Seção 2.5.1).

Conforme apresentado na Seção 2.5.1, Clemen (1996) apresenta três métodos para a determinação de probabilidades subjetivas discretas, o primeiro sendo uma indicação direta pelo tomador de decisão sobre o seu grau de confiança a respeito da ocorrência de um evento, e os outros dois baseados em abordagens de loterias. Para a metodologia proposta considerou-se o uso do método de indicação direta da probabilidade.

Para fins de determinação dos valores de probabilidade, os atores da decisão devem indicar, portanto, qual seu nível de confiança sobre a ocorrência dos cenários de risco identificados dentro do horizonte de tempo previamente definido. Valores de probabilidade iguais a 1 seriam utilizados para expressar certeza, representando uma confiança absoluta que o cenário de risco iria ocorrer. Isso seria aplicável, por exemplo, aos cenários que envolvessem somente aspectos e impactos, sem a necessidade de ocorrência de eventos (ver Seção 4.3.2). Níveis mais baixos de confiança sobre a ocorrência dos cenários de risco no horizonte de tempo considerado para o processo decisório seriam representados por valores de probabilidade menores que 1 e maiores que 0.

A Figura 4-6 ilustra a escala de probabilidade considerada para a metodologia proposta.

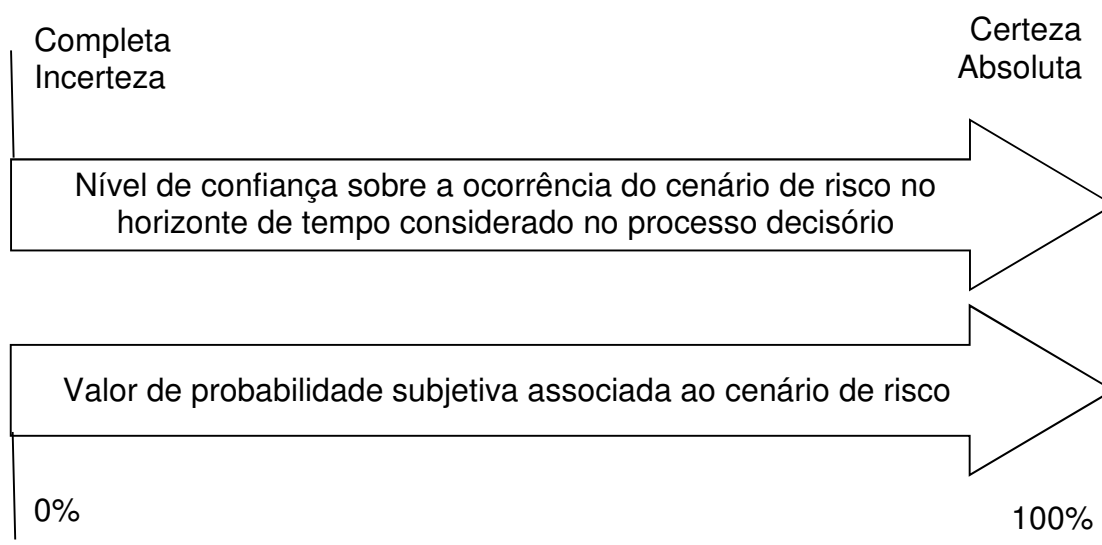


Figura 4-6 – Escala de probabilidade subjetiva considerada para a metodologia proposta.

Fonte: Elaboração própria

Ressalta-se que, conforme discutido na Seção 4.3.2, na identificação dos cenários de risco deve-se evitar incluir eventos cuja probabilidade de ocorrência seja muito baixa, a fim de limitar a quantidade de informações a serem avaliadas e simplificar a análise do problema decisório.

Propõe-se que a aplicação de conceitos e escalas de probabilidade na metodologia proposta não fique rígida aos itens apresentados acima, de forma a possibilitar eventuais avaliações mais elaboradas para a definição de valores de probabilidade, como os métodos de loteria descritos acima, caso se julgue necessário e viável, em vista do tempo e recursos disponíveis para a avaliação do processo decisório.

4.3.5 Etapa E – Determinação dos pesos incluídos na hierarquia do processo decisório

Na metodologia proposta a definição dos pesos dos critérios de decisão deve ser feita com base em informações específicas do caso em questão, de forma a se obter a importância relativa de cada critério no processo de tomada de decisão. Propõe-se que essa definição de pesos seja feita com o auxílio do método AHP (ver Seção 2.2.1), que consiste em uma comparação em pares da importância relativa de

cada critério em satisfazer o objetivo do critério no nível imediatamente superior ao qual estão vinculados.

Neste ponto os atores da decisão já deverão ter definidas quais as interações serão avaliadas nas dimensões ambiental, econômica e de imagem (i.e. fronteira de cada critério), de forma a determinar a importância relativa desses critérios em relação ao objetivo do critério imediatamente superior (riscos ambientais), definido como minimizar os impactos negativos / maximizar os impactos positivos dos riscos ambientais de uma empresa na sua capacidade de prover retorno econômico sustentável para seus acionistas.

As importâncias relativas dos critérios nos níveis inferiores da hierarquia devem ser obtidas de forma semelhante, utilizando o método AHP.

CLEMEN (1996) pondera que os pesos de cada critério devem ser atribuídos pelo tomador de decisão ou grupo responsável pelas decisões, considerando a importância relativa que a variação dos valores de cada critério teria no processo decisório. Dessa forma, recomenda-se para a definição dos pesos dos critérios que as escalas de valores de severidade definidas na Etapa D sejam consideradas, visto que elas serão determinadas com base nos possíveis valores que os indicadores poderão assumir no processo decisório.

O estudo de caso na Seção 5 exemplifica a determinação de pesos para os critérios para a tomada de decisão.

É esperado que os pesos dos critérios para o processo decisório provavelmente variem de empresa para empresa e mesmo entre unidades de uma mesma empresa, pois esses pesos incorporam fatores relacionados à política da empresa, fatores locais, temporais e mesmo pessoais dos tomadores de decisão. Como exemplo, espera-se que uma empresa cuja unidade industrial esteja sendo alvo de manifestações públicas contrárias às suas práticas de gestão ambiental dê mais importância (maior peso) aos critérios de imagem e ambiental, que uma empresa que esteja sendo pressionada por seus acionistas para gerar resultados financeiros positivos.

4.3.6 Etapa F – Cálculo da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base)

A pontuação compreende a atribuição de valores às probabilidades de ocorrência e severidades das consequências dos cenários de risco identificados nas

Etapas A e B, utilizando-se das escalas previamente definidas na Etapa D, conforme descrito na Seção 4.3.4. Os valores são então ponderados pelos pesos da hierarquia do processo decisório, definidos na Etapa E. Dessa forma, a determinação da pontuação compreende o cálculo do risco associado a cada cenário (Risco = Probabilidade x Severidade) e a ponderação desses riscos utilizando-se os pesos dos critérios.

Uma vez que se utilize escalas arbitrárias adimensionais para a representação dos indicadores ambientais, econômicos e de imagem, conforme discutido na Seção 4.3.4, os resultados do cálculo da pontuação também serão expressos em uma escala arbitrária adimensional.

A seleção dos valores de probabilidade a serem aplicados para os cenários de risco identificados no processo decisório deve ser feita pelo avaliador ou por um conjunto de avaliadores baseado em experiências profissionais, bancos de dados, informações oficiais (e.g. anúncio do governo que a cobrança pelo uso da água em determinado local será implantada em cinco anos), dentre outras informações. O aumento do nível de informação disponível sobre os componentes e condições de contorno do processo decisório, bem como a utilização de estimativas combinadas a partir de valores obtidos por diferentes analistas (WIEGMANN, 2005; ARIELY et al., 2000; WALLSTEN et al., 1997) pode ajudar a aumentar o nível de consistência das estimativas de probabilidade.

Para eventos que possam se repetir ao longo do período considerado como horizonte de avaliação deve-se, quando possível, atribuir valores de probabilidade que correspondam a todas as ocorrências esperadas desses eventos. Nesse caso, a severidade do cenário de risco também deve refletir as possíveis múltiplas ocorrências das consequências.

Para a definição dos valores de severidade das consequências dos cenários de risco, deve-se utilizar informações específicas do caso em análise, que poderão ser complementadas e/ou validadas com informações de outros casos semelhantes. Essa tarefa cabe aos analistas da decisão, que nesse caso deverão ter embasamento técnico a respeito dos critérios em análise. Quando disponíveis, dados numéricos obtidos de monitoramentos, modelagens, cálculos de engenharia, pesquisas e outros tipos de estudo deverão ser priorizados para subsidiar a seleção dos valores de severidade para cada indicador, de forma a reduzir o caráter de subjetividade da análise.

Como exemplo da estimativa de valores numéricos, um indicador de qualidade de água que seja representado por concentrações de parâmetros de interesse em um corpo d'água a jusante de um ponto de lançamento de efluentes poderia ser calculado por balanço de massa, caso não se disponha de dados de monitoramento desse corpo receptor. Para isso, seriam utilizados dados de vazões do efluente e do corpo receptor e de concentrações dos parâmetros de interesse no efluente. Como a avaliação das alternativas na metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta é feita por comparação entre essas alternativas, e não por valores absolutos, eventuais aproximações, como a não consideração de concentrações de contaminantes no corpo receptor à montante do ponto de lançamento de efluentes, possivelmente não resultariam em erros significativos no processo decisório. Nesse caso específico, a alteração da qualidade da água em relação às condições de background seria mais relevante que valores absolutos de concentração.

Uma vez que se atribua valores de probabilidade e de severidade das consequências para cada um dos cenários de risco identificados no processo decisório em análise, os riscos associados a esses cenários podem ser calculados e posteriormente ponderados, utilizando-se os pesos dos critérios definidos na Etapa E. Os valores de risco ponderado de cada cenário, expressos em uma escala arbitrária adimensional, devem então ser somados para a obtenção da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base). A equação a seguir ilustra esse procedimento de cálculo.

$$S_0 = \sum_{i=1}^n I_i \times P_i \times w_i \quad (4.1)$$

Onde S_0 é a pontuação total associada à Alternativa 0; i de 1 a n corresponde aos cenários de risco identificados na etapa B; I é a severidade dos impactos, determinada utilizando-se as escalas definidas na Etapa D1, P é a probabilidade de ocorrência do cenário de risco, determinada utilizando-se a escala definida na Etapa D2, e w é o peso combinado do critério que está sendo medido nesse cenário de risco, definido na Etapa E.

Além da obtenção da pontuação total associado à linha de base (alternativa 0), pode ser desejável obter as pontuações totais associadas a cada aspecto

identificado na Etapa A. Considerando que os valores obtidos estarão ponderados pelos pesos dos critérios, e serão representados em uma mesma escala arbitrária adimensional, os valores totalizados para cada aspecto poderão ser comparados entre si para identificar relevância relativa desses aspectos no processo decisório em análise.

O valor de risco total associado a cada aspecto pode fornecer uma informação preliminar ao tomador de decisão sobre quais desses aspectos representa maiores riscos, merecendo uma atenção especial em termos da solução do problema. Caso necessário, as alternativas identificadas para o problema decisório podem ser reavaliadas e ajustadas para focar nesses aspectos que representam maiores riscos.

4.3.7 Etapa G – Cálculo da pontuação associada às demais alternativas

Utilizando-se a mesma abordagem descrita na Etapa F, as pontuações totais associadas com as demais alternativas (outras que a linha de base) podem ser calculadas na Etapa G, resultando em valores de S_1 a S_m (onde m é o número de alternativas consideradas no problema decisório).

Para cada alternativa deve haver alteração de valores de probabilidade e/ou de severidade das consequências para pelo menos um cenário de risco quando comparado à Alternativa 0, resultando em pontuações totais diferentes daquela obtida para a alternativa correspondente à linha de base.

Ressalta-se que o requerimento de alteração dos valores de probabilidade e/ou severidade associados aos cenários de risco para as demais alternativas, quando comparada à Alternativa 0, decorre da definição das alternativas para o processo decisório, apresentada na Seção 4.2. Conforme descrito naquela Seção, as alternativas devem apresentar características diferentes em pelo menos um atributo que seja relevante ao processo decisório.

Ressalta-se ainda, que os valores dos pesos dos critérios utilizados para o cálculo da pontuação para a Alternativa 0 deverão ser mantidos para o cálculo das pontuações das demais alternativas, alterando-se apenas os valores de probabilidade e/ou severidade.

É importante que sejam mantidos as mesmas premissas para a determinação dos valores de probabilidades e severidades na avaliação de todas as alternativas envolvidas em um processo decisório, de forma a minimizar discrepâncias

resultantes de aspectos subjetivos (i.e. julgamento dos analistas da decisão) quando da comparação dos resultados. Dessa forma, sempre que possível deve-se utilizar o mesmo analista ou grupo de analistas para a atribuição de valores de probabilidade e severidade e cálculo dos riscos para todas as alternativas envolvidas no processo decisório.

Considerando a perspectiva econômica incluída na análise, o investimento associado à implantação das demais alternativas deve ser considerado para fins de obtenção da pontuação total. Para isso, propõe-se que os custos de capital e operação e manutenção (O&M) de cada alternativa sejam levantados, convertidos para valores na escala de indicadores econômicos definida na Etapa D.2, e a pontuação correspondente seja incluída no cálculo da pontuação total. Nesse caso, os custos de capital e O&M das alternativas poderiam ser considerados como consequências de um cenário de risco cuja ocorrência é certa, ou seja, a alternativa somente seria viabilizada mediante o investimento correspondente aos seus custos de capital e O&M. Dessa forma a probabilidade associada seria igual a 1. Visto que esses custos seriam representados na mesma escala arbitrária adimensional, poderiam ser somados ao resultado obtido na aplicação da equação (4.1) acima para a determinação da pontuação total associada a cada alternativa considerada no processo decisório.

4.4 Comparação e escolha da melhor alternativa

A comparação das alternativas visa determinar o risco residual que seria resultante de sua implementação. Dessa forma, todas as demais alternativas consideradas no processo decisório devem ser comparadas à Alternativa 0, para determinar quais as potenciais alterações em termos de riscos seriam esperadas em relação à situação da linha de base.

As alternativas devem ser ordenadas com base na sua pontuação total, obtidas nas Etapas F e G, indicadas na Seção 4.3.6 e 4.3.7. Considerando a estrutura incluída na metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta e a perspectiva de maximização (ou maximização da redução) do problema de decisão, espera-se que alternativas com pontuações totais maiores que a Alternativa 0 (i.e. não investimento), caso implementadas, tenham um impacto positivo na capacidade da empresa em prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas. A alternativa

com a maior pontuação representaria a mais apropriada em uma perspectiva de maximização do retorno financeiro sustentável para os acionistas de uma empresa resultantes da gestão de seus riscos ambientais.

Da mesma forma que alternativas com pontuações superiores à Alternativa 0 representariam um potencial impacto positivo, as alternativas com pontuações inferiores à linha de base representariam um potencial impacto negativo na capacidade da empresa em prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas. Isso poderia ser resultante de alguns fatores, como:

- atribuição de importância elevada ao critério econômico, em detrimento do critério ambiental e de imagem.
- custos excessivos de implantação e operação e manutenção das alternativas.
- efeitos secundários associados às alternativas, como potenciais impactos ambientais secundários (e.g. geração de resíduos em processos de tratamento de efluentes).
- análise pouco abrangente das questões envolvidas no processo decisório, não considerando cenários de riscos que eventualmente podem ser relevantes (e.g. cenários envolvendo riscos de imagem).

Tais alternativas que eventualmente representassem um potencial negativo de afetar a capacidade da empresa em prover retorno econômico sustentável para os acionistas não seriam desejáveis, mesmo comparando-se à situação de linha de base (Alternativa 0). Nesse caso, poder-se-ia buscar outras alternativas para o processo decisório ou optar pela Alternativa 0, de não modificação das condições existentes, quando isso for possível.

Conforme discutido na definição do objetivo de processos decisórios de empresas de capital privado orientadas para o lucro para fins da metodologia proposta (ver Seção 4.1), a seleção da Alternativa 0, ou qualquer outra considerada para o processo decisório, seria aceitável caso essa decisão não fosse contra a qualquer posição ética da empresa (e.g. descrita em suas políticas corporativas) ou dos seus tomadores de decisão, e os resultados dessa decisão não resultassem em não conformidades em relação à legislação eventualmente aplicável.

Ressalta-se que os resultados da avaliação das alternativas utilizando a metodologia proposta visam auxiliar o tomador de decisão (decisor) na solução do

problema de decisório em estudo, cabendo a esse ator a palavra final sobre a seleção das alternativas. Além disso, conforme discutido na Seção 4.3, outras informações sobre questões não relacionadas a riscos ambientais poderiam ser incorporadas no processo decisório para auxiliar o tomador de decisão na sua escolha. Ressalta-se, porém, que a inclusão dessas outras informações não foi incluída no escopo desta Tese.

4.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é utilizada para permitir aos tomadores de decisão julgar se os resultados do modelo são suficientemente acurados para auxiliar o processo decisório (LIU et al., 2006), e é essencial em processos de análise multicritério para suporte à tomada de decisão (BOJÓRQUEZ-TAPIA et al., 2005).

A análise de sensibilidade pode ser realizada modificando os valores de severidade e probabilidade atribuídos aos cenários de risco em uma ou mais alternativas, bem como os pesos dos critérios da hierarquia do processo decisório, ou mesmo a estrutura da hierarquia do problema, de forma a verificar as variações dos resultados (pontuações) a essas mudanças.

Caso se verifique que as respostas às perturbações introduzidas na análise de sensibilidade não são coerentes com que se esperaria no processo decisório em análise, os valores originais utilizados para a obtenção das pontuações das alternativas (valores de severidade, probabilidade e pesos) ou a estrutura do problema podem ser ajustados, de forma a obter uma melhor representação do problema de decisão que está sendo avaliado.

