

## ANÁLISE CUSTO-EFETIVIDADE DE AÇÕES EMPRESARIAIS EM ECOEFIÊNCIA

Cynthia Wanick Vieira

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Planejamento Energético, COPPE, da  
Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Mestre  
em Planejamento Energético.

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Rio de Janeiro

Março de 2013

ANÁLISE CUSTO-EFETIVIDADE DE AÇÕES EMPRESARIAIS EM  
ECOEFIÊNCIA

Cynthia Wanick Vieira

DISSERTAÇÃO 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 MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

---

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

---

Prof. Marcello Goulart Teixeira, D.Sc.

---

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey, Ph.D.

---

Prof<sup>ª</sup>. Martha Macedo de Lima Barata, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2013

Wanick, Cynthia Vieira.

Análise Custo-Efetividade de Ações Empresariais em Ecoeficiência / Cynthia Wanick Vieira – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013

XVI, 107 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere.

Dissertação (mestrado) – COPPE/UFRJ/ Programa de Planejamento Energético, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 76-83.

1. Ações empresariais em SMS. 2. Ecoeficiência. 3. Lógica Fuzzy. 4. Benefícios intangíveis. 5. Custo-efetividade. I. La Rovere, Emilio Lèbre. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

*Ainda pior que a convicção do não e a incerteza do talvez é a desilusão de um quase.*

Sarah Westphal

Aos exímios educadores que tive, pois sem eles não teria chegado até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao longo da pesquisa.

Aos funcionários do PPE, pela solicitude de sempre, especialmente para a Sandrinha e o Paulo, sempre prestativos.

À banca pela disponibilidade e contribuições na análise deste trabalho.

Ao meu orientador, Emilio, pela atenção e pelos conhecimentos transmitidos com tanto carinho e profissionalismo.

Aos queridos colegas de trabalho e amigos do LIMA: Carmen, Daniel, Elza, Fernanda, Fernando Moura, Heliana, Juliana, Martin, Pat, Renzo, Vivien, William. Agradeço especialmente àqueles que participaram da pesquisa junto comigo neste projeto: Denise, Marcello, Martha, Eurídice, Silvia Schaeffel, Vivian Gullo.

Aos meus mais novos companheiros de trabalho da Anima, em especial a equipe de P&D da Endesa Geração, que me acolheu tão bem: Aragão, Paulo, Chris, Marcelo e Sandro.

Aos lindos amigos que fiz e mantenho, graças ao PPE (e à EQ), por compartilhar desde o início as conquistas do mestrado: às meninas Clarinha, Dani, Evi, Lari, Lu, Natália, Nathalia, Susi, Tamara, e aos meninos André, “tio” Pedro, Pedro “ném”, Rafa.

Aos amigos da vida: Aubrey, Claudinha, Gabiru, Jenna, Letícia, Luciana, Luisa, Luiza, Marghe, Mari, Marina, Mayã, Renata, Ribeiro, Ric, Vítor “Careca”, Yanne. A vida sem vocês não seria completa!

Às queridas amigas Marcelle e meninas da dança, pela nossa terapia semanal.

Ao Pedro Ninô, por sempre acreditar no meu potencial.

À extensão da família que eu escolhi para amar: Camila, Carol, Flora, Luiza e Maíra.

À incondicionalmente maravilhosa família, por todo apoio e confiança: meus pais Anderson e Virginia, meus irmãos Vanissa, Camilla e Alexandre, meus avós Paulo, Ilka e Sylvio Wanick (*in memoriam*).

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

## ANÁLISE CUSTO-EFETIVIDADE DE AÇÕES EMPRESARIAIS EM ECOEFIÊNCIA

Cynthia Wanick Vieira

Março/2013

Orientador: Emilio Lèbre La Rovere

Programa: Planejamento Energético

Numa conjuntura na qual as empresas, notadamente aquelas do setor de energia, devem primar pela sustentabilidade de seu negócio, apresenta-se a utilização da Análise Custo-Efetividade em ações de ecoeficiência para auxiliar a avaliação, seleção e priorização de projetos desta natureza, por meio do indicador custo-efetividade. A metodologia propõe, além da valoração do custo e benefício monetário, a utilização da Lógica Fuzzy para construir um denominador comum, a efetividade, considerando em seu sistema especialista o conhecimento e expertise de profissionais da empresa e da academia. A Lógica Fuzzy permite incorporar aspectos de difícil mensuração (benefícios intangíveis) em um único índice, que é capaz ainda de considerar: a opinião de partes interessadas em relação às ações em SMS; o desempenho de projetos de ecoeficiência sobre o meio ambiente e a biodiversidade; o porte do projeto; e o efeito do tempo sobre os benefícios proporcionados por tais ações.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

## COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS OF CORPORATE ACTIONS IN ECOEFFICIENCY

Cynthia Wanick Vieira

March/2013

Advisor: Emilio Lèbre La Rovere

Department: Energy Planning

In circumstances where the companies, as those from the energy sector, shall excel in their business sustainability, is presented the application of Cost-Effectiveness Analysis of corporate actions in ecoefficiency to help the evaluation, selection and prioritization of projects of this nature, through the cost-effectiveness index. The methodology proposes, beyond the monetary evaluation of costs and benefits, the utilization of Fuzzy Logic to build a common denominator, the effectiveness, considering into its specialist system the knowledge and expertise of professionals from the company and the academy. Fuzzy Logic allows the incorporation of aspects that present difficult measurement (intangible benefits) in a unique index, that is also capable of take into account: stakeholder's opinion about HSE actions; ecoefficiency projects' performance on the environment and the biodiversity; its size; and the effect of time over the benefits provided by those actions.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Motivação e Apresentação do Problema.....	5
1.2. Objetivos Gerais .....	6
1.3. Objetivos Específicos .....	7
1.4. Hipóteses.....	7
2. BASE TEÓRICA .....	8
2.1. Ecoeficiência.....	8
2.2. Priorização de projetos.....	10
2.3. Análise Custo-Efetividade .....	12
2.4. Valoração dos Custos Tangíveis.....	12
2.5. Valoração do Ganho Intangível: Lógica Fuzzy .....	14
3. METODOLOGIA .....	24
3.1. Obtenção dos Custos e Benefícios Tangíveis .....	26
3.2. Determinação da Efetividade.....	29
3.2.1. Construção de um Índice para Mensuração da Efetividade (E).....	30
3.2.1.1. Determinação do ISMS <sub>RH</sub> .....	32
3.2.2. Determinação do fator de escala para as iniciativas de SMS (N).....	40
3.2.3. Obtenção do valor atribuído pelas partes interessadas às iniciativas .....	41
3.2.4. Determinação do fator de atualização para tempo presente.....	42
3.2.5. Fator de Biodiversidade .....	43
3.2.6. Determinação da efetividade .....	46
3.2.7. Resumo das Etapas para Mensuração da Efetividade.....	47
3.3. Análise Custo-Efetividade para Avaliação, Seleção e Priorização dos projetos de ecoeficiência.....	49
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: REUSO DE ÁGUA.....	51
4.1. Valoração dos Custos e Benefícios Tangíveis .....	51
4.2. Mensuração da Efetividade.....	55
4.3. Avaliação, Seleção e Priorização de Projetos de ecoeficiência .....	60
5. DISCUSSÃO .....	63
5.1. Análise de sensibilidade.....	63
5.1.1. Lançamento de DBO e fenol.....	63
5.1.2. Resíduos para Reciclagem e Redução na Geração de Resíduos Perigosos .....	65
5.1.3. Variação de Material Particulado, SO <sub>x</sub> e Fator de Estabilidade .....	66
5.1.4. DBO, Resíduos para Reciclagem e Variação de MP: comparando diversas iniciativas em ecoeficiência .....	67
5.2. Validade da metodologia .....	68
5.3. Limitações.....	69

5.4. Potencial e Perspectivas .....	70
6. CONCLUSÃO .....	73
7. BIBLIOGRAFIA .....	76
8. ANEXOS .....	84
ANEXO I – DETERMINAÇÃO DO ISMS .....	84
A. Determinação do ISMS <sub>RESÍDUOS</sub> .....	84
B. Determinação do ISMS <sub>EMISSIONES</sub> .....	91
ANEXO II – DETALHAMENTO DAS ETAPAS PARA MENSURAÇÃO DA EFETIVIDADE	
101	
A. DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA FUZZY .....	101
B. DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA .....	103
C. PARÂMETROS PARA AS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE	
RECURSOS HÍDRICOS .....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de conjuntos fuzzy quanto à reversibilidade de projetos de RSE (curto, médio e longo prazo).....	18
Figura 2 – Exemplo de aplicação da base de regras e posterior defuzzificação.....	20
Figura 3 – Etapas para realização da análise custo-efetividade para subsidiar a avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência.....	24
Figura 4 – Esquema da metodologia proposta .....	26
Figura 5 – Procedimento para determinação da efetividade .....	30
Figura 6 – Determinação dos ISMS para as 3 iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência..	30
Figura 7 – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RECURSOS HÍDRICOS.....	34
Figura 8 – Funções de pertinência para a variável <i>Lançamento atual</i> e <i>Lançamento futuro</i> para fenol.....	35
Figura 9 – Funções de pertinência para as variáveis <i>Lançamento atual</i> e <i>Lançamento futuro</i> para benzeno .....	36
Figura 10 – Funções de pertinência para a variável <i>Situação</i> .....	37
Figura 11 – Funções de pertinência para a variável <i>Redução do consumo</i> .....	38
Figura 12 – Funções de pertinência para a variável de saída RECURSOS HÍDRICOS.....	40
Figura 13 – Avaliação, seleção e priorização dos projetos de ecoeficiência.....	50
Figura 14: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Recursos Hídricos .....	64
Figura 15: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Resíduos Perigosos .....	65
Figura 16: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Emissões Atmosféricas .....	66
Figura 17: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em diferentes iniciativas .....	67
Figura A – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RESÍDUOS.....	85
Figura B – Funções de pertinência para a variável <i>Resíduos perigosos em aterro</i> .....	85