5 ESTUDO DE CASO

De forma a testar e exemplificar a aplicação da metodologia proposta para auxílio à tomada de decisões corporativas através da avaliação multicritério de riscos ambientais, descrita na Seção 4, essa metodologia foi utilizada em um problema de decisão envolvendo a seleção de estratégias para a gestão de água em um complexo de mineração localizado na região Sudeste do Brasil, que incluía mina, usina de beneficiamento de minério e planta química.

Esse contexto decisório foi selecionado devido à sua relevância em termos de questões ambientais no Brasil, resultante da importância do setor de mineração no país e pela complexidade, magnitude e intensidade dos riscos ambientais relacionados à gestão de água nesse setor, conforme apresentado a seguir.

Dados do ano 2008 indicavam que o setor de mineração (excluindo óleo e gás) no Brasil era responsável por aproximadamente 3,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Além disso, o setor extrativo, que inclui o setor de mineração, alocava aproximadamente 26% da população economicamente ativa no Brasil, comparada a apenas 3% nos Estados Unidos e no Reino Unido, o que mostra a importância significativa desse setor na economia brasileira (DNPM, 2009).

Dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) do ano de 2005 indicavam um total de 2.455 unidades de mineração no Brasil, com uma grande concentração na região Sudeste. A Tabela 5-1 apresenta o total de unidades de mineração no Brasil e na região Sudeste nesse ano, agrupadas de acordo com a produção em termos de *run of mine* (ROM) (DNPM, 2006).

Tabela 5-1 – Número de unidades de mineração no Brasil e na região Sudeste no ano de 2005

Porte das Unidades	ROM (toneladas por ano)	Número de Unidades	
		Brasil	Região Sudeste ^(a)
Pequeno	10.000 a 100.000	1.784	756 (42,4%)
Médio	100.000 a 1.000.000	563	299 (53,1%)
Grande	> 1.000.000	108	68 (63,0%)
Total		2.455	1.123 (45,7%)

(a) Percentuais em relação ao número total de unidades no Brasil.

Fonte: Dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2006).

Operações de mineração são fortemente dependentes de recursos de hídricos, especialmente quando possuem processos de beneficiamento de minério, que em sua grande maioria são realizados em via úmida (IBRAM, 2006). Somente a VALE, a maior empresa de mineração do Brasil, reportava um total de captação de água de 292 milhões de m³ em 2009, mesmo com um índice de reuso de água da ordem de 76% (VALE, 2011).

Embora uma porção significativa da água doce disponível (i.e. que não está congelada em geleiras) no mundo, cerca de 13.8%, esteja localizada no Brasil, a distribuição dessa água no território nacional é desigual, com aproximadamente 68% concentrada na região Norte e cerca de 6% na região Sudeste (ANA, 2006). Essas regiões contabilizam respectivamente 8,3% e 42,1% da população do país, segundo o censo demográfico do ano de 2010 (IBGE, 2011). Essa distribuição desigual entre disponibilidade de água e demanda, que resulta em escassez de água em algumas áreas, combinada com uma demanda por crescente por recursos hídricos tem gerado conflitos pelo uso da água, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil (Getirana et al., 2008).

A grande concentração de unidades de mineração na região Sudeste do Brasil, a forte dependência de água desse setor, juntamente com um cenário de recursos hídricos limitados e grande demanda nessa região do país, tornam a gestão de água em operações de mineração, especialmente na região Sudeste do Brasil, uma questão importante em termos de sustentabilidade ambiental, econômica e social. Esse contexto complexo pode resultar em restrições para licenciamento de novas operações, bem como restrições em termos de sua aceitação pela sociedade. Dessa forma, problemas decisórios nesse contexto são também complexos, requerendo uma avaliação criteriosa.

5.1 Identificação do Problema de Decisão e Objetivos

A metodologia para auxílio à tomada de decisão descrita na Seção 4 foi aplicada para auxiliar na avaliação de estratégias de gestão de água sustentáveis para um complexo de mineração de grande porte (ROM > 1.000.000 toneladas por ano) localizado na região Sudeste do Brasil, em uma área de interesse relacionado a recursos hídricos naturais, e onde já havia um histórico de conflitos relacionados ao

uso da água. Esse complexo de mineração incluía mina a céu aberto, usina de beneficiamento de minério, planta química, e barragem de rejeito.

Alguns dos aspectos mais relevantes associados à gestão de água nesse complexo de mineração eram relacionados ao uso significativo de água na usina de beneficiamento. Grandes quantidades de água nova (excedendo 3.000 m³/h) eram captadas em um curso d'água superficial, que também servia a pequenas propriedades e comunidades a jusante. A maior parte dessa água era utilizada no processo de beneficiamento do minério, em via úmida, que gerava grandes quantidades de rejeito e lamas (excedendo 2.500 m³/h). Esses rejeitos e lamas eram encaminhados para uma barragem de rejeitos, que tinha a função de sedimentar os sólidos presentes nessas correntes, promovendo a clarificação da água. O sobrenadante da barragem (água clarificada) era descartado para o mesmo curso d'água superficial onde era feita a captação, à jusante desse ponto.

A fim de controlar as concentrações de alguns parâmetros de interesse no efluente da barragem, o complexo de mineração contava com um sistema de tratamento simplificado, que consistia de ajuste do pH das lamas e rejeitos na saída da usina de beneficiamento, visando a precipitação desses parâmetros na barragem. Mesmo com esse controle, as concentrações de alguns parâmetros de interesse no efluente (sobrenadante da barragem de rejeitos) esporadicamente excediam os limites para lançamento de efluentes, resultando em uma vulnerabilidade relacionada a não conformidade.

Algumas operações unitárias do processo de beneficiamento de minério eram sensíveis à qualidade da água utilizada. A qualidade do efluente da barragem, embora atendesse aos padrões para lançamento na maior parte do tempo, tornava essa água inadequada para a reutilização nessas operações unitárias sensíveis à qualidade da água.

Um outro aspecto relevante no estudo de caso relacionado ao uso de água era a significativa demanda de área para a barragem de rejeitos. O processo de sedimentação de sólidos na barragem reduzia o volume útil disponível do seu lago, reduzido o tempo de retenção hidráulica, e por consequência, a capacidade de retenção de sólidos dessa estrutura. Para manter o volume útil e capacidade de retenção de sólidos em um nível adequado, que permitisse o lançamento do sobrenadante da barragem para o curso d'água sem a necessidade de tratamentos adicionais, era necessário aumentar a capacidade da barragem periodicamente,

através de alteamentos. Com isso aumentava-se também a área ocupada pela barragem.

Portanto, o objetivo primário da decisão no estudo de caso era minimizar a vulnerabilidade relacionada a não conformidade devido ao descarte do sobrenadante da barragem de rejeitos, bem como os demais impactos decorrentes do significativo uso de água.

Considerando a discussão apresentada na Seção 4.1, a alternativa mais promissora para o caso em questão seria uma estratégia de gestão de água sustentável (nas dimensões ambiental, social e econômica) com o maior potencial de aumentar o retorno financeiro sustentável para os acionistas da empresa, que foi considerado com o objetivo final do problema decisório.

5.2 Identificação de Alternativas

A fim de identificar as alternativas de estratégias para a gestão de água no estudo de caso, considerou-se como premissa que as mudanças propostas em relação à situação de linha de base não afetariam o processo de beneficiamento, que era sensível à quantidade e qualidade da água utilizada. Dessa forma, as seguintes alternativas foram identificadas como possíveis estratégias sustentáveis de gestão de água para o complexo de mineração:

- Alternativa 0: não modificação da condição existente (linha de base);
- Alternativa 1: instalação de um sistema de tratamento “*end-of-pipe*” para tratar a vazão total de efluente (água sobrenadante) da barragem de rejeitos, visando controlar os parâmetros que apresentavam risco de exceder os limites estabelecidos em legislação para lançamento de efluentes, e descarte do efluente tratado sem reuso de água;
- Alternativa 2:
 - instalação de estrutura para reutilização de parte do efluente da barragem sem tratamento, nas operações unitárias da usina de beneficiamento que não eram sensíveis à qualidade da água (vazão limitada, devido aos requerimentos de processo); e
 - instalação de um sistema “*end-of-pipe*” para tratamento da porção restante do efluente da barragem e descarte do efluente tratado para o curso d’água;

- Alternativa 3:
 - instalação de espessadores de alta eficiência e reutilização de parte da água na usina de beneficiamento (i.e. sem necessidade de envio do rejeito para a barragem) nas operações unitárias que não eram sensíveis à qualidade da água; e
 - instalação de um sistema “*end-of-pipe*” para tratamento do efluente da barragem (vazão a ser tratada menor que na condição de linha de base) e descarte do efluente tratado para o curso d’água;
- Alternativa 4:
 - instalação de um sistema de desaguamento dos rejeitos e lamas da planta de beneficiamento composto por espessadores de alta eficiência e filtros, que permitisse a disposição do material espessado em forma de pasta, possibilitando um maior ângulo de disposição dos materiais, o que reduziria a demanda de área da barragem;
 - tratamento de parte da água resultante do espessamento para possibilitar sua reutilização na usina de beneficiamento nas operações unitárias sensíveis à qualidade da água;
 - reutilização da maior parte da água na planta de beneficiamento; e
 - instalação de um sistema “*end-of-pipe*” para tratamento do efluente residual da barragem (vazão minimizada) e descarte do efluente tratado para o curso d’água.

A Figura 5-1 apresenta esquematicamente as condições de linha de base no complexo de mineração objeto do estudo de caso, correspondente à Alternativa 0. As Figuras 5-2 a 5-5 apresentam esquematicamente as modificações no manejo de águas e efluentes do complexo industrial considerando a aplicação de cada uma das demais alternativas listadas acima.

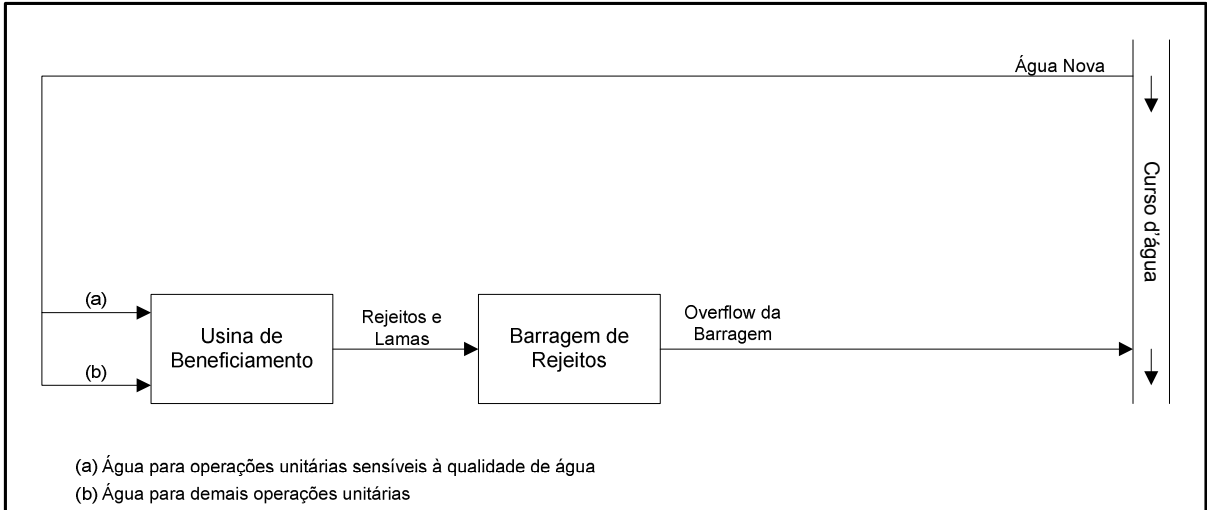


Figura 5-1 – Representação esquemática da Alternativa 0 (linha de base) no estudo de caso

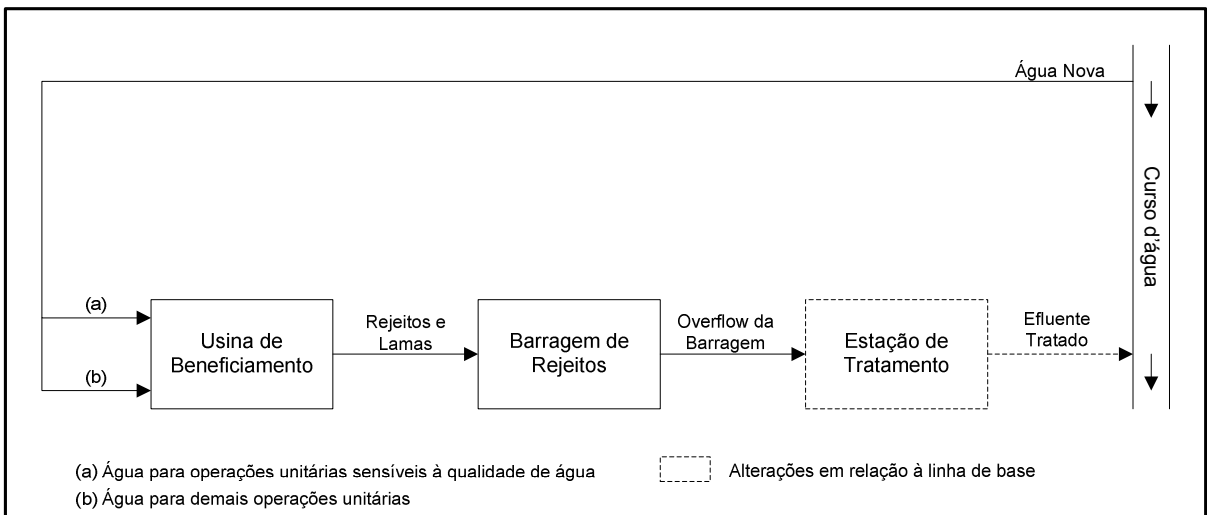


Figura 5-2 – Representação esquemática da Alternativa 1 no estudo de caso

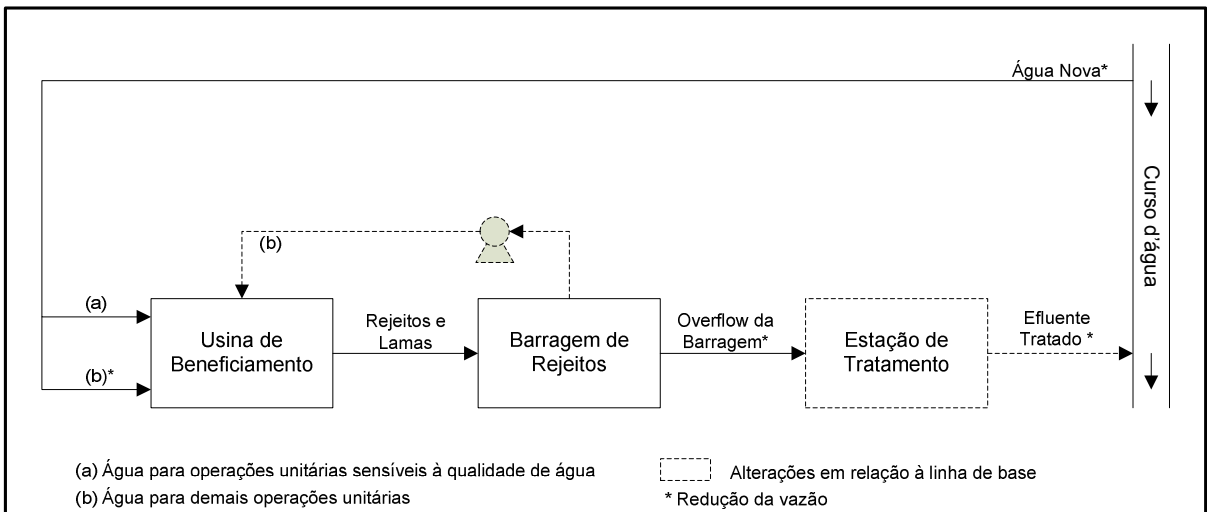


Figura 5-3 – Representação esquemática da Alternativa 2 no estudo de caso

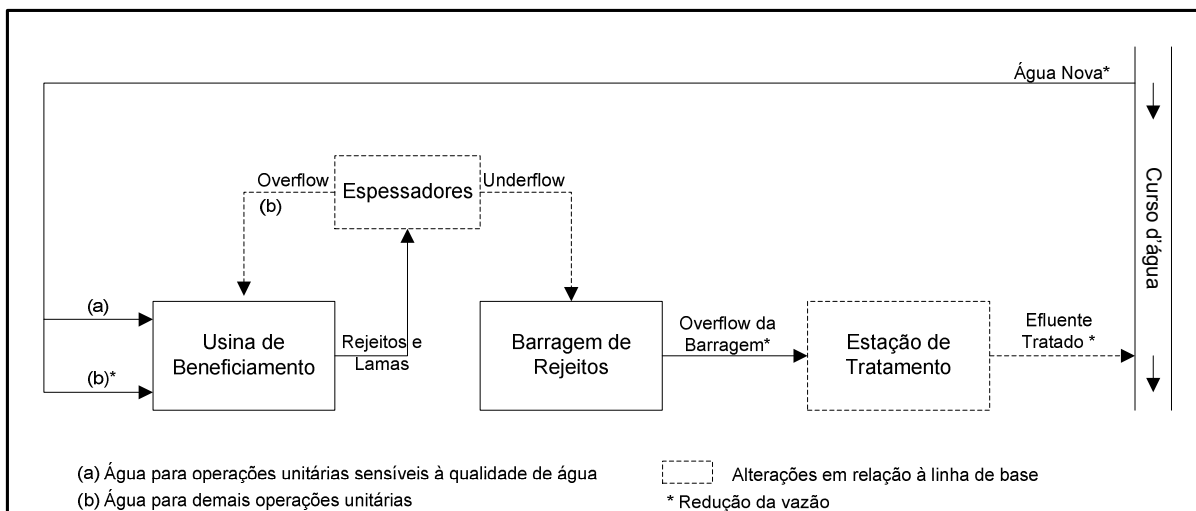


Figura 5-4 – Representação esquemática da Alternativa 3 no estudo de caso

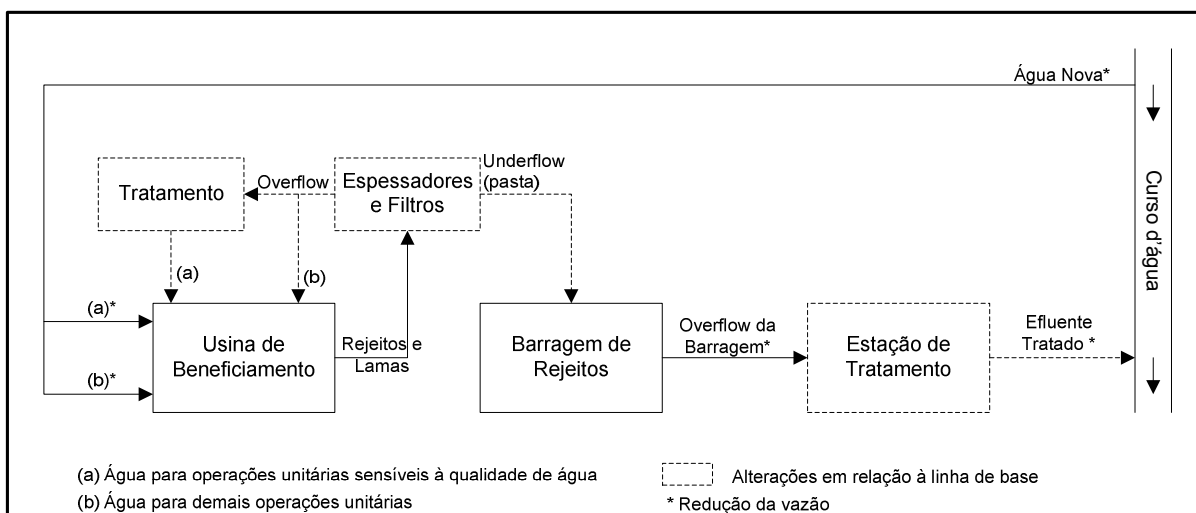


Figura 5-5 – Representação esquemática da Alternativa 4 no estudo de caso

5.3 Decomposição e Modelagem do Problema

Apresentam-se a seguir as etapas de decomposição e modelagem do problema de decisão analisado no estudo de caso.