Figura C – Funções de pertinência para a variável <i>Resíduos perigosos para reciclagem</i> .....	86
Figura D – Funções de pertinência para a variável auxiliar <i>Processo de tratamento</i> .....	87
Figura E – Variação do <i>Processo de tratamento</i> em relação às variáveis <i>Resíduos perigosos em aterro</i> e <i>Resíduos perigosos para reciclagem</i> .....	87
Figura F – Funções de pertinência para a variável <i>Redução da geração de resíduos</i> .....	88
Figura G – Funções de pertinência para a variável de saída RESÍDUOS .....	89
Figura H – Variação do $ISMS_{RESÍDUO}$ em relação às variáveis <i>Redução da geração de resíduos</i> e <i>Processo de tratamento</i> .....	91
Figura I – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice EMISSÕES .....	93
Figura J – Funções de pertinência para a variável de <i>Variação da emissão de COV</i> .....	94
Figura K – Funções de pertinência para as variáveis <i>Variação da emissão de MP</i> , <i>Variação da emissão de NOx</i> e <i>Variação da emissão de SOx</i> .....	94
Figura L – Funções de pertinência para a variável <i>Fator de estabilidade</i> .....	96
Figura M – Exemplo de entrada de dado aproximado e determinação de seus graus de pertinência: $\mu_{ruim}(x) = 0$ , $\mu_{médio}(x) = 0,8$ e $\mu_{bom}(x) = 0,57$ .....	96
Figura N – Funções de pertinência para a variável <i>População exposta</i> .....	97
Figura O – Funções de pertinência para a variável auxiliar <i>Fator de impacto</i> .....	98
Figura P – Variação do <i>Fator de impacto</i> em relação às variáveis <i>População exposta</i> e <i>Fator de estabilidade</i> .....	98
Figura Q – Funções de pertinência para a variável de saída EMISSÕES .....	99
Figura R – Variação do índice $ISMS_{EMISSÕES}$ em relação às variáveis <i>Fator de impacto</i> e <i>Fator de emissões</i> .....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala fundamental de Saaty .....	21
Tabela 2 – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RECURSOS HÍDRICOS .....	33
Tabela 3 – Resultado para a aplicação da metodologia para cálculo da Efetividade de um projeto de reuso de água .....	56
Tabela 4 – Dados de entrada para o sistema Fuzzy .....	59
Tabela 5 – Preferência atribuída pelas partes interessadas ( <i>stakeholders</i> ) às diferentes iniciativas em SMS (peso <sub>i</sub> ) .....	59
Tabela 6 – Resultado da aplicação da metodologia para cálculo da Efetividade de 3 projetos de eficiência considerando a preferência das partes interessadas.....	59
Tabela 7 – Custo-efetividade de 3 projetos de eficiência considerando a preferência das partes interessadas .....	61
Tabela A – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RESÍDUOS .....	84
Tabela B – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice EMISSÕES.....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas para valoração de custos e benefícios tangíveis dos projetos de ecoeficiência	
27	
Quadro 2 – Base de regras que define a variável auxiliar <i>Redução do lançamento</i> .....	36
Quadro 3 – Base de regras que define a variável auxiliar <i>Consumo</i> .....	38
Quadro 4 – Base de regras que define a variável de saída RECURSOS HÍDRICOS .....	39
Quadro 5 – Hipóteses possíveis .....	54
Quadro A – Base de regras que define a variável auxiliar <i>Processo de tratamento</i> .....	86
Quadro B – Base de regras que define a variável de saída RESÍDUOS .....	89
Quadro C – Base de regras que define a variável auxiliar <i>Fator de impacto</i> .....	97
Quadro D – Base de regras que define o índice EMISSÕES .....	99

## LISTA DE SIGLAS

ACE	Análise Custo-Efetividade
ADA	Avaliação de Desempenho Ambiental
ASF	Análise Sintética Fuzzy
CDB	Convenção sobre a Diversidade Biológica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETDI	Estação de Tratamento de Resíduos Industriais
ETA	Estação de Tratamento de Efluentes
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LIMA	Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SMS	Segurança, Meio ambiente e Saúde
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação





## 1. INTRODUÇÃO

A responsabilidade empresarial na preservação e destruição do meio ambiente vem ganhando relevância no âmbito da discussão em relação aos impactos sobre o planeta; notadamente, a das empresas do setor de energia em suas formas mais tradicionais, pela própria natureza de suas atividades, produtos e serviços, aliada a um significativo histórico de acidentes e emissão de poluentes.