5.3.1 Etapa A – Identificação dos aspectos ambientais envolvidos no processo decisório

A identificação dos aspectos foi realizada com o auxílio de entrevistas junto às equipes das unidades produtivas e de meio ambiente do complexo de mineração, avaliação de documentação técnica (incluindo relatórios, projetos e dados de

monitoramento de qualidade de água e efluentes) e financeira, bem como inspeções de campo.

Para esse levantamento considerou-se um horizonte de tempo de vinte anos, que correspondia à estimativa de vida operacional do complexo de mineração à época da análise. As modificações mais relevantes previstas (i.e. definidas no planejamento do complexo) durante esse período de vida operacional eram relativas a ampliações da barragem de rejeitos por meio de alteamentos. Essas alterações foram consideradas na identificação de aspectos.

Atividades *upstream* e *dowstream*, conforme discutido na Seção 3.2, não foram incluídas na identificação de aspectos ambientais nesse estudo de caso, visto que esses aspectos indiretos não foram considerados relevantes ao problema decisório em questão.

Os aspectos ambientais mais relevantes considerados para o estudo de caso são apresentados na Tabela 5-2, na Seção 5.3.2 a seguir.

5.3.2 Etapa B – Identificação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem

A identificação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem, e os respectivos cenários de riscos, foram feitas com base nas informações obtidas durante o levantamento dos aspectos e discussões com a equipe da Empresa em estudo, bem como discussões com profissionais com experiência em gestão de água e efluentes em indústrias e unidades de mineração.

Para fins de determinação dos grupos de stakeholders a serem considerados para a avaliação de impactos de imagem corporativa, foram selecionados aqueles que foram julgados como os mais relevantes para o estudo de caso, considerando a tipologia e abrangência dos riscos ambientais e o histórico de relacionamento do complexo de mineração com os seus stakeholders. Dessa forma, foram considerados os seguintes grupos de stakeholders para essa avaliação: empregados, clientes, comunidades vizinhas, e reguladores.

A Tabela 5-2 apresenta os aspectos mais relevantes identificados no estudo de caso, juntamente com os riscos ambientais, econômicos e de imagem associados, considerando um horizonte de tempo de vinte anos, que foi definido para essa análise. Conforme discutido na Seção 4.3.7, os custos relacionados à implantação,

operação e manutenção das demais alternativas (i.e. outras que a linha de base) ao longo do horizonte de tempo adotado para a análise foram considerados como um impacto econômico, e incluídos nessa tabela para fins incorporação desses custos quando da comparação das alternativas. Ressalta-se que esse cenário de risco não é verificado na Alternativa 0, visto que esta pressupõe a ausência de investimento.

Tabela 5-2 – Riscos ambientais, econômicos e de imagem identificados no estudo de caso

Aspectos	Eventos	Potenciais Impactos	Tipo de Risco	Categoria	Ref.	
1 – Consumo de água	Nenhum	Depleção de recursos naturais (água)	Ambiental	Recursos naturais	1.0.1_AM	
		Custos de bombeamento e tratamento de água	Econômico	Custos	1.0.2_EC	
	Redução na disponibilidade de água no curso d'água utilizado para captação.	Depleção de recursos naturais (água) representando um percentual maior da água disponível	Ambiental	Recursos naturais	1.1.1_AM	
	Restrições relacionadas à quantidade de água nova que pode ser captada (e.g. outorga para o uso da água)	Perda de receita associada à redução da produção que depende do uso de água	Econômico	Custos	1.2.1_EC	
	Implementação de cobrança pelo uso da água	Custos com cobrança pelo uso da água	Econômico	Custos	1.3.1_EC	
	Aumento de pressões externas para a redução da depleção de recursos hídricos		Deterioração da imagem corporativa - Empregados	Imagem	Imagem negativa – Empregados	1.4.1_IM
			Deterioração da imagem corporativa – Vizinhos	Imagem	Imagem negativa – Vizinhos	1.4.2_IM

Aspectos	Eventos	Potenciais Impactos	Tipo de Risco	Categoria	Ref.
		Deterioração da imagem corporativa - Clientes	Imagem	Imagem negativa – Clientes	1.4.3_IM
		Deterioração da imagem corporativa - Reguladores	Imagem	Imagem negativa – Reguladores	1.4.4_IM
2 – Lançamento de efluentes da barragem	Nenhum	Alteração da qualidade da água no corpo receptor	Ambiental	Qualidade de água	2.0.1_AM
		Custo de tratamento de efluentes	Econômico	Custos	2.0.2_EC
	Baixa eficiência do sistema simplificado de tratamento, resultando em lançamento de efluentes excedendo o limite estabelecido em legislação	Alteração da qualidade da água no corpo receptor mais intensa	Ambiental	Qualidade de água	2.1.1_AM
		Deterioração da imagem corporativa - Empregados	Imagem	Imagem negativa – Empregados	2.1.2_IM
		Deterioração da imagem corporativa - Vizinhos	Imagem	Imagem negativa – Vizinhos	2.1.3_IM
		Deterioração da imagem corporativa - Clientes	Imagem	Imagem negativa – Clientes	2.1.4_IM
		Deterioração da imagem corporativa - Reguladores	Imagem	Imagem negativa – Reguladores	2.1.5_IM
	Redução da vazão no corpo receptor (e.g. competição pelo uso da água, períodos de estiagem)	Alteração da qualidade da água no corpo receptor mais intensa	Ambiental	Qualidade da água	2.3.1_AM
	Implementação de cobrança para a descarga de efluentes	Custos com cobrança pela descarga de efluentes	Econômico	Custos	2.4.1_EC

Aspectos	Eventos	Potenciais Impactos	Tipo de Risco	Categoria	Ref.	
3 – Disposição de rejeitos e lamas na barragem	Nenhum	Uso e modificação do solo (área ocupada pela barragem)	Ambiental	Uso do solo	3.0.1_AM	
		Custos de operação e manutenção da barragem de rejeitos	Econômico	Custos	3.0.2_EC	
		Custos de descomissionamento – Área ocupada pela barragem	Econômico	Custos	3.0.3_EC	
	Aumento de pressões externas para a redução da degradação de áreas		Deterioração da imagem corporativa - Empregados	Imagem	Imagem negativa – Empregados	3.1.1_IM
			Deterioração da imagem corporativa - Vizinhos	Imagem	Imagem negativa – Vizinhos	3.1.2_IM
			Deterioração da imagem corporativa - Clientes	Imagem	Imagem negativa – Clientes	3.1.3_IM
			Deterioração da imagem corporativa - Reguladores	Imagem	Imagem negativa – Reguladores	3.1.4_IM
	Percolação de contaminantes para o solo e água subterrânea		Alteração da qualidade da água subterrânea	Ambiental	Qualidade da água subterrânea	3.2.1_AM
	4 – Implementação da alternativa	Implementação da alternativa	Custos de capital, operação e manutenção	Econômico	Custos	4.1.1_EC

5.3.3 Etapa C – Complementação da hierarquia do processo decisório

Com base na hierarquia inicial para o problema decisório proposta na metodologia apresentada nesta Tese, conforme ilustrado na Figura 4-3 da Seção 4.3, e nos tipos e categorias de riscos identificados na Etapa B, conforme apresentado na Tabela 5-2, foi possível complementar a hierarquia do processo

decisório para o estudo de caso. A Figura 5-6 apresenta essa hierarquia obtida para o estudo de caso. Ressalta-se que os componentes que não foram considerados no estudo de caso (e.g. “Outros Fatores”, componente “Social” do meio ambiente; componente de “Receitas” no ramo econômico da hierarquia, e “Aspectos Positivos” de imagem) foram omitidos nessa hierarquia para fins de simplificação.

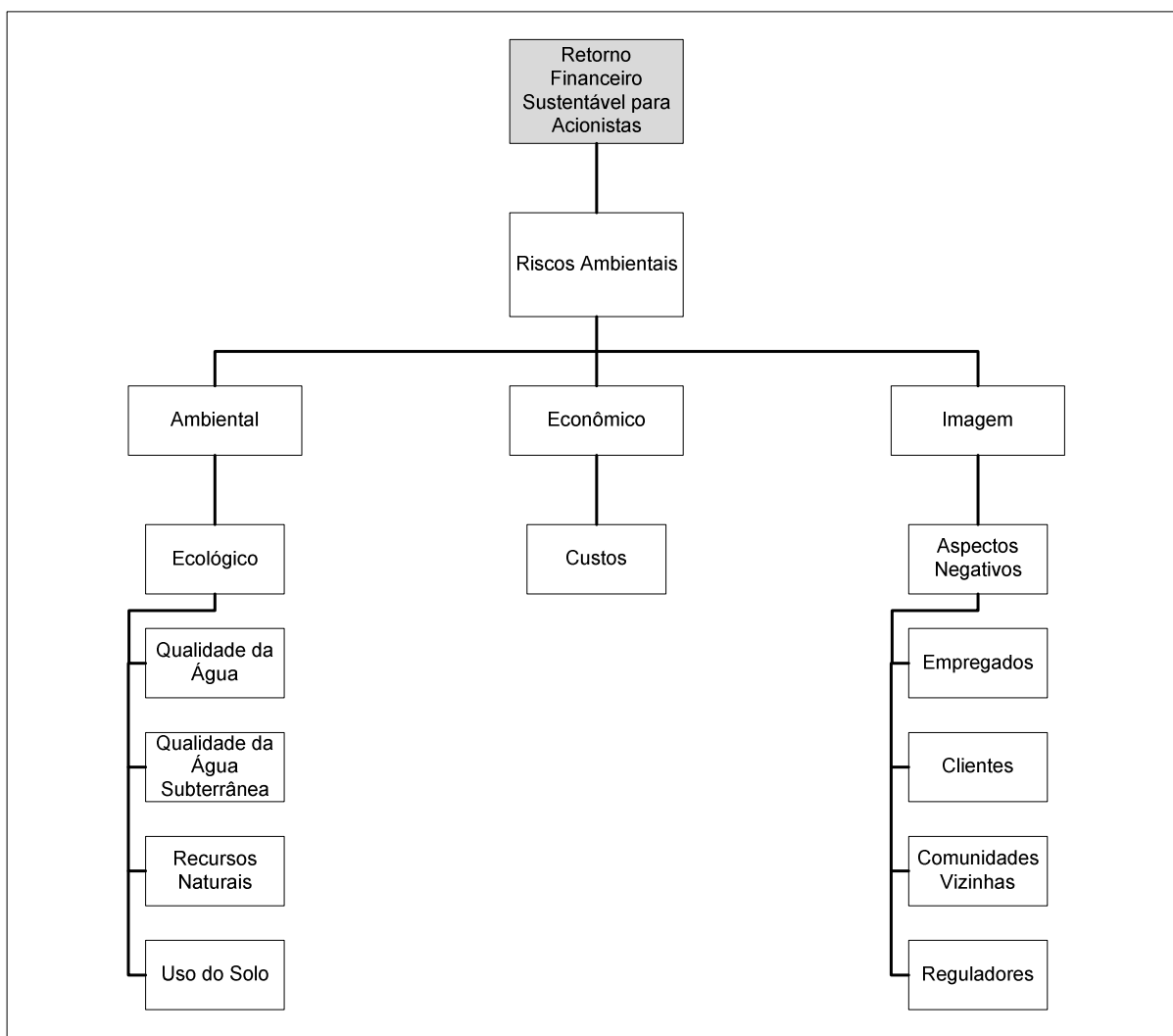


Figura 5-6 – Hierarquia do problema decisório no estudo de caso

5.3.4 Etapa D – Definição de indicadores e escalas de severidade e probabilidade

Conforme discutido na Seção 4.3.4, os riscos identificados foram avaliados em termos de severidade dos potenciais impactos ambientais, econômicos e de imagem e de probabilidade de ocorrência dos cenários de risco. Para isso, foi necessária a definição de indicadores e escalas para representar essas severidades e probabilidades de ocorrência, conforme descrito a seguir.

D.1 – Indicadores e escalas de severidade

D.1.1 – Indicadores ambientais

A severidade dos potenciais impactos ambientais identificados no estudo de caso foi representada em termos de intensidade e extensão desses impactos, adotando valores para representar cada um desses critérios em cada escala de impactos.

Qualidade de água superficial e subterrânea

Para as categorias de qualidade de água superficial e subterrânea, considerando a necessidade de avaliar diversos parâmetros de interesse diferentes dentro de cada uma dessas categorias, optou-se por utilizar um indicador simplificado de qualidade de água que pudesse agregar informação sobre tais parâmetros. Para isso, considerou-se como base os padrões⁶ de qualidade de água superficial estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2005) para corpos d'água Classe 2 (águas doces), e os valores de investigação⁷ para água subterrânea estabelecidos na Resolução CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009).

A partir das definições apresentadas nessas normas, adotou-se como premissa que os padrões e limites de investigação citados acima representam limites de concentração que podem ser utilizados como referência de condições do meio ambiente que não oferecem riscos à saúde humana. Dessa forma, foi definido um índice de qualidade de água superficial e um índice de qualidade de água subterrânea, representando a relação entre as concentrações esperadas dos parâmetros de interesse no estudo de caso e as respectivas concentrações de referência definidas nas Resoluções acima. Ambos os índices, para qualidade de água superficial e qualidade de água subterrânea, foram definidos conforme a expressão abaixo:

$$QI = \sum \frac{C_i}{L_i} \quad (5.1)$$

⁶ Padrão: valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água ou efluente (CONAMA, 2005).

⁷ Valor de Investigação-VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado (CONAMA, 2009).

Onde QI é o índice de qualidade de água no corpo d'água superficial ou na água subterrânea em análise, C é a concentração do parâmetro de interesse i no corpo d'água ou água subterrânea afetada pelas atividades da unidade (complexo de mineração no caso em estudo), e L é o limite estabelecido na legislação para a concentração do parâmetro i no curso d'água superficial (CONAMA 357/2005) ou na água subterrânea (CONAMA 420/2009).

O índice de qualidade para água superficial foi estimado utilizando-se balanço de massas, e o índice de qualidade para água subterrânea foi estimado por meio de cálculos simplificados de transporte de contaminantes, considerando as condições dos termos fontes (fontes de onde os parâmetros de interesse poderiam ser liberados), e as características do solo e do lençol freático local.

Em relação ao componente de extensão para avaliação dos potenciais impactos de alteração da qualidade da água superficial e da água subterrânea, em alternativa à definição em termos de área afetada ou extensão linear de um curso d'água (e.g. para o caso de um rio), foi considerado que a extensão seria relacionada ao número total de pessoas potencialmente expostas a esses impactos. Essa consideração foi baseada na premissa de que os impactos indiretos para pessoas resultantes de possíveis alterações na qualidade da água de corpos d'água superficiais e da qualidade da água subterrânea (e.g. danos à saúde humana, restrições de uso para atividades econômicas e de lazer) são mais importantes que a qualidade da água em si em uma perspectiva de uso sustentável da água (Lambooy, 2011), e portanto, fornecem uma melhor informação sobre a severidade ou significância desses potenciais impactos.

Recursos naturais (água)

O indicador de intensidade para o impacto (depleção) a recursos naturais foi definido como sendo relacionado à redução da quantidade de água disponível no corpo d'água utilizado para captação pelo complexo de mineração. Esse indicador foi calculado como a razão entre a vazão média de água captada desse corpo d'água (m^3/h) e sua vazão média (m^3/h), sendo expresso em termos percentuais.

O componente de extensão dos impactos relacionados à depleção de recursos naturais foi definido utilizando uma abordagem similar à que foi discutida para impactos à qualidade da água em corpos d'água superficiais e subterrâneos, associando essa extensão ao número total de pessoas que utilizam o corpo d'água para atividades econômicas ou recreativas.