Atentas às necessidades de mitigar os impactos, preservar o meio ambiente e garantir o bem-estar da sociedade como um todo, as partes interessadas têm crescentemente demandado das empresas uma gestão que considere as questões éticas, sociais e ambientais com o mesmo rigor aplicado às questões econômicas. Assim, como forma de sinalizar à sociedade uma postura responsável, as empresas têm o desafio não só de buscar a maximização de seus lucros e minimização de seus custos, mas agregar valor para todas as suas partes interessadas, primando pela excelência em todas as áreas que compõem o seu negócio.

Neste cenário, a Sustentabilidade Empresarial pressupõe a habilidade de atuação simultânea das empresas em manterem-se economicamente competitivas, reduzir os impactos socioambientais, oferecer melhores condições de saúde e segurança da força de trabalho e contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população. Esta postura conduz para a busca constante de práticas de excelência em Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS), com foco na sustentabilidade do negócio.

O emprego de indicadores de sustentabilidade empresarial é cada vez mais comum tanto na iniciativa privada quanto pública, com o objetivo de avaliar o desempenho da corporação em relação a questões ambientais e sociais, além de econômicas. Atualmente, uma empresa deve apresentar desempenho no mínimo satisfatório em quesitos ambientais e sociais, de modo que manter uma boa desenvoltura no campo econômico é condição necessária, mas não suficiente para garantir sua permanência num mercado cada vez mais exigente. Logo, esta demanda surge como um requerimento de partes interessadas, entre elas o público, acionistas, entre outros, como parte de seu compromisso frente ao mercado e à sociedade, aliada a meios legais.

Uma empresa deve conter em sua estratégia as três dimensões da sustentabilidade: a econômica, a social e a ambiental. É com base nesse tripé que ela

deve orientar suas decisões e desta forma trazer ganhos para si, para a sociedade e para o meio ambiente (PEREIRA, 2007).

Nas últimas décadas, a questão ambiental tomou conta de noticiários, virou tema de inúmeras discussões, principalmente pela percepção de que é preciso preservar a natureza e os recursos por ela oferecidos para se garantir a sobrevivência e promover a evolução da sociedade. Diversos episódios relacionados à mudança climática e a consciência da preservação dos recursos naturais impulsionam fortemente a criação de diretrizes para um desenvolvimento ambientalmente amigável, com baixa emissão de carbono, visando a inserção da sociedade numa economia verde visivelmente dependente destes recursos.

A necessidade de se avaliar o desempenho de iniciativas de ecoeficiência se torna evidente uma vez que dela depende a decisão de se investir ou não em projetos desta natureza. A proposição de projetos de reuso de água, redução na emissão de poluentes atmosféricos ou de diminuição na geração de resíduos perigosos, por exemplo, contribui para a melhoria da gestão ambiental de empresas que desenvolvem atividades de potencial poluidor, como ainda se mostra o setor de energia.

A fase de planejamento das atividades empresariais constitui numa etapa crucial para a previsão dos modos de operação e definição da estratégia corporativa. Entretanto, atualmente percebe-se que fatores ambientais como as mudanças climáticas, aspectos da biodiversidade, dentre outros riscos ambientais, são variáveis importantes e ao mesmo tempo apresentam comportamento com previsão duvidosa. Para planejar sob condições de incerteza, é necessário levantar e definir bem as variáveis envolvidas e empregar métodos que as avaliem e permitam mensurá-las, para que se possa traçar um plano de ação alinhado às diretrizes da sustentabilidade empresarial. Tais métodos devem ser capazes de traduzir estas variáveis em elementos de troca, com o objetivo de estimar seu valor perante o mercado.

A Valoração Econômica de Recursos Ambientais (VERA) dispõe de diversos métodos e ferramentas econômicas que procuram capturar o valor monetário refletido por aspectos e serviços ambientais oferecidos pela natureza. Técnicas de valoração buscam estimar o preço de recursos ambientais, possibilitando incluir estes aspectos na análise econômico-financeira do negócio e verificando, portanto, sua viabilidade frente ao mercado.

Entretanto, nem sempre é possível estimar o valor monetário de recursos ambientais e os ganhos ou perdas associadas à sua preservação ou destruição, uma vez que não estes recursos não têm preço fixado no mercado. Apesar da ampla difusão das técnicas de valoração ambiental, diversos vieses são observados dado o conhecimento dos usuários sobre o assunto e o julgamento de valor que se faz sobre os recursos ambientais. Ao mesmo tempo, percebe-se a necessidade e a dificuldade em incorporar este conhecimento e a experiência de especialistas na avaliação de projetos, assim como a opinião de partes interessadas quando da adoção de uma ação empresarial de ecoeficiência. Há diversos aspectos intangíveis<sup>1</sup> associados a estas demandas que impactam diretamente a tomada de decisão na avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência. A razão mais importante para esta inclusão é a potencial utilidade dos intangíveis para o gerenciamento e maximização do valor do negócio como um todo (KAYO, 2002; ASSUNÇÃO *et al.*, 2005).