Uso do solo

Para a definição do componente de intensidade para o indicador da categoria de impactos de uso do solo foram considerados aspectos relacionados à irreversibilidade do potencial impacto, ou seja, o nível de dificuldade para trazer as condições da área afetada para algo próximo das condições originais. Portanto, para essa abordagem a irreversibilidade foi associada aos esforços requeridos para reabilitar a área. Adicionalmente, o nível de irreversibilidade foi associado ao interesse relativo à reabilitação da área.

Para exemplificar essa abordagem, pode-se considerar um exemplo hipotético de duas áreas que requerem esforços de reabilitação similares, porém estão localizadas em regiões de baixo e alto interesse econômico (e.g. uma área localizada em uma região remota e a outra área localizada próxima a uma região densamente povoada). Nesse cenário hipotético, é provável que a segunda área teria uma maior chance de ser reabilitada. Dessa forma, a área localizada na região remota apresentaria um nível maior de irreversibilidade com base nas premissas adotadas para o estudo de caso.

Dessa forma, considerando a questão dos esforços requeridos e os aspectos relacionados ao interesse na reabilitação de áreas degradadas, o indicador de intensidade para a categoria de impactos associados ao uso do solo foi definido como a relação entre os custos de reabilitação e o valor de mercado da área.

A área a ser reabilitada (hectares) foi selecionada como o indicador para representar o componente de extensão para os impactos relacionados ao uso do solo.

Definição das escalas dos indicadores

Após a definição dos indicadores, as escalas correspondentes foram definidas utilizando as técnicas de agregação e classificação (SAATY, 1990; 2008), conforme discutido na Seção 4.3.4. Conforme apresentado naquela seção, a aplicação dessas técnicas requereu a identificação das faixas de valores esperadas em cada um dos indicadores no estudo de caso, a divisão dessas faixas de valores em grupos, definidos em ordem decrescente, e a comparação em pares para determinação da importância relativa desses grupos em relação ao objetivo do critério imediatamente acima, ao qual os indicadores estavam vinculados, utilizando o método AHP (ver Seção 2.2.1).

Adicionalmente, considerando que os indicadores foram definidos em termos de intensidade e extensão de impactos, foi necessário avaliar a importância relativa desses dois componentes em cada indicador. Essa avaliação foi feita utilizando-se também o método AHP, de forma a obter a importância relativa (pesos) dos componentes de intensidade e extensão em cada escala de indicadores para a avaliação dos impactos. Esses pesos foram utilizados juntamente com as importâncias relativas dos grupos de valores obtidos por agregação em cada indicador, para determinar os valores correspondentes aos diferentes níveis de impacto dentro de cada categoria de indicadores.

Considerando que os valores mais elevados de impactos negativos avaliados no estudo de caso (e.g. impactos ambientais), correspondem às condições menos desejadas, as escalas tiveram que ser adaptadas para considerar essa preferência negativa. Millet e Schoner (2005) discutem as limitações do uso de valores positivos para descrever preferências negativas utilizando o método AHP, e propõe o uso de valores negativos para esses casos. Essa adaptação do método AHP foi utilizada no estudo de caso para representar as preferências negativas associadas aos impactos ambientais.

A Tabela 5-3 apresenta os indicadores utilizados para representar os riscos ambientais identificados no estudo de caso, juntamente com as faixas de valores esperadas para cada indicador. As faixas de valores de intensidade e extensão apresentadas nessa tabela foram selecionadas visando cobrir os possíveis impactos a serem avaliados no estudo de caso, bem como permitir contabilizar as incertezas inerentes nas estimativas, tornar possível diferenciar os impactos quando da comparação dos cenários de risco, e diferenciar as alternativas identificadas no problema decisório em estudo.

A Tabela 5-4 apresenta um exemplo de valores das escalas obtidos para a categoria de impacto de qualidade de água superficial, que foram estimados por meio da comparação em pares dos grupos de valores e dos componentes de intensidade e extensão utilizando o método AHP. Os valores das escalas para os demais indicadores foram definidos de forma semelhante.

Tabela 5-3 – Indicadores ambientais e faixas de valores consideradas para o estudo de caso

Categoria de Impactos	Critério	Indicador	Valores possíveis
Qualidade de água superficial	Intensidade	Índice de qualidade de água	> 100
			50 a 100
			25 a 50
			10 a 25
			< 10
	Extensão	Número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão do copo d'água potencialmente afetada	> 1.000
		100 a 1.000	
		< 100	
Qualidade de água subterrânea	Intensidade	Índice de qualidade de água subterrânea	> 10
			1 a 10
			< 1
	Extensão	Número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão de água subterrânea potencialmente afetada	> 100
			10 a 100
			< 10
Recursos naturais (água superficial)	Intensidade	Redução da quantidade de água disponível (vazão (m ³ /h) captada no corpo d'água dividido pela vazão média do corpo d'água (m ³ /h))	> 50%
			25% a 50%
			10% a 25%
			5% a 10%
			< 5%
	Extensão	Número de pessoas servidas pelo corpo d'água	> 1.000
		100 a 1.000	
		< 100	
Uso do solo	Intensidade (Irreversibilidade)	Custos de reabilitação comparado com o valor de mercado da área (custo de reabilitação/valor de mercado da área)	> 10
			1 a 10
			< 1
	Extensão	Área afetada	> 100 ha
			1 a 100 ha
			< 1 ha

Tabela 5-4 – Valores para a escala do indicador de impacto na qualidade de água superficial utilizados no estudo de caso

Intensidade (0,667) ^(a)		Extensão (0,333) ^(a)		Valor ^{(b), (c)}	Valor normali- zado ^{(c) (d)}	Ref.
Índice de qualidade de água	Importância relativa ^(a)	Número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água na extensão do copo d'água potencialmente afetada)	Importância relativa ^(a)			
> 100	0,519	> 1.000	0,696	-0,578	-1,000	A
		100 a 1.000	0,229	-0,422	-0,731	B
		< 100	0,075	-0,371	-0,642	C
50 a 100	0,242	> 1.000	0,696	-0,393	-0,681	D
		100 a 1.000	0,229	-0,238	-0,411	E
		< 100	0,075	-0,186	-0,322	F
25 a 50	0,134	> 1.000	0,696	-0,321	-0,556	G
		100 a 1.000	0,229	-0,166	-0,287	H
		< 100	0,075	-0,114	-0,198	I
10 a < 25	0,071	> 1.000	0,696	-0,279	-0,483	J
		100 a 1.000	0,229	-0,124	-0,214	K
		< 100	0,075	-0,072	-0,125	L
< 10	0,034	> 1.000	0,696	-0,255	-0,441	M
		100 a 1.000	0,229	-0,099	-0,171	N
		< 100	0,075	-0,048	-0,082	O

(a) Obtido pela comparação em pares dos possíveis valores, utilizando-se o método AHP.

(b) Calculado pela agregação das importâncias relativas de cada grupo de valores e das importâncias relativas de intensidade e extensão definidas para o indicador: e.g. cálculo do valor "A" da escala (>100; >1.000) = 0,667*0,519 + 0,333*0,696 = 0,578

(c) Convertido para valores negativos para contabilizar a preferência negativa associada ao impacto de qualidade de água.

(d) Normalização em relação ao maior valor absoluto obtido (0,578).

Conforme apresentado na Seção 2.2.1, a obtenção do vetor de prioridades utilizando o método AHP requer o cálculo de autovalores e autovetores. Esses cálculos podem ser feitos utilizando ferramentas específicas que permitem operações com matrizes e vetores, as quais usualmente são acessíveis a grupos restritos, principalmente na comunidade acadêmica. Considerando que a

metodologia proposta requer a realização desses cálculos, e que um dos objetivos desta Tese é que essa metodologia possa ser utilizada por tomadores de decisão em empresas, que muitas vezes não tem acesso às ferramentas específicas mencionadas acima, uma ferramenta para o cálculo do vetor de prioridades para o método AHP foi desenvolvida no software Microsoft Excel[®], que é amplamente utilizado em empresas. Essa ferramenta é apresentada no Apêndice A, e foi utilizada para o cálculo dos valores apresentados na Tabela 5-4, bem como nos demais cálculos de vetores de prioridades apresentados nesta Tese.

D.1.2 – Indicador Econômico

Conforme discutido na Seção 4.3.4, o indicador econômico foi expresso em termos monetários, em Reais (R\$), e depois convertido para uma escala arbitrária adimensional.

Primeiramente, foi feita uma avaliação prévia dos possíveis valores que seriam avaliados nessa escala, bem como em qual momento do horizonte de tempo considerado no estudo de caso esses custos poderiam ocorrer. Considerando que os custos poderiam ocorrer em diferentes momentos no futuro, a fim de permitir a comparação e avaliação apropriada desses custos, os valores foram convertidos para valores presentes (VP) (ver equação (2.6) na Seção 2.7.1), utilizando uma taxa de desconto de 8%, que foi fornecida pelo complexo de mineração. Dessa forma, a faixa de custos foi inicialmente determinada em termos de valores presentes.

Esses valores foram então divididos em grupos, que foram comparados para a definição de uma escala linear de importância adimensional, proporcional ao maior valor de cada grupo, conforme discutido na Seção 4.3.4.

Conforme discutido na definição das escalas para impactos ambientais, custos também representam preferências negativas (i.e. não são desejados). Dessa forma, visando manter a coerência com a adequação do método AHP utilizada nas escalas de impactos ambientais, a escala linear de custos também foi expressa em valores negativos.

A Tabela 5-5 apresenta os valores da escala de custos utilizados no estudo de caso.

Tabela 5-5 – Valores para a escala de impacto econômico utilizados para o estudo de caso

Faixas de Valores Possíveis	Importâncias Relativas / Valores ^(a)	Ref.
R\$ 40,000,000 <= VP < R\$ 50,000,000	-1,000	A
R\$ 30,000,000 <= VP < R\$ 40,000,000	-0,800	B
R\$ 20,000,000 <= VP < R\$ 30,000,000	-0,600	C
R\$ 15,000,000 <= VP < R\$ 20,000,000	-0,400	D
R\$ 10,000,000 <= VP < R\$ 15,000,000	-0,300	E
R\$ 5,000,000 <= VP < R\$ 10,000,000	-0,200	F
R\$ 2,500,000 <= VP < R\$ 5,000,000	-0,100	G
R\$ 1,000,000 <= VP < R\$ 2,500,000	-0,050	H
R\$ 0 < VP < R\$ 1,000,000	-0,020	I
R\$ 0 (sem custo)	0	J

(a) Valores obtidos dividindo-se o maior valor da faixa de valores pelo maior valor da faixa de valores mais alta: e.g. cálculo do valor “B” da escala (R\$ 30,000,000 <= VP < R\$ 40,000,000) = R\$ 40.000,00 / R\$ 50.000,00 = 0.8 (usado valor negativo para contabilizar preferência negativa).

VP: Valor presente.

D.1.3 – Indicadores de Imagem

Conforme apresentado na Seção 4.3.4, os indicadores de imagem foram definidos em termos de intensidade e extensão, onde a intensidade seria relacionada ao potencial da informação sobre os riscos ambientais de uma empresa de alterar as decisões dos stakeholders em relação ao negócio, e a extensão seria associada ao número relativo (e.g. percentual) de indivíduos em cada grupo de stakeholders que poderiam ter sua percepção da empresa alterada nesse determinado nível.

Assim como discutido para as escalas de impacto ambiental, o método AHP foi utilizado para determinar as importâncias relativas da intensidade e extensão e dos grupos de possíveis valores em cada uma dessas dimensões.

Conforme discutido para as escalas de impactos ambientais, foram utilizados valores negativos para contabilizar a preferência negativa associada a impactos de imagem negativos (não desejáveis).

A Tabela 5-6 apresenta como exemplo o resultado dos valores obtidos para a escala de impactos negativos para o grupo de stakeholders “empregados”. Os valores para as escalas de impactos de imagem para os demais stakeholders foram obtidos de forma semelhante.

Tabela 5-6 – Valores para a escala do indicador de impacto de imagem negativo para o grupo de stakeholders “empregados” utilizados no estudo de caso

Intensidade (0,333) ^(a)		Extensão (0,667) ^(a)		Valor (b), (c)	Valor normali- zado ^{(c) (d)}	Ref
Potencial de afetar negativamente as decisões dos stakeholders em relação à empresa	Importância relativa ^(a)	Percentual de indivíduos potencialmente afetados nesse grupo de stakeholders	Importância relativa ^(a)			
Significante	0,785	> 50%	0,658	-0,700	-1,000	A
		10% a 50%	0,263	-0,437	-0,624	B
		< 10%	0,079	-0,314	-0,449	C
Moderado	0,149	> 50%	0,658	-0,488	-0,697	D
		10% a 50%	0,263	-0,225	-0,321	E
		< 10%	0,079	-0,102	-0,146	F
Mínimo	0,066	> 50%	0,658	-0,461	-0,658	G
		10% a 50%	0,263	-0,197	-0,282	H
		< 10%	0,079	-0,075	-0,107	I

(a) Obtido pela comparação em pares dos possíveis valores, utilizando-se o método AHP.

(b) Calculado pela agregação das importâncias relativas de cada grupo de valores e das importâncias relativas de intensidade e extensão definidas para o indicador: e.g. cálculo do valor “A” da escala (significante; >50%) = $0.333 \cdot 0,785 + 0.667 \cdot 0.658 = 0,700$

(c) Convertido para valores negativos para contabilizar a preferência negativa associada ao impacto de imagem negativa.

(d) Normalização em relação ao maior valor absoluto obtido (0,700).

D.2 – Indicadores e escalas de probabilidade

Conforme apresentado na Seção 4.3.4, foi utilizada uma escala de probabilidade subjetiva para representar o nível de confiança sobre a ocorrência dos cenários de risco no horizonte de tempo considerado no estudo de caso (ver Figura 4-6). A escala foi definida de 0 a 1, onde o último valor representava um nível de

confiança absoluta a respeito da ocorrência do cenário de risco em análise, e valores inferiores a 1 representam níveis menores de confiança sobre a ocorrência do cenário de risco no horizonte de tempo definido no estudo de caso.

5.3.5 Etapa E – Determinação dos pesos incluídos na hierarquia do processo decisório

A importância relativa dos critérios em cada nível da hierarquia do problema decisório foi determinada no estudo de caso utilizando o método AHP, conforme discutido na Seção 4.3.5. Os critérios foram comparados em pares para determinar sua importância em relação ao atendimento do objetivo do critério no nível imediatamente superior.

A fim de determinar a importância relativa dos critérios ambiental, econômico e de imagem, resultante da gestão dos riscos ambientais, em relação ao objetivo geral do negócio, foram realizadas entrevistas com alguns dos principais tomadores de decisão no complexo de mineração objeto do estudo de caso, quais sejam, os gerentes da área da mina, da área do beneficiamento, da área da planta química, e da área de meio ambiente.

A Tabela 5-7 apresenta os resultados obtidos para cada um dos gerentes, incluindo os valores de importâncias relativas utilizando a escala de importâncias proposta por Saaty (SAATY, 2008) (ver Tabela 2-2 na Seção 2.2.1), e o vetor de prioridades correspondente calculado de acordo com o método AHP. A Tabela 5-8 e a Figura 5-7 apresentam um resumo dos resultados, bem como os valores médios das prioridades obtidas para cada uma das dimensões, ambiental, econômica e de imagem. Esses valores médios foram utilizados para determinar as pontuações das alternativas no estudo de caso, conforme apresentado nas Seções 5.3.6 e 5.3.7 mais adiante.

Um resultado interessante obtido do levantamento dos pesos foi a importância significativa dada ao critério de imagem. Conforme apresentado na Seção 5.1, o complexo de mineração era localizado em uma área de interesse relacionado a recursos hídricos naturais, e onde já havia um histórico de conflitos relacionados ao uso da água. Esse contexto pode ser apontado como uma das razões, talvez a principal, para o significativo nível de importância atribuído pelos tomadores de decisão do complexo de mineração para o critério de imagem.

Tabela 5-7 – Importâncias atribuídas pelos tomadores de decisão e pesos dos critérios ambiental, econômico de imagem obtidos no estudo de caso

Tomadores de Decisão	Critérios	Importâncias relativas dos critérios			Vetor de Prioridades
		Ambiental	Econômico	Imagem	
Tomador de Decisão 1		Ambiental	Econômico	Imagem	
	Ambiental	1	3	1/2	0,309
	Econômico	1/3	1	1/5	0,109
	Imagem	2	5	1	0,582
CR = 0,003					
Tomador de Decisão 2		Ambiental	Econômico	Imagem	
	Ambiental	1	1/2	1/3	0,163
	Econômico	2	1	1/2	0,297
	Imagem	3	2	1	0,540
CR = 0,009					
Tomador de Decisão 3		Ambiental	Econômico	Imagem	
	Ambiental	1	5	3	0,637
	Econômico	1/5	1	1/3	0,105
	Imagem	1/3	3	1	0,258
CR = 0,034					
Tomador de Decisão 4		Ambiental	Econômico	Imagem	
	Ambiental	1	1/5	1/3	0,105
	Econômico	5	1	3	0,637
	Imagem	3	1/3	1	0,258
CR = 0,034					

Nota: Objetivo do critério no nível superior (riscos ambientais): maximizar a redução de impactos negativos dos riscos ambientais de uma empresa na sua capacidade de prover retorno financeiro sustentável para seus acionistas.

CR: Razão de Consistência. Valores menores que 0,10 indicam consistência (Saaty 1990) (ver Seção 2.2.1).