Os principais aspectos intangíveis associados à adoção de ações empresariais em ecoeficiência são:

- ✓ A informação disponível sobre os recursos ambientais e serviços ecossistêmicos prestados, considerando sua forma (qualitativa ou quantitativa) e incerteza;
- ✓ O conhecimento de especialistas da empresa e da academia sobre estes aspectos, incorporando o juízo de valor humano;
- ✓ A preferência das diversas partes interessadas em relação às diferentes ações empresariais em ecoeficiência;
- ✓ O efeito destas ações no ambiente e na imagem da empresa.

Pela existência destes aspectos, o retorno de um projeto de investimento em SMS nem sempre consegue ser quantificado corretamente (SALIBA, 2009). Dada a dificuldade nesta valoração, o uso de indicadores e metas de desempenho ambiental é um método transparente de priorizar investimentos na área ambiental (AMARAL, 2003). Neste caso, a proposição de se utilizar um sistema especialista como a lógica nebulosa para auxiliar o cálculo de um indicador surge da necessidade de valorar o ganho intangível que uma empresa pode adquirir quando da adoção de iniciativas em SMS.

---

<sup>1</sup> Diversos elementos intangíveis podem ser consultados em SANTOS, 2002.

A Análise Custo-Efetividade (ACE) se configura como um instrumento eficaz para a proposição de um indicador, pois permite avaliar o desempenho econômico-financeiro, ambiental e social de projetos e selecionar aquele com melhor índice de desempenho. Ou seja, a análise custo-efetividade, que mede a razão do custo por unidade de efetividade para cada alternativa (R\$/E), é um indicador que direciona a empresa a pensar mais profundamente sobre sua atuação e a considerar novos caminhos para se atingir os objetivos desejados. Permite, portanto, a minimização dos custos para um determinado nível de sucesso ou a maximização dos resultados para uma despesa estabelecida. A alternativa com o menor custo por unidade de efetividade é a mais eficiente (MARTIN-ORTEGA & BALANA, 2012).

O custo-efetividade é um indicador calculado a partir da valoração dos custos e benefícios tangíveis, que são aqueles passíveis de serem identificados e monetizados, e da mensuração da efetividade. Propõe-se que este custo tangível seja apropriado a partir da diferença entre os custos e os benefícios do projeto ao longo de sua vida útil (custo líquido monetário) e a efetividade, permitindo a incorporação de aspectos subjetivos, qualitativos e quantitativos do conhecimento de especialistas que fazem julgamentos esclarecidos (*educated guesses by expert judgement*<sup>2</sup>). A efetividade é calculada por meio de um índice que incorpora avaliação conceitual baseada no conhecimento e na experiência dos especialistas – com relação ao desempenho em SMS de diferentes projetos para alcançar os mesmos objetivos – e na preferência das partes interessadas, utilizando a Lógica Fuzzy.

A Lógica Fuzzy (ou lógica nebulosa) se apresenta como ferramental matemático adequado para a resolução desse tipo de problema, uma vez que permite a utilização de variáveis linguísticas em substituição às variáveis numéricas da lógica booleana. Possibilita que sejam transformadas em valores expressões linguísticas, tais como "muito grande", "pouco frio" e "mais ou menos jovem", que são representadas pelos conjuntos fuzzy (GARCIA & TEIXEIRA, 2005).

---

<sup>2</sup> Em circunstâncias onde há falta ou deficiência de informação, há a necessidade de se incorporar o julgamento de especialistas (*expert judgements*) como um risco à pesquisa (MIRI LAVASANI *et al.*, 2011). O conhecimento de especialistas consiste em julgamento intuitivo e heurísticas, permitindo que se façam suposições (*educated guesses*) e que se trate informações imprecisas ou incompletas (SICOLY, 1989; SILVERMAN, 1991).

Os custos e benefícios tangíveis e o desempenho em SMS do projeto impactam a decisão do investimento empresarial, pois sinaliza a eficiência dos projetos em relação ao investimento aplicado, propiciando à empresa combinar maiores taxas de retorno com menores taxas de uso do recurso natural. Assim, para que os investimentos no âmbito de projetos de ecoeficiência possam maximizar benefícios ambientais e econômicos, é necessário que existam procedimentos padronizados e conduzidos dentro de um sistema de gestão estruturado e integrado.

Nesta pesquisa propõe-se uma metodologia para elaboração de um índice que auxilia a avaliação, seleção e posterior priorização de projetos de ecoeficiência baseada em Lógica Fuzzy e na análise de custo-efetividade, no contexto brasileiro. A Lógica Fuzzy é classificada como ferramental adequado uma vez que permite a transposição de variáveis linguísticas em numéricas, sendo capaz de incorporar em um índice numérico aspectos intangíveis que podem ser observados a partir da adoção de ações de ecoeficiência, como o conhecimento de especialistas e a opinião das partes interessadas.