Tabela 5-8 – Sumário dos pesos dos critérios ambiental, econômico de imagem obtidos no estudo de caso

Critério	Tomador de Decisão				
	1	2	3	4	Média
Ambiental	0,309	0,163	0,637	0,105	0,304
Econômico	0,109	0,297	0,105	0,637	0,287
Imagem	0,582	0,540	0,258	0,258	0,410

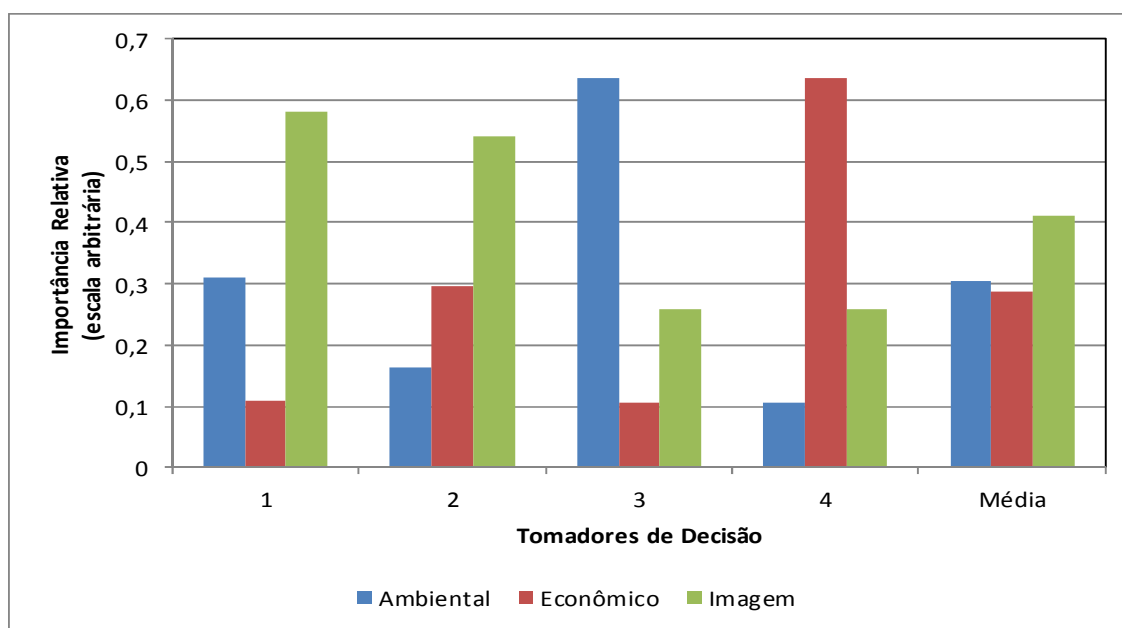


Figura 5-7 – Sumário dos pesos dos critérios obtidos no estudo de caso

A identificação dos pesos para os critérios nos níveis inferiores da hierarquia do problema decisório foi feita com base em critérios técnicos e informações específicas sobre o estudo de caso, utilizando a mesma abordagem de comparação dos critérios em relação ao objetivo do critério no nível superior, utilizando o método AHP. A Tabela 5-9 e a Tabela 5-10 apresentam as importâncias atribuídas e os resultados dos vetores de prioridade obtidos para os componentes da dimensão ambiental e da dimensão de imagem corporativa considerados no estudo de caso.

Tabela 5-9 – Importâncias atribuídas e pesos obtidos para os subcritérios associados ao critério ambiental no estudo de caso

Critérios	Comparação das importâncias dos critérios				Vetor de Prioridades
	Qualidade de água superficial	Qualidade de água subterrânea	Recursos naturais	Uso do solo	
Qualidade de água superficial	1	7	1/2	1	0,255
Qualidade de água subterrânea	1/7	1	0,2	1/7	0,050
Recursos naturais	2	5	1	3	0,458
Uso do solo	1	7	1/3	1	0,237
CR = 0,079					

Nota: Objetivo do critério no nível superior (ambiental/meio físico): maximizar a redução de impactos ambientais negativos.

CR: Razão de Consistência. Valores menores que 0,10 indicam consistência (ver Seção 2.2.1).

Tabela 5-10 – Importâncias atribuídas e pesos obtidos para os subcritérios associados ao critério de imagem no estudo de caso

Critérios	Comparação das importâncias dos critérios				Vetor de Prioridades
	Empregados	Vizinhos	Clientes	Reguladores	
Empregados	1	1/5	1/3	1/2	0,075
Vizinhos	5	1	5	7	0,632
Clientes	3	1/5	1	3	0,198
Reguladores	2	1/7	1/3	1	0,095
CR = 0,079					

Nota: Objetivo do critério no nível superior (ambiental/meio físico): maximizar a redução de impactos de imagem negativos resultantes da gestão de riscos ambientais.

CR: Razão de Consistência. Valores menores que 0,10 indicam consistência (ver Seção 2.2.1).

A Tabela 5-11 apresenta os pesos finais para cada critério, obtidos pela agregação das importâncias relativas (vetor de prioridades) obtidas nos diferentes níveis da hierarquia do problema decisório. Conforme apresentado acima, a média dos pesos obtidos a partir das entrevistas com os tomadores de decisão do complexo de mineração foi utilizada para esse cálculo.

Tabela 5-11 – Cálculo dos pesos dos critérios utilizados no estudo de caso

Critério	Importância relativa	Critério	Importância relativa	Pesos	Critérios	Importância relativa	Pesos
Ambiental	0,304	Aspectos ecológicos	1,000	0,304	Qualidade de água superficial	0,255	0,077
					Qualidade de água subterrânea	0,050	0,015
					Recursos naturais	0,458	0,139
					Uso do solo	0,237	0,072
Econômico	0,287	Custos	1,000	0,287	Custos	1,000	0,287
Imagem	0,410	Aspectos de imagem negativa	1,000	0,410	Imagem negativa – Empregados	0,075	0,031
					Imagem negativa – Vizinhos	0,632	0,259
					Imagem negativa – Clientes	0,198	0,081
					Imagem negativa – Reguladores	0,095	0,039

Deve-se ressaltar que no estudo de caso a hierarquia do problema decisório apresentava apenas um critério imediatamente abaixo de cada um dos critérios ambiental, econômico e de imagem (ver Seção 5.3.3), e por isso foram atribuídas importâncias com valores iguais a 1. Caso outros critérios fossem incluídos nesse nível da hierarquia (e.g. dimensão social, receitas, e aspectos positivos de imagem, conforme exemplificado na Figura 4-4 da Seção 4.3), as respectivas importâncias relativas teriam que ser avaliadas e incluídas no cálculo dos pesos finais dos critérios.

5.3.6 Etapa F – Cálculo da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base)

Para o cálculo da pontuação total associada à Alternativa 0 (linha de base), foi feita uma avaliação técnica para a estimativa das severidades dos potenciais impactos bem como uma estimativa (através de indicação direta) das probabilidades de ocorrência dos cenários de risco identificados na Etapa B (Seção 5.3.2). Esses níveis de severidade probabilidades de ocorrência dos cenários de risco foram representados por valores numéricos utilizando-se as escalas de severidade e de probabilidade definidas na Etapa D (Seção 5.3.4).

Os pesos dos critérios definidos na Etapa E (Seção 5.3.5) foram então utilizados para obter os valores ponderados dos riscos, que foram agregados para a estimativa da pontuação total da Alternativa 0 utilizando a equação (4.1) definida na Seção 4.3.6, conforme abaixo:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n I_i \times P_i \times w_i$$

A Tabela 5-12 apresenta os resultados da pontuação calculada para cada cenário de risco na Alternativa 0, bem como a pontuação total associada a essa alternativa.

Tabela 5-12 – Cálculo da pontuação associada à Alternativa 0 (linha de base) no estudo de caso

Genário de Risco ^(a)	Peso ^(b)	Impactos Potenciais	Valor de Severidade	Probabilidade	Pontuação ^(g)
1.0.1_AM	0,139	Redução da disponibilidade de água: entre 5% e 10% da vazão do curso d'água; número de pessoas servidas pelo corpo d'água: de 100 a 1.000	-0,137	1,000	-0,0190
1.0.2_EC	0,287	R\$ 0 < VP < R\$ 1.000.000 ^(c)	-0,020	1,000	-0,0057
1.1.1_AM	0,139	Redução da disponibilidade de água: entre 25% e 50% da vazão do curso d'água; número de pessoas servidas pelo corpo d'água: de 100 a 1.000	-0,466	0,500	-0,0324
1.2.1_EC	0,287	R\$ 1.000.000 <= VP < R\$ 2.500.000 ^(c)	-0,050	0,500	-0,0072
1.3.1_EC	0,287	R\$ 2.500.000 <= VP < R\$ 5.000.000 ^(c)	-0,100	0,800	-0,0230
1.4.1_IM	0,031	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: mínimo; percentual de indivíduos potencialmente afetados: > 50% ^(d)	-0,658	0,500	-0,0101
1.4.2_IM	0,259	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: significativo; percentual de indivíduos potencialmente afetados: < 10% ^(e)	-0,146	0,500	-0,0253
1.4.3_IM	0,081	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: 10% a 50% ^(e)	-0,624	0,500	-0,0189
1.4.4_IM	0,039	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: mínimo; percentual de indivíduos potencialmente afetados: > 50% ^(e)	-0,658	0,500	-0,0128
2.0.1_AM	0,077	Índice de qualidade de água superficial: 10 a 25; número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão do copo d'água potencialmente afetada: 100 a 1.000 ^(f)	-0,287	1,000	-0,0222
2.0.2_EC	0,287	R\$ 1.000.000 <= VP < R\$ 2.500.000 ^(c)	-0,050	1,000	-0,0144
2.1.1_AM	0,077	Índice de qualidade de água superficial: 50 a 100; número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão do copo d'água potencialmente afetada: 100 a 1.000 ^(f)	-0,411	0,800	-0,0255

Cenário de Risco ^(a)	Peso ^(b)	Impactos Potenciais	Valor de Severidade	Probabilidade	Pontuação ^(g)
2.1.2_IM	0,031	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: > 50% ^(d)	-0,697	0,500	-0,0107
2.1.3_IM	0,259	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: significativa; percentual de indivíduos potencialmente afetados: 10% a 50% ^(e)	-0,624	0,500	-0,0807
2.1.4_IM	0,081	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: < 10% ^(e)	-0,146	0,500	-0,0059
2.1.5_IM	0,039	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: > 50% ^(e)	-0,697	0,500	-0,0136
2.3.1_AM	0,077	Índice de qualidade de água superficial: > 100; número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão do copo d'água potencialmente afetada: 100 a 1.000 ^(f)	-0,731	0,500	-0,0283
2.4.1_EC	0,287	R\$ 2.500.000 <= VP < R\$ 5.000.000 ^(c)	-0,100	0,800	-0,0230
3.0.1_AM	0,072	Custos de reabilitação: > 10 vezes o valor de mercado da área; área afetada: > 100 ha	-1,000	1,000	-0,0719
3.0.2_EC	0,287	R\$ 2.500.000 <= VP < R\$ 5.000.000 ^(c)	-0,100	1,000	-0,0287
3.0.3_EC	0,287	R\$ 5.000.000 <= VP < R\$ 10.000.000 ^(c)	-0,200	1,000	-0,0574
3.1.1_IM	0,031	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: 10% a 50% ^(d)	-0,321	0,800	-0,0079
3.1.2_IM	0,259	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: significativa; percentual de indivíduos potencialmente afetados: < 10% ^(e)	-0,449	0,800	-0,0929
3.1.3_IM	0,081	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: 10% a 50% ^(e)	-0,321	0,800	-0,0208
3.1.4_IM	0,039	Potencial de afetar as decisões desse grupo de stakeholders: moderado; percentual de indivíduos potencialmente afetados: > 50% ^(e)	-0,697	0,800	-0,0217

Cenário de Risco ^(a)	Peso ^(b)	Impactos Potenciais	Valor de Severidade	Probabilidade	Pontuação ^(g)
3.2.1_AM	0,015	Índice de qualidade de água subterrânea: > 10; Número de pessoas potencialmente expostas (i.e. fazem uso da água) na extensão do copo d'água potencialmente afetada: <10	-0.726	0.800	-0.0088
4.1.1_EC	0,287	R\$ 0 (sem custo) ^(c)	0.000	1.000	0.0000
Pontuação total					-0,689

(a) Ver definição dos cenários de risco na Tabela 5-2.

(b) Ver definição dos pesos dos critérios na Tabela 5-11.

(c) Ver definição da escala na Tabela 5-5.

(d) Ver definição da escala na Tabela 5-6.

(e) Intensidade e extensão equivalentes àquelas definidas para o grupo de stakeholders “empregados”, conforme apresentado na Tabela 5-6.

(f) Ver definição da escala na Tabela 5-4.

(g) Calculado com base nos valores de severidade e probabilidade e pesos apresentados nesta tabela (ver equação (5.1)).

5.3.7 Etapa G – Cálculo da pontuação associada às demais alternativas

Visando embasar o cálculo da pontuação associada às demais alternativas, primeiramente foi feita uma avaliação qualitativa dos potenciais efeitos que essas alternativas teriam em termos de alteração dos cenários de risco identificados na Etapa B, referentes à linha de base.

As pontuações totais das demais alternativas foram calculadas utilizando-se a mesma abordagem descrita na Etapa F para a Alternativa 0 (linha de base), com as escalas de severidade e de probabilidade definidas na Etapa D (Seção 5.3.4). Conforme discutido na Seção 4.3.7, caso implementadas, as demais alternativas teriam que resultar na alteração da pontuação de pelo menos um cenário quando comparada à Alternativa 0, resultando em diferentes pontuações totais.

Os custos associados com a implementação, operação e manutenção (O&M) das demais alternativas foram estimados para o período correspondente ao horizonte de tempo considerado no estudo de caso, convertidos para valores presentes, e então para valores da escala de impactos econômicos, apresentada na Seção 5.3.4 (ver Tabela 5-5). Esses valores foram então incluídos no cenário de risco correspondente à implantação de cada alternativa (cenário 4.1.1_EC na Tabela 5-2).

Os resultados das pontuações totais para as demais alternativas são apresentados no item de comparação das alternativas, na Seção 5.4 a seguir.

5.4 Comparação e escolha da melhor alternativa

A Tabela 5-13 apresenta os resultados de pontuações totais das alternativas avaliadas no estudo de caso, obtidos nas etapas F (ver Seção 5.3.6) e G (ver Seção 5.3.7). De forma a facilitar a comparação das alternativas, os resultados foram normalizados em relação à pontuação total obtida para a Alternativa 0 (linha de base).

Tabela 5-13 – Pontuações totais e comparação das alternativas no estudo de caso

Alternativa	Pontuação Total	Pontuação Normalizada
0 (linha de base)	-0.689	-100.0
1	-0.655	-95.1
2	-0.661	-95.9
3	-0.594	-86.3
4	-0.525	-76.2

Considerando a perspectiva de maximização da função objetivo do problema, relacionada à maximização do retorno econômico sustentável para os acionistas da empresa, as alternativas com valores de pontuação total mais elevados seriam as mais desejáveis. Dessa forma, com base nos resultados apresentados acima, espera-se que a Alternativa 4 resultaria nas condições mais satisfatórias em termos de maximização do retorno financeiro sustentável para os acionistas resultante da gestão dos riscos ambientais identificados no estudo de caso.

A Alternativa 4 de fato apresentava-se como a solução mais sustentável para o problema decisório avaliado no estudo de caso, visto que a recirculação da maior parte da água utilizada na usina de beneficiamento minimizaria a quantidade de água nova requerida para captação, minimizando os impactos sociais e riscos de imagem relacionados à depleção dos recursos hídricos. Além disso, essa alternativa levaria a uma redução da área requerida futuramente para a barragem (menor necessidade de alteamentos), a qual era a maior estrutura do complexo de mineração e que frequentemente era associada a impactos negativos de imagem.

Os resultados estão coerentes com a premissa apresentada na Seção 4.1, de que alternativas sustentáveis seriam as mais promissoras em uma perspectiva de maximização do retorno financeiro sustentável para os acionistas de uma empresa quando se leva em consideração os potenciais efeitos dos riscos ambientais de uma empresa no seu negócio.

5.5 Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade foi realizada no estudo de caso para avaliar a sensibilidade dos resultados obtidos em relação: (i) aos pesos definidos para os critérios ambiental, financeiro e de imagem; (ii) às incertezas associadas aos cenários de risco; e (iii) à taxa de desconto utilizada para converter os custos para valores presentes.

Avaliação da sensibilidade em relação aos pesos dos critérios

Visando avaliar a sensibilidade dos resultados obtidos no estudo de caso aos pesos dos critérios obtidos a partir das entrevistas com os tomadores de decisão do complexo de mineração, os cálculos das pontuações da Alternativa 0 (Etapa F) e das demais alternativas (Etapa G) foram refeitos considerando duas hipóteses:

- Maximização dos pesos dos critérios ambiental, financeiro e de imagem.
- Utilização dos pesos atribuídos por cada tomador de decisão.

O primeiro exercício correspondeu ao cálculo das pontuações de cada alternativa para três situações diferentes, a primeira maximizando o peso do critério ambiental e minimizando os pesos dos critérios econômico e de imagem (i.e., correspondente a um vetor de prioridades (1, 0, 0)), a segunda maximizando o critério econômico e a terceira maximizando o critério de imagem. Esses exercícios corresponderiam a uma avaliação com um único critério no nível da hierarquia do problema decisório em que os critérios ambiental, econômico e de imagem estão localizados.

A Tabela 5-14 apresenta as pontuações obtidas utilizando critérios únicos (ambiental, financeiro ou imagem) para a decisão, bem como os resultados obtidos utilizando-se a combinação dos critérios ambiental, financeiro e imagem e os pesos obtidos no estudo de caso original (i.e. a partir das entrevistas com os tomadores de decisão).

Os resultados mostrados na Tabela 5-14 indicam que a Alternativa 4 apresentaria o maior potencial de resultar em aumento o retorno financeiro sustentável para os acionistas na hipótese em que apenas o critério ambiental fosse considerado, bem como na hipótese em que apenas o critério de imagem fosse considerado. Entretanto, essa alternativa seria a menos desejável na hipótese em que apenas o critério econômico fosse considerado. A justificativa para esse comportamento é que a Alternativa 4 apresentaria os maiores custos de capital e de operação e manutenção, porém, proporcionaria efeitos bastante significativos em termos de redução dos potenciais impactos ambientais e de imagem, conforme discutido na Seção 5.4.

Tabela 5-14 – Pontuações totais das alternativas considerando a avaliação com critérios únicos (mono critério) e avaliação multicritério no estudo de caso

Alternativas	Pontuações considerando diferentes critérios			
	Mono Critério			Multicritério
	Ambiental	Econômico	Imagem	
0 (linha de base)	-100	-100	-100	-100
1	-81	-145	-79	-94
2	-81	-174	-67	-95
3	-60	-194	-50	-86
4	-59	-219	-17	-76

Nota: Pontuações mais altas em negrito.

No exercício de avaliação dos pesos obtidos a partir das entrevistas realizadas com cada tomador de decisão do complexo de mineração, foram utilizados os pesos dos critérios ambiental, financeiro de imagem apresentados na Tabela 5-8 (ver Seção 5.3.5), obtidos a partir das importâncias atribuídas por esses atores. A Tabela 5-15 apresenta os resultados de pontuação total das alternativas do problema decisório obtidos com o uso desses pesos individuais, bem como com o uso dos valores médios, utilizados no estudo de caso original.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5-15, verifica-se que para três dos quatro tomadores de decisão a Alternativa 4 seria a mais promissora. Para um dos respondentes, que atribuiu uma importância muito maior ao critério econômico, a manutenção da linha de base seria a alternativa mais promissora, visto que resultaria em menores custos diretos.

Os resultados relativos à preferência pela Alternativa 4 utilizando os pesos obtidos a partir das importâncias relativas dos critérios atribuídas por três dos quatro tomadores de decisão, bem como utilizando os pesos médios dentre esses quatro atores, indicam uma boa consistência dos resultados.

Tabela 5-15 – Pontuações totais das alternativas considerando os pesos individuais e valores médios levantados com os tomadores de decisão no estudo de caso

Alternativas	Pontuações considerando os pesos atribuídos pelos diferentes tomadores de decisão				
	1	2	3	4	Média
0 (linha de base)	-100	-100	-100	-100	-100
1	-85	-95	-86	-117	-95
2	-80	-94	-85	-129	-96
3	-65	-85	-68	-132	-86
4	-46	-71	-60	-136	-76

Nota: Pontuações mais altas em negrito.

Avaliação da sensibilidade em relação às incertezas associadas aos cenários de risco

De forma a avaliar a sensibilidade dos resultados à incerteza associada aos cenários de risco considerados no estudo de caso, foram feitos exercícios alterando-se os valores das probabilidades subjetivas atribuídas à ocorrência desses cenários de risco.

Primeiramente, a probabilidade dos cenários de risco considerados incertos (i.e. aqueles com probabilidade menor que 1) foi zerada. Dessa forma, foram incluídos no cálculo das pontuações das alternativas apenas aqueles cenários para os quais havia uma absoluta confiança sobre sua ocorrência, ou seja, os cenários para os quais havia sido atribuído um valor de probabilidade igual a 1.

Em um segundo exercício considerou-se reduzir a probabilidade atribuída à ocorrência dos cenários de risco considerados incertos. Nesse exercício essas probabilidades de ocorrência foram reduzidas para a metade do valor utilizado originalmente no estudo de caso.

A Tabela 5-16 apresenta os resultados de pontuações das alternativas obtidos nesses dois exercícios de alteração dos valores de probabilidade, juntamente com

os resultados obtidos a partir dos valores de probabilidade considerados originalmente no estudo de caso.

Tabela 5-16 – Pontuações totais das alternativas considerando diferentes valores de probabilidade no estudo de caso

Alternativas	Pontuações considerando diferentes probabilidades		
	Apenas cenários com probabilidade igual a 1 (certeza)	Probabilidade de cenários incertos (i.e. $P < 1$) reduzida à metade	Valores de probabilidade originais utilizados no estudo de caso
0 (linha de base)	-100	-100	-100
1	-130	-104	-94
2	-156	-111	-95
3	-170	-107	-86
4	-195	-105	-76

Nota: Pontuações mais altas em negrito.

Conforme esperado, a ordem de preferência das alternativas foi alterada em ambos os exercícios, visto que a importância⁸ dos cenários de risco considerados como incertos foi reduzida. Nesses casos a Alternativa 0 (linha de base) mostrou-se como a mais promissora devido a não incorporar custos de capital, operação e manutenção, que correspondiam a cenários de risco econômico com probabilidade de ocorrência igual a 1 para os demais cenários (i.e. as demais alternativas somente poderiam ser implementadas mediante um investimento, e teriam custos de O&M associados).

Esse resultado é coerente com decisões tomadas com uma perspectiva de curto prazo, em que potenciais eventos futuros que podem impactar o negócio acabam não sendo considerados nos processos decisórios, podendo resultar em consequências negativas a médio e longo prazos.

Considerando que os resultados são sensíveis aos valores de probabilidade, e esses são de natureza subjetiva, deve-se tomar cuidado quando da estimativa desses valores. Conforme apresentado na Seção 4.3.6, o aumento do nível de

⁸ Conforme apresentado na Seção 4.3.4, a incerteza pode ser considerada como um dos critérios para avaliar a significância de impactos ambientais (NOH & LEE, 2003).

informação disponível sobre os componentes e condições de contorno do processo decisório, bem como a utilização de estimativas combinadas a partir de valores obtidos por diferentes analistas pode ajudar a aumentar o nível de consistência das estimativas de probabilidade.

Avaliação da sensibilidade em relação às taxas de desconto

De forma a avaliar a sensibilidade dos resultados à taxa de desconto utilizada para a conversão dos custos considerados no estudo de caso para valores presentes, foram feitos exercícios alterando-se o valor dessa taxa. A Tabela 5-17 apresenta os resultados obtidos utilizando-se taxas de desconto de 2%, conforme recomendado por Kahn (2001) para avaliação de custos ambientais (ver Seção 2.7.1), e 4%, correspondente à metade do valor utilizado originalmente no estudo de caso. Para fins de comparação, nessa tabela também são apresentados também os valores obtidos no cálculo original, utilizando uma taxa de desconto de 8%, que foi fornecida pelo complexo de mineração objeto do estudo de caso.

Tabela 5-17 – Pontuações totais das alternativas considerando diferentes taxas de desconto no estudo de caso

Alternativas	Pontuações considerando diferentes taxas de desconto		
	2%	4%	8%
0 (linha de base)	-100	-100	-100
1	-101	-101	-95
2	-105	-93	-96
3	-91	-84	-86
4	-66	-67	-76

Nota: Pontuações mais altas em negrito.

Os resultados confirmam que a Alternativa 4 seria a mais promissora mesmo considerando-se taxas de desconto inferiores. Ressalta-se, entretanto, que as Alternativas 1 e 2 deixariam de ser preferenciais em relação à linha de base no caso do uso da taxa de desconto de 2%, o que também seria verificado para a Alternativa 1 na hipótese da utilização de uma taxa de desconto de 4%.

A justificativa para o comportamento das pontuações em relação às taxas de desconto reside no fato de que na metodologia proposta tanto os custos ambientais

quanto os custos de capital e operação e manutenção das alternativas são considerados. Ao reduzir a taxa de desconto, os custos ambientais estimados dentro do horizonte de tempo considerado para a análise passam a apresentar valores presentes mais elevados, o que resulta em um aumento da importância desses custos no processo decisório. Entretanto, a redução da taxa de desconto também resulta em um aumento do valor presente dos custos de O&M das alternativas. Nos casos mencionados acima das Alternativas 1 e 2, a redução dos custos ambientais associados à implantação dessas alternativas tornou-se menos importante quando comparado ao custos de O&M quando foram utilizadas taxas de desconto mais baixas.

No caso da Alternativa 4 verificou-se que sua pontuação, e portanto, sua preferência em relação à Alternativa 0 (linha de base), aumentaria com a redução da taxa de desconto. O principal motivo para esse comportamento é que a Alternativa 4 era a única com potencial de reduzir a área ocupada pela barragem de rejeitos, resultante da disposição desses rejeitos em forma de pasta. Dessa forma, os custos para descomissionamento da barragem seriam reduzidos em relação à linha de base e em relação às demais alternativas. No estudo de caso esses custos seriam bastante significativos, e incidiriam no final do horizonte de tempo considerado para a análise. A redução da taxa de desconto resultaria, portanto, em um aumento do valor presente desses custos, aumentando sua importância no processo decisório avaliado no estudo de caso.

Verifica-se, portanto, que as taxas de desconto são relevantes principalmente quando são considerados cenários de risco com custos ambientais significativos e cuja estimativa de ocorrência seja em longo prazo. Essa importância da taxa de desconto é atenuada na metodologia proposta devido à incorporação dos custos de O&M das alternativas, bem como pelo caráter comparativo (demais alternativas comparadas à linha de base), em detrimento de uma avaliação baseada em valores absolutos.

6 CONCLUSÕES

Esta Tese teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para auxílio à tomada de decisões corporativas focada para empresas privadas orientadas para o lucro, que permitisse a incorporação de riscos ambientais para avaliação de alternativas de investimentos utilizando uma abordagem multicritério.

O desenvolvimento da metodologia proposta nesta Tese foi justificado pelas limitações verificadas nas metodologias existentes utilizadas para o suporte à tomada de decisão, que incluem, em alguns casos, a falta de capacidade de incorporar informações relevantes ao processo decisório e dificuldades na representação das complexas interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente, bem como as interações entre os riscos ambientais de uma empresa e a sustentabilidade do negócio.

Visando embasar o desenvolvimento da metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta nesta Tese, foi feita uma avaliação conceitual de forma estruturada das interações entre as atividades de uma empresa e o meio ambiente, bem como sobre os potenciais impactos dos riscos ambientais decorrentes de suas atividades na sustentabilidade do negócio e na capacidade da empresa de prover retorno financeiro sustentável para os seus acionistas. Verificou-se que os riscos ambientais associados às atividades de uma empresa podem afetar a sustentabilidade do negócio e a capacidade da empresa de prover retorno financeiro sustentável para os seus acionistas através de diversas interações, que muitas vezes são complexas. Verificou-se ainda que em muitos casos essas interações podem apresentar uma relação com o componente de imagem corporativa da empresa, a qual pode tanto ser afetada pelos riscos ambientais, como pode afetar as decisões dos stakeholders da empresa em relação ao negócio.

Com base no entendimento dessas interações, foi considerado na metodologia proposta o uso do critério de imagem, juntamente com os critérios ambiental e econômico, como os principais para a incorporação de riscos ambientais nos processos decisórios de empresas de capital privado orientadas para o lucro. A utilização dos critérios ambiental e de imagem visou possibilitar a representação de interações complexas entre as atividades de um negócio e os riscos ambientais associados de uma maneira simplificada quando comparada a abordagens baseadas exclusivamente em critérios econômicos.

A utilização do critério de imagem visou também a incorporação de parte da dimensão social no processo de tomada de decisão, visto que a imagem está relacionada à percepção da empresa pelos seus stakeholders. A utilização desse critério em uma abordagem de análise multicritério para suporte à tomada de decisão considerando riscos ambientais consistiu em uma inovação na metodologia proposta em relação a outras abordagens existentes.

A metodologia de auxílio à tomada de decisão proposta nesta Tese foi desenvolvida de maneira estruturada, utilizando o método Processo Analítico Hierárquico (AHP) e apresentando uma sequência de etapas para sua aplicação. Na estruturação da metodologia proposta buscou-se incorporar parte das interações entre as atividades de um negócio e o meio ambiente, bem como parte das interações entre os riscos ambientais decorrentes das atividades de uma empresa e aspectos do negócio relacionados à sua capacidade de prover retorno financeiro de forma sustentável para os seus acionistas.

Visando validar a metodologia proposta, ela foi utilizada em um estudo de caso envolvendo a avaliação de alternativas relacionadas à gestão de água em um complexo de mineração de grande porte localizado na região Sudeste do Brasil. Esse estudo de caso foi selecionado devido à relevância e complexidade do contexto decisório envolvido.

A aplicação da metodologia proposta no estudo de caso apresentado nesta Tese comprovou sua capacidade de incorporar riscos ambientais em processos de tomada de decisão corporativos, conforme definido previamente no objetivo deste trabalho. Com base no estudo de caso, considera-se ainda que essa metodologia atendeu aos objetivos específicos inicialmente propostos nesta Tese, conforme apresentado a seguir:

- a metodologia proposta permitiu incorporar cenários de risco (incertezas) e mais de um critério para a tomada de decisão (avaliação multicritério), tornando a análise mais completa e reduzindo possíveis erros devido a não consideração de informações relevantes ao processo decisório. Nesse sentido, a metodologia desenvolvida pode ser considerada como um avanço em relação às metodologias tradicionais de auxílio à tomada de decisão. A utilização da avaliação multicritério provou ser importante no estudo de caso, visto que na análise de sensibilidade realizada para esse caso foram verificadas ordens de prioridades das alternativas diferentes utilizando-se

apenas o critério econômico e utilizando-se a abordagem multicritério. Da mesma forma, a incorporação das incertezas também provou ser importante no estudo de caso, verificando-se na análise de sensibilidade do estudo de caso ordens de prioridade diferentes quando se considerou apenas os cenários de risco associados a uma condição de certeza e quando se considerou também os cenários de risco associados a uma condição de incerteza;

- a metodologia proposta possibilitou a estruturação e gerenciamento de forma simplificada de um grande número de informações relativas aos riscos ambientais envolvidos no processo decisório, condensando-as em um número reduzido de indicadores representativos, que foram expressos em uma única base (valores de risco). Nesse sentido verifica-se que a metodologia proposta possibilita solucionar um dos grandes desafios verificados em decisões complexas, relacionado ao gerenciamento das informações utilizadas para os processos decisórios, que podem se apresentar em grande número e diferentes formas;
- a metodologia proposta apresentou uma estrutura simplificada e flexível, que pode facilitar o seu entendimento e utilização em diversos setores empresariais. Dessa forma, sua aplicação mostra-se promissora para outros setores empresariais, bem como para outros tipos de problemas decisórios além daquele considerado no estudo de caso. Além disso, essa estrutura flexível possibilita eventuais modificações futuras que possam melhorar seu uso para o auxílio à tomada de decisão;
- a metodologia proposta facilitou a incorporação de riscos ambientais para suportar o processo decisório no estudo de caso, levando em consideração e explicitando no processo os fatores financeiros e não financeiros decorrentes desses riscos.

O critério de imagem provou ser relevante ao processo decisório considerado no estudo de caso, devido à natureza sensível do contexto da decisão, relacionado à gestão de água em uma região em que havia um histórico de conflitos relacionados ao uso da água. Além disso, a utilização desse critério permitiu incorporar de maneira simplificada no processo decisório informações sobre diversas interações entre os riscos ambientais associados a uma empresa e sua capacidade de prover

retorno financeiro sustentável para seus acionistas, que são complexas e de difícil representação em termos monetários. Assim como verificado no estudo de caso, acredita-se que esse critério de imagem também seja relevante em outras empresas privadas orientadas para o lucro.

Com base nos resultados apresentados nesta Tese, verifica-se que a metodologia proposta apresenta-se como uma ferramenta robusta para suportar tomadores de decisão de empresas privadas orientadas para o lucro na direção da incorporação de riscos ambientais nas decisões corporativas, e como uma alternativa para superar as limitações de metodologias que se baseiam somente no critério econômico. A possibilidade de trabalhar com os critérios ambiental e de imagem para representar parte das complexas interações entre um negócio e seus riscos ambientais simplifica a análise do problema de decisão quando comparado a abordagens puramente econômicas.

A metodologia proposta também pode servir de base para futuros desenvolvimentos e aplicações em empresas privadas orientadas para o lucro. Espera-se que, além de decisões relacionadas à gestão de água, conforme apresentado no estudo de caso, a metodologia proposta possa ser utilizada em outros problemas e contextos de decisão onde a variável ambiental seja relevante, como, por exemplo, na seleção de estratégias de gestão ambiental, definição da localização de uma nova unidade ou processo industrial, ou definição de rotas tecnológicas de processos, dentre outros. Adicionalmente, a metodologia proposta poderia ser utilizada para suportar decisões alinhadas com princípios de Responsabilidade Social Corporativa.

A partir da aplicação da metodologia proposta em outros contextos decisórios pode-se eventualmente identificar oportunidades para a sua melhoria. Considerando a discussão apresentada na análise de sensibilidade do estudo de caso (Seção 5.5), considera-se que a questão da incerteza associada aos riscos ambientais seja um dos aspectos mais relevantes para avaliação em futuras aplicações, visto que os valores de probabilidade utilizados na metodologia são de caráter subjetivo e podem alterar de forma significativa a importância dos cenários de risco no processo decisório. Conforme apresentado naquela Seção, o aumento do nível de informação e a utilização de estimativas de probabilidade combinadas podem ajudar a aumentar o seu nível de consistência.

Considera-se que para a aplicação da metodologia proposta seja necessário um conhecimento das atividades do negócio objeto do problema decisório, principalmente para a avaliação dos níveis superiores da hierarquia do problema, bem como um conhecimento técnico a respeito dos riscos ambientais a serem avaliados, de forma a permitir sua representação de forma satisfatória, considerando a finalidade de tomada de decisão. Dessa forma, pode ser demandado um conhecimento multidisciplinar para a aplicação da metodologia proposta.

Um dos aspectos que eventualmente poderia limitar a utilização da metodologia proposta nesta Tese é a utilização do método AHP para obter os pesos dos critérios utilizados no processo decisório. Conforme discutido na Seção 5.4, a utilização do método AHP requer o cálculo de autovalores e autovetores, que podem ser feitos em softwares específicos, muitas vezes não acessíveis aos tomadores de decisão de empresas. Visando contornar essa limitação, uma ferramenta para o cálculo do vetor de prioridades para o método AHP foi desenvolvida no software Microsoft Excel[®], que é amplamente utilizado em empresas. Essa ferramenta é descrita no Apêndice A, podendo ser replicada para o uso em problemas decisórios em que se utilize a metodologia proposta.