Esta dissertação está estruturada de modo a: introduzir o problema (Capítulo 1), apresentar o estado da arte das ferramentas aplicáveis para a construção da metodologia (Capítulo 2), desenvolvimento da metodologia (Capítulo 3), aplicação da mesma para um projeto de ecoeficiência em reuso de água e outro exemplo hipotético, considerando 3 ações diferentes em SMS, para calcular o custo-efetividade dos projetos (Capítulo 4), discussão dos resultados (Capítulo 5), as conclusões do trabalho, identificando dificuldades encontradas, limitações da metodologia e perspectivas para trabalhos futuros (Capítulo 6) e, finalmente, as referências bibliográficas (Capítulo 7). Em anexo, o detalhamento de algumas etapas da construção da metodologia, com parâmetros, bases de regras e funções de pertinência da Lógica Fuzzy aplicada à mensuração da efetividade de projetos de ecoeficiência.

### **1.1. Motivação e Apresentação do Problema**

A motivação da pesquisa constituiu-se na busca pela valoração dos custos e benefícios tangíveis e intangíveis passíveis de serem obtidos por uma empresa no contexto brasileiro, a partir da adoção de iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência no âmbito do seu planejamento estratégico.

Entretanto, ao longo do trabalho, desenvolvido durante dois anos, identificou-se uma gama diversa e extensa de dificuldades atreladas à atribuição de valor monetário aos ganhos (ou perdas) intangíveis que se poderia atingir. Desta forma, o escopo do projeto se restringiu ao desenvolvimento de uma metodologia para avaliar, selecionar e priorizar projetos de ecoeficiência com iniciativas em recursos hídricos, resíduos perigosos e emissões atmosféricas, por meio do cálculo de um índice baseado em Lógica Fuzzy.

Ressalta-se que foi estabelecido acordo contratual de sigilo entre as partes, uma delas o Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA/COPPE) e seus pesquisadores (um dos quais a autora), de forma que o nome da empresa não será mencionado, assim como a propriedade intelectual de seus especialistas que não será divulgada neste trabalho. Assim, alguns aspectos desta pesquisa foram contribuições individuais da autora e, embora tenha sido realizado estudo de caso para a validação da metodologia proposta, este não será explorado neste trabalho, aplicando-se portanto um exemplo hipotético para a verificação da metodologia.

## **1.2. Objetivos Gerais**

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma metodologia que permita avaliar projetos de ecoeficiência, com base na implementação de ações empresariais em SMS, considerando os benefícios tangíveis e intangíveis proporcionados pelos mesmos. Sua aplicação pode contribuir para o procedimento de avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência dentro de uma carteira e, futuramente, mostrar potencial para extensão às demais iniciativas de SMS ou projetos de negócio. A proposta se baseia em metodologia desenvolvida pelo LIMA/COPPE, cuja equipe contou com a autora desta dissertação. A metodologia ora mencionada permite evidenciar os benefícios empresariais esperados a partir da implantação de projetos de ecoeficiência, por meio da utilização do índice custo-efetividade. Este índice é calculado pela razão entre o custo tangível líquido e a efetividade do projeto. Propõe-se que um único índice seja capaz de incorporar o conhecimento técnico dos especialistas, a opinião das partes interessadas, a escala do projeto e o efeito do tempo.

### **1.3. Objetivos Específicos**

Com o intuito de se atingir os objetivos gerais descritos, deve-se determinar os objetivos específicos a serem alcançados para se definir as bases para cálculo do indicador proposto e, portanto, avaliar projetos de ecoeficiência. Desta forma, essa dissertação propõe:

- ✓ Orientar o procedimento para obtenção de custos e benefícios tangíveis proveniente de projetos de ecoeficiência, baseado em dados de projeto e informação disponível;
- ✓ Mensurar o ganho intangível a ser obtido por uma iniciativa de SMS promovida por uma empresa no contexto brasileiro, por meio da Lógica Fuzzy;
- ✓ Incorporar em um único índice (efetividade) o conhecimento teórico dos especialistas, a opinião das partes interessadas e o efeito do tempo, de modo a estimar o valor presente do retorno intangível.

### **1.4. Hipóteses**

As hipóteses levantadas neste estudo a serem respaldadas pelos objetivos traçados são:

1. A hierarquização e sistematização da informação e do conhecimento a nível empresarial é importante para priorizar ações em SMS;
2. A análise custo-efetividade pode contribuir para a avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência dentro de uma carteira;
3. A Lógica Fuzzy constitui ferramenta eficiente para capturar benefícios intangíveis de ações em SMS;
4. A Lógica Fuzzy contribui para a elaboração de um índice que permite a mensuração do desempenho de projetos de ecoeficiência e, desta forma, auxiliar a tomada de decisão.

## **2. BASE TEÓRICA**

### **2.1. Ecoeficiência**

A possibilidade de medir a sustentabilidade de um projeto, ou em outras palavras, avaliar a “saúde” do metabolismo geral de um sistema (FENZL, 1998), por meio de ações de ecoeficiência, é de extrema importância. Estas ações podem, também, reduzir a geração de poluentes, desperdícios e/ou dejetos, aumentando assim a eficiência do processo como um todo.