Um outro aspecto relevante desta Tese refere-se à discussão estruturada que foi apresentada sobre as interações mútuas entre as atividades de um negócio e os riscos ambientais associados. Espera-se que essa discussão possa auxiliar tomadores de decisão em empresas privadas orientadas para o lucro a entender melhor como os riscos ambientais causados por suas operações podem afetar o negócio. Esse entendimento é crucial para que as empresas movam de uma postura reativa e limitada ao atendimento de requisitos legais para um comportamento proativo e voluntário relacionado à minimização de riscos ambientais. Além de resultar em uma melhora da qualidade do meio ambiente, essa postura proativa e voluntária provavelmente passará a ser cada vez mais importante para a sustentabilidade do negócio de empresas privadas em um cenário de aumento crescente da competitividade, aumento das restrições em relação à gestão de riscos ambientais, e aumento da informação disponível e conscientização dos stakeholders sobre a importância da gestão de riscos ambientais, o que pode resultar em mudanças na sua percepção sobre a imagem das empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004a). *NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas . (2004b). *NBR ISO 14004: Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio*. Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007). *NBR ISO 14006-1: Gases de efeito estufa, Parte 1: Especificação e orientação para elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa* . Rio de Janeiro.
- Abreu, M. C., Castro, F., Soares, F. A., & Filho, J. C. (2012). A comparative understanding of corporate social responsibility of textile firms in Brazil and China. *Journal of Cleaner Production* 20, 119 - 126.
- Adams, C., Seroa da Motta, R., Ortiz, R. A., Reid, J., Aznar, C. E., & Sinisgalli, P. A. (2008). The use of contingent valuation for evaluating protected areas in the developing world: Economic valuation of Morro do Diabo State Park, Atlantic Rainforest, São Paulo State (Brazil). *Ecological Economics* 66, 359 - 370.
- AIChE - American Institute of Chemical Engineers. Center for Waste Reduction Technologies. (1999). *Total Cost Assessment Methodology – Internal Managerial Decision Making Tool*. Amer Inst of Chemical Engineers. ISBN 0816908079.
- Akın, E., & Demirel, Y. (2011). An empirical study: Are corporate image relation satisfaction and identification with corporate influential factors on effectiveness of corporate communication and consumer retention. *European Journal of Social Sciences* 23(1), 131 - 156.
- AMBEV . (2012). *Relatório anual 2011*. Acesso em 06 de dezembro de 2012, disponível em http://www.ambev.com.br/media/3939214/ra_ambev_2012.pdf
- ANA - Agência Nacional das Águas. (2006). *Água: fatos e tendências*. Acesso em 15 de maio de 2011, disponível em 20070302094757_Água, fatos e tendências.pdf/
- Ananda, J., & Herath, G. (2003). Incorporating stakeholder values into regional forest planning: a value function approach. *Ecological Economics* 45, 75 - 90.
- Ananda, J., & Herath, G. (2009). A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics* 68, 2535 - 2548.

- Argonne National Laboratory. (2006). *Development and Applications of GREET 2.7 — The Transportation Vehicle-Cycle Model*. Acesso em 21 de outubro de 2010, disponível em http://www.transportation.anl.gov/modeling_simulation/GREET/greet_2-7_beta.html
- Ariely, D., Au, W. T., Bender, R. H., Budescu, D. V., Dietz, C. B., Gu, H., et al. (2000). The effects of averaging subjective probability estimates between and within judges. *Journal of Experimental Psychology Applied* 6(2), 130 - 147.
- Avagyan, V., Cesaroni, F., & Yildirim, G. (2011). *How firm value reflects green intellectual capital: The impact of green technological innovations and green marketing actions on firm performance*. Madri: UAM-Accenture Chair on the Economics and Management of Innovation, Autonomous University of Madrid, Faculty of Economics.
- Banerjee, S. B. (2001). Corporate environmental strategies and actions. *Management Decision* 39(1), 36 - 44.
- Barkemeyer, R., Figge, F., Hahn, T., Liesen, A., & Müller, F. (2011). *Sustainable Value Creation by Pulp and Paper Companies*. Acesso em 27 de abril de 2012, disponível em <http://www.sustainablevalue.com>
- Baumgärtner, S., Faber, M., & Proops, J. (2002). How environmental concern influences the investment decision: an application of capital theory. *Ecological Economics* 40, 1 - 12.
- BCG - The Boston Consulting Group Inc. (2009). *The Business of Sustainability – Imperatives, Advantages, and Actions*. Boston.
- Bebbington, J., Larrinaga, C., & Moneva, J. M. (2008). Corporate social reporting and reputation risk management . *Accounting, Auditing & Accountability Journal* 21(3), 337 - 361.
- Beder, S. (2002). Environmentalists help manage corporate reputation: Changing perceptions not behaviour. *Ecopolitics: Thought and Action* 1(4), 60 - 72.
- Berkhout, F., Azzone, G., Carlens, J., Hertin, J., Jasch, C., Noci, G., et al. (2001). *MEPI – Measuring the Environmental Performance of Industry. Final report, EC Environment and Climate Research Program: Research Theme 4 - Human Dimensions of Environmental Change - Contract No: ENV4-CT97-0655*. Acesso em 14 de novembro de 2008, disponível em <http://www.environmental-performance.org>
- Bieker, T., Dyllick, T., Gminder, C., & Hockerts, K. (2002). *Towards a Sustainability Balanced Scorecard Linking Environmental and Social Sustainability to Business Strategy*. St Gallen: Institute for Economy and Environment, University of St Gallen.

- Biermann, F., & Pattberg, P. (2008). Global environmental governance: taking stock, moving forward. *Annual Review of Environment and Resources* 33, 277 - 94.
- Binder, F. (1994). *Sistemas de apoio à decisão*. São Paulo: Érica.
- Bispo, C. A. (1998). *Uma Análise da Nova Geração de Sistemas de Apoio à Decisão*. 160 p. *Dissertação (Mestrado)*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Blumenshine, N. T., & Wunnava, P. V. (2010). The value of green: the effect of environmental rankings on market cap. *Technology and Investment* 1, 239 - 242.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Nchez-Colon, S. S., & Martinez, A. (2005). Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis. *Environmental Management* 36(3), 469 - 481.
- Bringnall, S. (2002). *The Unbalanced Scorecard: A Social and Environmental Critique*. Londres.
- Chen, Y. S. (2011). Green organizational identity: sources and consequence. *Management Decision* 49(3), 384 - 404.
- Chiavenato, I. (1983). *Introdução à teoria geral da administração*. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.
- Clemen, R. T. (1996). *Making Hard Decisions: an introduction to decision analysis*. 2. ed. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Acesso em 12 de junho de 2008, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2009). *Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias*. Acesso em 15 de abril de 2010, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. (2008). *Deliberação Normativa COPAM Nº 127, de 27 de Novembro de 2008. Estabelece diretrizes e procedimentos para avaliação ambiental da fase de fechamento de mina*.

Acesso em 23 de outubro de 2012, disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla>

Costa, J. J. (1977). *Teoria da decisão: um enfoque objetivo. 2 ed.* Rio de Janeiro: Editora Rio.

DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs . (2006). *Environmental Key Indicators – Reporting Guidelines for UK Business.* London.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. (2006). *Anuário Mineral Brasileiro 2006.* Acesso em 22 de maio de 2011, disponível em <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=789>

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. (2009). *Economia Mineral do Brasil - 2009.* Acesso em 22 de maio de 2011, disponível em <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1461>

Dowell, G. H. (2000). Do corporate global environmental standards create or destroy market value? *Management Science* 46, 1059 - 1074.

Dutton, J. E., & Dukerich., J. M. (1991). Keeping an eye on the mirror: image and identity. *Organisational Adaptation Academy of Management Journal* 34(3), 517 - 554.

ELETROBRAS. (2000). *Metodologia de Valoração das Externalidades Ambientais da Geração Hidrelétrica e Termelétrica com Vistas à sua Incorporação no Planejamento de Longo Prazo do Setor Elétrico.* Rio de Janeiro.

Ernest & Young. (2008). *Strategic Business Risk 2008 – The top 10 risks for business.* Acesso em 17 de maio de 2010, disponível em <http://www.ernestyong.com>

FASB - Financial Accounting Standards Board. (2001). *Statement of Financial Accounting Standards (SFAS) N° 143.* Acesso em 15 de novembro de 2012, disponível em <http://www.fasb.org>

Faucheux, S., & Froger, G. (1995). Decision-making under environmental uncertainty. *Ecological Economics* 15, 29 - 42.

Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68, 643 - 653.

Floyd, P. J., & Footitt, A. J. (1999). *Risk Ranking for Small and Medium Enterprises.* Norfolk.

- Getirana, A. C., Malta, V. F., & Azevedo, J. P. (2008). Decision Process in a Water Use Conflict in Brazil. *Water Resources Management* 22, 103 - 118.
- Ghobadian, A., Viney, H., James, P., & Liu, J. (1994). The influence of environmental issues in strategic analysis and choice: a review of environmental strategy among top UK corporations. *Management Decision* 33(10), 46- 58.
- Giner-Santonja, G., Aragonés-Beltrán, P., & Niclós-Ferragut, J. (2012). The application of the analytic network process to the assessment of best available techniques. *Journal of Cleaner Production* 25, 86 - 95.
- Globescan. (2010). *Improving Sustainability Performance Is Key to Enhancing Corporate Brand Image, According to Experts*. Acesso em 10 de novembro de 2012, disponível em http://www.globescan.com/news_archives/tss10_brand/
- Gomes, L. F. (2007). *Teoria da Decisão*. São Paulo: Thomson Learning. ISBN 85-221-0529.
- Gomes, L. F., Gomes, C. F., & Almeida, A. T. (2006). *Tomada de Decisão Gerencial – Enfoque Multicritério*. São Paulo: Editora Atlas S.A. ISBN 85-244-4420-X.
- Gregory, R. L., L., F., & Higgins, P. (2006). Adaptive management and environmental decision making: A case study application to water use planning. *Ecological Economics* 58, 434 - 447.
- GRI - Global Reporting Initiative. (2011). *Sustainability Reporting Guidelines – version 3.1*. Acesso em 23 de outubro de 2012, disponível em <http://www.globalreporting.org/ReportingFramework/ReportingFrameworkDownloads/>
- Guimarães, L. S. (2003). *Gerenciamento de Riscos e Segurança de Sistemas*. São Paulo: Editora ABDAN. ISBN 33574.
- Guimarães, L. S. (2004). Gerenciamento de riscos em projetos. *Disciplina do Departamento de Engenharia Naval (notas de aula)*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Haksever, C., Chaganti, R., & Cook, R. G. (2004). A Model of Value Creation: Strategic View. *Journal of Business Ethics* 49, 291 - 305.
- Hämäläinen, R. P., & Alaja, S. (2008). The threat of weighting biases in environmental decision analysis. *Ecological Economics* 68, 556 - 569.
- Holland, M., & Watkiss, P. (2005). *Benefits Table Database - Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe*. Acesso em 15 de setembro de 2008, disponível em <http://europa.eu.int>

- Hooghiemstra, R. (2000). Corporate Communication and Impression Management – New Perspectives Why Companies Engage in Corporate Social Reporting. *Journal of Business Ethics* 27, 55 - 68.
- Hunkeler, D., Rebitzer, G., & Inaba, A. (2002). Environmental performance indicators and application of the life cycle thinking to product development and corporate management. *The Fifth International Conference on Ecobalances*. Tóquio.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. (2004). *The long term stabilization of uranium mill tailings - Final report of a co-ordinated research project 2000–2004*. Viena.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011). *Censo Demográfico 2010*. Acesso em 15 de outubro de 2011, disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. (2006). *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Acesso em 29 de setembro de 2011, disponível em <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/>
- ICF Incorporated. (2006). *Full Cost Accounting for Decision Making at Ontario Hydro: A Case Study*. Acesso em 26 de agosto de 2011, disponível em <http://www.epa.gov/optintr/library/pubs/archive/acct-archive/pubs/ontarhyd.pdf>
- ICMM - International Council on Mining & Metals. (2008). *Planning for Integrated Mine Closure: Toolkit*. Londres: International Council on Mining and Metals (ICMM).
- ISO - International Organization for Standardization. (1999). *Technical Report ISO/TR 14032: Environmental Performance Management – Examples of Environmental Performance Evaluation (EPE)*. Suíça.
- ISO - International Organization for Standardization. (2004). *International Standard ISO 14031: Environmental Performance Management – Environmental Performance Evaluation – Guidelines*. Suíça.
- Jabbour, C., Silva, E., Paiva, E., & Santos, F. (2012). Environmental management in Brazil: is it a completely competitive priority? *Journal of Cleaner Production* 21, 11 - 22.
- Kaenzig, J., Friot, D., Saadé, M., Margni, M., & Jolliet, O. (2011). Using life cycle approaches to enhance the value of corporate environmental disclosures. *Business Strategy and the Environment* 20, 38 - 54.

- Kahn, J. R. (2001). *Characteristics and Criteria for Environmental Decision-Making: Implications for Materials Policy*. Rio de Janeiro: The International Materials Assessment and Application Center United Nations Industrial Development Organization (IMAAC/UNIDO).
- Keeney, R. (1992). *Value Focused Thinking*. Cambridge: Harvard University Press.
- Keeney, R. L., & Gregory, R. S. (2005). Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives. *Operations Research* 53, 1 - 11.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keller, K. L. (2003). *Strategic brand management, 2nd edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kraemer, M. E. (2004). *Contabilidade Ambiental – O Passaporte para a Competitividade*. Acesso em 02 de dezembro de 2008, disponível em <http://www.sinescontabil.com.br>
- Kulay, L. A. (2000). *Desenvolvimento de Modelo de Análise de Ciclo de Vida Adequado às Condições Brasileiras – Aplicação ao Caso do Superfosfato Simples. Dissertação (Mestrado)*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Lambooy, T. (2011). Corporate social responsibility: sustainable water use. *Journal of Cleaner Production* 19, 852 - 866.
- Lee, C., & Lee, A. C. (2006). *Encyclopedia of Finance*. Nova York: Springer Science+Business Media, Inc. ISBN-10: 0-387-26336-5.
- Lewis, S. (2001). Measuring corporate reputation. *Corporate Communications: An International Journal* 6(1), 31 – 35.
- Liou, J. J., & Chuang, M. L. (2009). Evaluating corporate image and reputation using fuzzy MCDM approach in airline market. *Quality and Quantity*, DOI 10.1007/s11135-009-9259-2.
- Liu, C., Frazier, P., Kumar, L., & MacGregor, C. (2006). Catchment-wide wetland assessment and prioritization using the multi-criteria decision-making method TOPSIS. *Environmental Management* 38(2), 316 - 326.
- Liu, K. F. (2007). Evaluating environmental sustainability: an integration of multiple-criteria decision-making and fuzzy logic. *Environmental Management* 39, 721 - 736.

- Magness, V. (2003). Economic values and corporate financial statements. *Environmental Management* 32(1), 1 - 11.
- Magrini, A. (1992). *Metodologia de avaliação de impacto ambiental. O caso das usinas hidrelétricas. Tese (Doutorado)*. Rio de Janeiro: Instituto de Pós-graduação e Pesquisa em Administração (COPPEAD) da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- McWilliams, A., & Siegel, D. (2001). Corporate social responsibility: a theory of the firm perspective. *Academy of Management Review* 26 (1), 117 - 127.
- Millet, I., & Schoner, B. (2005). Incorporating negative values into the Analytic Hierarchy Process. *Computers & Operations Research* 32, 3163 - 3173.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2004). *Manual de Valoração Ambiental*. Acesso em 09 de dezembro de 2008, disponível em <http://www.mma.gov.br>
- Molina-Azorín, J. F., Claver-Cortés, E., López-Gamero, M. D., & Tarí, J. J. (2009). Green management and financial performance: a literature review. *Management Decision* 47(7), 1080 - 1100.
- Monteiro, P. R., Castro, A. R., & Prochnik, V. (2003). A mensuração do desempenho ambiental no Balaced Scorecard e o caso da Shell. *VII Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente - FGV/USP*. São Paulo.
- Moore, S., & Manring, S. (2009). Strategy development in small and medium sized enterprises for sustainability and increased value creation. *Journal of Cleaner Production* 17, 276 - 282.
- Moraes, D. D., & Madeira, G. J. (2005). *A Contabilidade como Sistema de Apoio à Decisão*. Acesso em 21 de setembro de 2009, disponível em <http://www.sinescontabil.com.br>
- Motta, R. S. (2006). *Economia Ambiental*. Rio de Janeiro: FGV Editora.
- Nguyen, N., & Leblanc, G. (2001). Corporate image and corporate reputation in customers' retention decisions in services. *Journal of Retailing and Consumer Services* 8, 227 - 236.
- Noh, J., & Lee, K. (2003). Application of multiattribute decision-making methods for the determination of relative significance factor of impact categories. *Environmental Management* 31(5), 633 - 641.
- O'Sullivan, A., & Sheffrin, S. M. (2003). *Economics: Principles in action*. New Jersey: Pearson Prentice Hall. ISBN 0-13-063085-3.

- OECD - Organization for Economic Co-Operation and Development. (2000). *Background Paper on Valuing Environment Benefits and Damages in the NIS: Opportunities to Integrate Environmental Concerns into Policy and Investment Decisions*. Almaty.
- Olson, D. L. (2010). Innovative CSR: from Risk Management to Value Creation (Book Review). *Journal of Cleaner Production* 18, 1767 - 1768.
- Olsthoorn, X., Tyteca, D., Wehrmeyer, W., & Wagner, M. (2000). Environmental Indicators for Business: A Review of the Literature and Standardisation Methods. *Journal of Cleaner Production*, Manuscript ref: CpDH/2000/000311. Novembro, 2000.
- Pearce, D., & Turner, R. K. (1992). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Pedersen, E., & Neergaard, P. (2009). What matters to managers? The whats, whys, and hows of corporate social responsibility in a multinational corporation. *Management Decision* 47(8), 1261 - 1280.
- Prato, T. (1999). Multiple attribute decision analysis for ecosystem management. *Ecological Economics* 30 , 207 - 222.
- Prato, T., & Herath, G. (2007). Multiple-criteria decision analysis for integrated catchment management. *Ecological Economics* 63, 627 - 632.
- Riordan, C. M., Gatewood, R. D., & Bill, J. B. (1997). Corporate Image: Employee Reactions and Implications for Managing Corporate Social Performance. *Journal of Business Ethics* 16, 401 - 412.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 48, 9 - 26.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process . *Int. J. Services Sciences* 1(1), 83 - 98.
- Segnestam, L. (1999). *Environmental Performance Indicators – A Second Edition Note*. Washington: The World Bank Environmental Department.
- Shamblin, J. E., & Stevens Jr., G. T. (1989). *Pesquisa operacional: uma abordagem básica*. São Paulo: Atlas.
- Shields, D., Beloff, B., & Heller, M. (1997). *Environmental Cost Accounting for Chemical & Oil Companies: A Benchmarking Study*. Institute for Corporate Environmental Management. Huston: University of Huston.