Para o WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*, 1996), a ecoeficiência é alcançada quando uma empresa, por meio do fornecimento de bens e serviços a preços competitivos, consegue satisfazer às necessidades humanas, trazer qualidade de vida, reduzir progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais ao longo de suas atividades, a um nível não superior à capacidade de suporte estimada da Terra.

Vellani & Ribeiro (2009) consideram que a adoção de práticas de ecoeficiência visa integrar desempenho econômico e ecológico. Para isto, os gastos incorridos em ações em prol da conservação do meio ambiente devem gerar benefício econômico-financeiro, contribuindo para afirmar a competência da empresa em operar sem contaminar a natureza e consumir recursos naturais conforme a capacidade de sustentação dos ecossistemas. A finalidade deste tipo de ação é evitar e/ou reduzir a geração de resíduos e utilização de recursos naturais, assim como atuar sobre a disposição dos demais resíduos gerados e emitidos pela própria empresa durante o processamento de seus produtos e serviços.

De acordo com Schmidheiny (1996) e Helminen (2000), ecoeficiência significa um processo que direciona investimentos e o desenvolvimento de tecnologias com objetivo de agregar valor ao acionista, minimizar o consumo de recursos, eliminar o desperdício e reduzir a poluição gerada.

O alcance da ecoeficiência depende, então, da finalidade da ação ecológica e do resultado econômico-financeiro-ambiental operacional dos gastos ambientais. A implantação de um projeto de ecoeficiência impacta a empresa e a área do seu entorno, de modo que a importância e preocupação de empresas em investir em ações de SMS, visando excelência em sua gestão, se tornam cada vez maiores (LINHARD, 2005).



Esta postura conduz para uma gestão ecologicamente eficiente e para o desenvolvimento de políticas ambientais que tenham como diretriz o comprometimento com a sustentabilidade empresarial e de seus produtos ao longo do seu ciclo de vida. As estratégias adotadas pela empresa devem considerar também os impactos benéficos adversos tanto nas dimensões econômica, ambiental e social quanto em todo ecossistema e população localizados em sua área de influência.

A gestão ecoeficiente incorpora três importantes objetivos que convergem para uma gestão sustentável: redução do consumo de recursos; redução do impacto na natureza; e aumento da produtividade ou do valor do produto e/ou do serviço. O conceito de ecoeficiência se coaduna com a gestão ecologicamente eficiente, pois traduz a real necessidade de produzir mais com menos recursos, utilizando-se processos mais eficientes na produção e na prestação de serviços (PEREIRA, 2005).

A consolidação da gestão ecoeficiente alinhada com a sustentabilidade corporativa pressupõe a adoção de tecnologias e procedimentos coerentes com tais conceitos, bem como o uso de instrumentos que contribuam para avaliar seu desempenho ao longo do tempo. Assim, é essencial o uso sistemático de ferramenta gerencial, tal como a análise de Custo-Efetividade, que permite avaliar o desempenho econômico-financeiro, ambiental e social na seleção de projetos e escolher aquele que tiver melhor performance (WANICK *et al.*, 2012).

A referida análise sintetiza as informações quantitativas e qualitativas que permitem a visualização da eficácia e da eficiência do projeto no uso dos recursos naturais. Quando realizada para todos os projetos, ela se configura como importante ferramenta de gestão, contribuindo para que as empresas realizem suas atividades com menos impacto sobre o meio ambiente. Ou seja, a razão para se usar a análise custo-efetividade em projetos de ecoeficiência de uma empresa está além da mera medida para redução de custos ou atendimento a requisitos legais; ela direciona a empresa a pensar mais profundamente sobre sua atuação e a considerar novos caminhos para se atingir os objetivos desejados.

## **2.2. Priorização de projetos**

A relação entre os recursos disponíveis e as melhorias a serem realizadas, com seus respectivos custos, precisa ser equacionada para que seja possível hierarquizar investimentos numa carteira. Entretanto, é necessário incluir como variáveis os critérios de priorização, baseados na experiência e sensibilidade de especialistas.

Com esta meta, Almeida Filho (2003) desenvolveu uma ferramenta buscando a otimização dos recursos disponíveis, atendendo às exigências legais e maximizando o retorno dos investimentos para uma concessionária de energia elétrica. Fica clara a necessidade de sistematização do conhecimento e a importância da priorização de projetos, onde se terá ao final da análise a opção que pode trazer mais benefícios à empresa.

Silva *et al.* (2008) também sentiram necessidade de elaborar uma ferramenta que auxiliasse a priorização de investimentos, com foco em saneamento básico. Foi proposto um modelo baseado em programação linear e indicadores ambientais, buscando a melhor forma de alocar recursos públicos para promover maiores índices de salubridade. Um pouco antes, em 2003, Neves e Neves propuseram uma metodologia para seleção e priorização de projetos, também com foco em saneamento ambiental, utilizando a análise custo-efetividade, medindo-se o custo monetariamente e a efetividade por meio de um indicador já consolidado na área de saúde pública, o DALY (*Disability Adjusted Life-Years*).