- Sigel, K., Klauer, B., & Pahl-Wostl, C. (2010). Conceptualizing uncertainty in environmental decision-making: The example of the EU water framework directive. *Ecological Economics* 69, 502 - 510.
- Simianer, H. (2005). Decision making in livestock conservation . *Ecological Economics* 53, 559 - 572.
- Šmaižien, I., & Oržekauskas, P. (2006). Corporate Image Audit. *Vadyba / Management* 1(10), 89 - 96.
- Söderholm, P., & Sundqvist, T. (2003). Pricing environmental externalities in the power sector: ethical limits and implications for social choice. *Ecological Economics* 46, 333 - 350.
- Sustainable Measures. (2007). *Sustainable Measures (website)*. Acesso em 15 de maio de 2007, disponível em www.sustainablemeasures.com
- Tolmasquim, M. T., Seroa da Motta, R., La Rovere, E. L., Barata, M. M., & Monteiro, A. G. (2001). Environmental valuation for long-term strategic planning - the case of the Brazilian power sector. *Ecological Economics* 37, 39 - 51.
- Tu, Y.-T., Wang, C.-M., & Chang, H.-C. (2012). Corporate brand image and customer satisfaction on loyalty: an empirical study of starbucks coffee in taiwan. *Journal of Social and Development Sciences* 3(1), 24 - 32.
- U.S. EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (1995). *An Introduction to Environmental Accounting as a Business Management Tool: Key Concepts and Terms*. Washington. EPA 742-R-95-001.
- U.S. EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (1996). *Valuing Potential Environmental Liabilities for Managerial Decision-Making: A Review of Available Techniques*. Washington.
- U.S. EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (1997). *The Benefits and Costs of the Clean Air Act*. Washington.
- U.S. EPA - U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practices*. Washington.
- Vaidya, O., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169, 1 - 29.
- VALE. (2011). *Relatório de Sustentabilidade 2009*. Acesso em 18 de maio de 2011, disponível em <http://www.vale.com/pt-br/sustentabilidade/relatorio-de-sustentabilidade/paginas/default.aspx>

- Van der Heijden, A., Driessen, P. P., & Cramer, J. M. (2010). Making sense of Corporate Social Responsibility: Exploring organizational processes and strategies. *Journal of Cleaner Production* 18, 1787 - 1796.
- Van Riel, C. B. (1995). *Principles of corporate communication*. London: Prentice Hall.
- Veljković, D., & Petrović, D. (2011). The role of corporate image in the process of company takeovers. *Megatrend Review* 8(1), 77 - 94.
- Wagner, M. (2001). *A Review of Empirical Studies Concerning the Relationship between Environmental Performance and Economic Performance*. Lüneburg: Center for Sustainability Management (CSM).
- Wagner, M., Van Phu, N., Azomahou, T., & Wehrmeyer, W. (2002). The Relationship between the Environmental and Economic Performance of Firms: An Empirical Analysis of the European Paper Industry. What does the evidence tell us? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* 9, 133 -146.
- Wallsten, T. S., Budescu, D. V., Erev, I., & Diederich, A. (1997). Evaluating and combining subjective probability estimates. *Journal of Behavioral Decision Making* 10, 243 - 268.
- Wartick, S. L. (2002). Measuring Corporate Reputation : Definition and Data. *Business & Society* 41(4), 371 - 392.
- Weber, O., Scholz, R. W., & Michalik, G. (2010). Incorporating Sustainability Criteria into Credit Risk Management. *Business Strategy and the Environment* 19, 39 - 50.
- Wehrmeyer, W., Tyteca, D., & Wagner, M. (2001). How many (and which) Indicators are necessary to compare the Environmental Performance of Companies? A sectoral and statistical answer. *The 7th European Roundtable on Cleaner Production*. Suécia.
- Wiegmann, D. A. (2005). *Developing a methodology for eliciting subjective probability estimates during expert evaluations of safety interventions: application for Bayesian belief networks*. Illinois: University of Illinois.
- WRI/WBCSD - World Resources Institute / World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The GHG Protocol for Project Accounting*. Acesso em 04 de dezembro de 2009, disponível em <http://www.ghgprotocol.org/files/ghg-protocol-revised.pdf>
- Zopounidis, C., & Doumpos, A. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: Methodologies and literature review . *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 11, 167 - 186 .

Apêndice A – Ferramenta Desenvolvida para o Cálculo do Vetor de Prioridades do Método Processo Analítico Hierárquico

Este apêndice apresenta a ferramenta desenvolvida no Software Excel® para o cálculo do vetor de prioridades conforme o método AHP, que foi utilizado para o estudo de caso apresentado nesta Tese.

Conforme apresentado na Seção 2.2.1, o cálculo do vetor de prioridades segundo o método AHP requer primeiramente a construção de uma matriz A cujos argumentos correspondem à razão entre as importâncias relativas dos critérios face ao objetivo do elemento ao qual estão vinculados:

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

Onde:

- A_1, A_2, \dots, A_n é o conjunto de critérios a serem comparados;
- w_1, w_2, \dots, w_n são os pesos correspondentes de cada critério.

Os valores w_j/w_i são atribuídos com base na escala de importância definida por Saaty para o método AHP, conforme apresentado na Tabela 2-2 da Seção 2.2.1. Ressalta-se que os valores w_j/w_i são recíprocos, e portanto não precisam ser atribuídos novamente, podendo ser calculados. Por exemplo, caso seja atribuído um valor de 2 a w_j/w_i , o valor de w_i/w_j seria $(1/2) = 0,5$.

Na ferramenta desenvolvida para esta Tese a matriz A foi definida podendo receber comparações de até 15 critérios, conforme apresentado no item 1 (Matrix A) deste Apêndice. Os campos em verde consistem em valores que devem ser inseridos pelo usuário, e os campos em amarelo correspondem aos valores recíprocos, calculados com base nos valores inseridos pelo usuário. Na ferramenta desenvolvida a ordem da matriz é obtida automaticamente a partir dos campos que são preenchidos nessa tabela.

Uma vez definida a matriz A o vetor de prioridades por ser obtido pela solução da equação:

$$(A - \lambda_{\max} \cdot I) \cdot w = 0 \quad (2.3)$$

Onde λ_{\max} é o principal autovalor de A .

Na ferramenta desenvolvida para esta Tese o cálculo acima foi feito por meio de interações, atribuindo-se inicialmente um valor extremo inferior a λ , e incrementado marginalmente esse valor a cada interação. Em cada interação os cálculos são realizados e verificados até que se obtenha a convergência da equação acima para zero. Os itens 1 a 8 deste Apêndice apresentam as tabelas e fórmulas que foram utilizadas para esse cálculo na ferramenta desenvolvida. No final deste Apêndice é apresentada uma macro que foi desenvolvida para auxiliar nesse cálculo, e em seguida a página inicial da ferramenta.

Para validação dos resultados obtidos, a ferramenta incluiu o cálculo do índice de consistência (CI) e razão de consistência (CR), conforme equações abaixo (ver Seção 2.2.1):

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (2.4)$$

$$CR = CI / CI_{\text{ref}} \quad (2.5)$$

Onde CI_{ref} são valores de CI de referência apresentados por Saaty (2008) (ver Tabela 2-1 na ver Seção 2.2.1).

Saaty (1990, 2008) apresenta que valores de CR iguais ou inferiores a 10% indicam um nível de consistência satisfatório. Caso se obtenha valores de CR superiores a 10%, a comparação dos pesos dos critérios deve ser revista, de forma a se aumentar o nível de consistência (i.e. reduzir o valor de CR).

O cálculo do CI e CR na ferramenta é apresentado no item 9 deste Apêndice.

1 - Matrix A

7	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
8	Critérios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
9	A1	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
10	A2	2	1,000	1	1	2	3	4	5	6	7	8					
11	A3	3	0,500	1,000	1	1	2	3	4	5	6	7					
12	A4	4	0,333	0,500	1,000	1	1	2	3	4	5	6					
13	A5	5	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	2	3	4	5					
14	A6	6	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	2	3	4					
15	A7	7	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	2	3					
16	A8	8	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	2					
17	A9	9	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1					
18	A10	10	0,111	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1					
19		11															
20		12															
21		13															
22		14															
23		15															

Nota 1: números e letras em vermelho correspondem às linhas e colunas da planilha em Excel®.

Nota 2: valores nas células em verde são inputs do usuário. Valores das células em amarelo são calculados.

Nota 3: valores nas células marcadas em verde foram inseridos apenas para ilustrar o cálculo.

Fórmulas:

$$C10 = SE(ÉNÚM(\$D\$9)=FALSO;0;1/\$D\$9)$$

Restante dos valores nas células marcadas em amarelo calculadas de modo semelhante.

3 - Matrix B = (A - L*I)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
46																
47	L =	15	Valor proveniente da Macro													
48																
49		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
50	1	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000					
51	2	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000					
52	3	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000					
53	4	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000					
54	5	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000					
55	6	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000	4,000					
56	7	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000	3,000					
57	8	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000	2,000					
58	9	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000	1,000					
59	10	0,111	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,000					
60	11															
61	12															
62	13															
63	14															
64	15															
65		C50:L59	="c"&LIN(C50)&":"&ÍNDICE(\$C\$3:\$Q\$3;CORRESP(\$V\$8;\$C\$8:\$Q\$8;0))&(LIN(C50)+\$V\$8-1)													
66	Det (B) =	1,890E+11	=ARRED(MATRIZ.DETERM(INDIRETO(C65));3)													

Fórmulas:

$$C50:Q64 = \{=C9:Q23-C47*C28:Q42\}$$

Restante das fórmulas indicadas junto às células.

4 - Matrix B' = (A - L*I)

70 **B** **C** **D** **E** **F** **G** **H** **I** **J** **K** **L** **M** **N** **O** **P** **Q**

71 L' = 15,001 Valor proveniente da Macro

72

73		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
74	1	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000					
75	2	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000					
76	3	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000					
77	4	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000					
78	5	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000					
79	6	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000	4,000					
80	7	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000	3,000					
81	8	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000	2,000					
82	9	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001	1,000					
83	10	0,111	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-14,001					
84	11															
85	12															
86	13															
87	14															
88	15															

89 C74:L83 ="c"&LIN(C74)&":"&ÍNDICE(\$C\$3:\$Q\$3;CORRESP(\$V\$8;\$C\$8:\$Q\$8;0))&(LIN(C74)+\$V\$8-1)

90 Det (B') = 1,892E+11 =ARRED(MATRIZ.DETERM(INDIRETO(C89));3)

Fórmulas:

C74:Q88 = {=C9:Q23-C71*C28:Q42}

Restante das fórmulas indicadas junto às células.

5 - Matrix C = (A - Lmax*I)

94	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>
95	Lmax =	10,182	=MÁXIMO(C136:D136) (ver item 7)													
96																
97		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
98	1	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000					
99	2	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000					
100	3	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000					
101	4	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000					
102	5	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000					
103	6	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000	4,000					
104	7	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000	3,000					
105	8	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000	2,000					
106	9	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182	1,000					
107	10	0,111	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	-9,182					
108	11															
109	12															
110	13															
111	14															
112	15															

Fórmulas:

C98:Q112 = {=C9:Q23-C95*C28:Q42}

Restante das fórmulas indicadas junto às células.

6 - Matrix C⁻¹

	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
117	1	196,87	243,14	320,28	435,94	600,66	828,01	1133,78	1532,80	2027,00	2546,69				
118	2	156,77	193,42	254,93	346,98	478,09	659,04	902,41	1220,01	1613,37	2027,00				
119	3	118,55	146,34	192,67	262,39	361,53	498,36	682,40	922,56	1220,01	1532,80				
120	4	87,69	108,24	142,59	193,99	267,42	368,63	504,76	682,40	902,41	1133,78				
121	5	64,04	79,05	104,14	141,74	195,20	269,22	368,63	498,36	659,04	828,01				
122	6	46,46	57,35	75,54	102,83	141,68	195,20	267,42	361,53	478,09	600,66				
123	7	33,72	41,62	54,83	74,63	102,83	141,74	193,99	262,39	346,98	435,94				
124	8	24,77	30,58	40,28	54,83	75,54	104,14	142,59	192,67	254,93	320,28				
125	9	18,80	23,21	30,58	41,62	57,35	79,05	108,24	146,34	193,42	243,14				
126	10	15,23	18,80	24,77	33,72	46,46	64,04	87,69	118,55	156,77	196,87				
127	11														
128	12														
129	13														
130	14														
131	15														

Fórmulas:

$$C117:Q131 = \{=MATRIZ.INVERSO(C98:Q112)\}$$

7 – Cálculo de Lmax

134	B	C	D	E
135		Det(B) = 0	Det(B) ~ 0*	*: Det(B) <0 & Det(B') >0 or Det(B') <0 & Det(B) >0
136	L max =	0	10,182	=SE(SOMA(D137:D156)=0;0;MÁXIMO(D137:D156))
137	L =		10,182	Valor proveniente da Macro
138				
139				
140				
141				
142				
143				
144				
145				
146				
147				
148				
149				
150				
151				

Fórmulas:

C136 =SE(SOMA(C137:C151)=0;0;MÁXIMO(C137:C151))

Restante das fórmulas indicadas junto às células.

8 – Cálculo do Vetor de Prioridade

	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>
115		0			
116		0		W	W Norm.
117	1	1		9.865,2	0,2582
118	2	1		7.852,0	0,2055
119	3	1		5.937,6	0,1554
120	4	1		4.391,9	0,1149
121	5	1		3.207,4	0,0839
122	6	1		2.326,8	0,0609
123	7	1		1.688,7	0,0442
124	8	1		1.240,6	0,0325
125	9	1		941,7	0,0246
126	10	1		762,9	0,0200
127	11	1		-0,1	0,0000
128	12	1		-0,1	0,0000
129	13	1		-0,1	0,0000
130	14	1		-0,1	0,0000
131	15	1		-0,1	0,0000

1,0000

Fórmulas:

U117:U131 = {=MATRIZ.MULT(C117:Q131;S117:S131)}

V117 =SE(ARRED(U117/SOMA(\$U\$117:\$U\$131);5)=0;0;ARRED(U117/SOMA(\$U\$117:\$U\$131);5))

Restante dos valores nas células na coluna “V” calculadas de modo semelhante à célula V117.

9 – Cálculo do Índice de Consistência e da Razão de Consistência

Índices de Consistência de referência para avaliação dos resultados do método AHP

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>
3																
4	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,45	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Valores de referência apresentados por Saaty (2008) (ver Tabela 2-1 na ver Seção 2.2.1)

Verificação da consistência dos resultados

	<i>U</i>	<i>V</i>	
	Resultados		
8	n =	10	=CONT.NÚM(C9:Q9)
9	CI (table) =	1,490	=ÍNDICE(\$C\$5:\$Q\$5;0;CORRESP(V8;\$C\$4:\$Q\$4;0))
10	L max =	10,182	=C95
11	CI =	0,020	=(V10-V8)/(V8-1)
12	CR =	0,014	
13			
14	Inputs (set of values to be verified)		
15	L _{inicial}	5	=0,5*V8
16	L _{final}	15	=1,5*V8
17	Aumento	0,001	
18	Interações	10000	=(V16-V15)*(1/V17)
19	Count Inter.	10000	Valor proveniente da Macro

Macro utilizada na ferramenta

```
Sub Engenvalue()  
,  
' Eigenvalue Macro  
,  
  
    Range("C137:d151").Value = ""  
  
    a = Range("v15").Value  
    b = Range("v18").Value  
    c = Range("v17").Value  
    d = 136  
    j = 136  
  
    For i = 0 To b  
  
        e = a + i * c  
        Range("c47").Value = e  
        f = Range("c66").Value  
  
        If f = 0 Then  
            d = d + 1  
            Range("c136").Value = e  
            End If  
  
        g = e + c  
        Range("c71").Value = g  
        h = Range("c90").Value  
  
        If f < 0 And h > 0 Then  
            j = j + 1  
            Range("d136").Value = e  
            End If  
  
        If h < 0 And f > 0 Then  
            j = j + 1  
            Range("d" & j).Value = g  
            End If  
  
        Range("v19").Value = i  
  
    Next i  
  
End Sub
```

Página inicial da ferramenta desenvolvida para o cálculo de autovetores conforme o método AHP

Analytic Hierarchy Process Calculator

Objetivo:

n	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
R1	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,45	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

1 - Matrix A

Critérios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	2	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A3	3	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A4	4	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A5	5	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A6	6	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A7	7	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1	1
A8	8	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1	1
A9	9	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1	1
A10	10	0,111	0,125	0,143	0,167	0,200	0,250	0,333	0,500	1,000	1	1	1	1	1
A11															
A12															
A13															
A14															
A15															

2 - Matrix I

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Calculate Priority Vector

Inputs	Calculated (do not edit)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

W Norm.

0,258
0,205
0,155
0,115
0,084
0,061
0,044
0,032
0,025
0,020
1,000

Results

n =	10
CI (table) =	1,490
Lmax =	10,182
CI =	0,020
CR =	0,014

Weights are reasonable values

Inputs (set of values to be verified)

L Inicial	5
L Final	15
Aumento	0,001
Interações	10000
Count Inter.	20000

Start	13:47:42
Time	16:07:10
Duration:	02:19:28