Segundo Saliba (2009), é importante considerar o comportamento dos agentes de decisão em situações que envolvem riscos de diversas naturezas, por isto é necessário desenvolver uma ferramenta que permita priorizar projetos levando em consideração a incerteza de seus resultados. Esta priorização deve ocorrer por meio da análise de cada um dos projetos de uma carteira de acordo com critérios que representam diversos aspectos que influenciam a atratividade do projeto, ultrapassando o limite da mera avaliação econômico-financeira e considerando também questões estratégicas, como imagem da empresa, ambientais, tecnológicas, logísticas e políticas.

De acordo com Saliba (2009), a tomada de decisão é processo considerado difícil por sua natural complexidade, incerteza inerente, objetivos conflitantes e resultados dependentes de diferentes perspectivas. Por estes motivos, deve-se atentar

para o estabelecimento de critérios para priorização de projetos, que estão relacionados aos seguintes objetivos:

- ✓ Promoção da estratégia;
- ✓ Crescimento de vendas;
- ✓ Estabelecimento de uma vantagem competitiva ou eliminação de uma desvantagem competitiva;
- ✓ Aumento da satisfação dos clientes;
- ✓ Redução de custos;
- ✓ Aumento da retenção dos empregados e melhoria de sua satisfação;
- ✓ Assegurar o atendimento às exigências regulamentares.

A decisão de se investir em projetos de ecoeficiência pode ser auxiliada por diversos mecanismos que não necessariamente sejam baseados em aspectos puramente econômicos ou financeiros. Carr (2010) sugere que a avaliação de projetos leve em consideração itens de caráter estratégico para a empresa, e não somente aqueles que interferem apenas no seu orçamento. Yang et al. (2011) propõem uma abordagem para priorização de projetos de cunho ambiental utilizando Lógica Fuzzy, permitindo considerar dados vagos e a significância dos aspectos ambientais admitidos no modelo.

Conforme a série de normas ISO 14000, um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) deve propor uma estratégia de Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA), baseada numa política ambiental. Tal política deve listar objetivos a serem alcançados e propor metas a serem cumpridas, cuja visibilidade se torna possível por meio de indicadores de desempenho.

O uso de indicadores e metas de desempenho ambiental é um método transparente de priorizar investimentos na área ambiental. Tal processo é parcialmente científico (permite identificar a causa e o efeito) e parcialmente político, no qual é possível determinar se estes impactos são prioritários ou não para a organização. Desta forma, a priorização das metas de sustentabilidade empresarial pode ser modificada em função de parâmetros como: custos, tempo, regulação futura, sensibilidades ambientais locais e opinião pública (AMARAL, 2003).

### **2.3. Análise Custo-Efetividade**

A análise custo-efetividade proporciona um indicador (custo-efetividade) que reflete o desempenho da empresa em determinados quesitos; no caso desta dissertação, nos quesitos econômico e ambiental. Pode-se incorporar neste mesmo indicador aspectos financeiros de projetos propostos para a melhoria do desempenho ambiental da empresa e, desta forma, avaliar diferentes projetos de uma mesma carteira com o propósito de priorizá-los e selecionar aqueles capazes de trazer melhor retorno para a empresa.

O indicador custo-efetividade pode ser considerado um indicador de sustentabilidade na medida em que incorpora a questão econômica (custo) e demais aspectos, que podem ser ambientais e/ou sociais, num índice denominado efetividade. A efetividade de um projeto, investimento, programa, etc. é capaz de refletir seu nível de sucesso perante os objetivos e metas delineados a partir de uma demanda estabelecida.

A análise Custo-Efetividade envolve a apuração dos ganhos (efetividade) e dos requisitos de aporte de recursos (custos) de meios alternativos para se alcançar um objetivo específico. Os resultados são normalmente expressos por meio do índice Custo-Efetividade, que mede a razão do custo líquido por unidade de efetividade para cada alternativa (R\$/E). A alternativa com o menor custo líquido por unidade de efetividade é a mais eficiente.

O Custo-Efetividade é um indicador calculado a partir da valoração dos custos e benefícios tangíveis, que são aqueles passíveis de serem identificados e monetizados, e da mensuração da efetividade. Propõe-se que este custo tangível seja apropriado a partir dos custos menos os benefícios do projeto ao longo de sua vida útil (custo líquido) e a efetividade calculada por meio de um índice que incorpora avaliação conceitual baseada no conhecimento e na experiência dos especialistas – com relação ao desempenho em SMS de diferentes projetos para alcançar os mesmos objetivos – e na preferência das partes interessadas, utilizando a Lógica Fuzzy.

### **2.4. Valoração dos Custos Tangíveis**

A valoração dos custos e benefícios tangíveis dos projetos de ecoeficiência, que são aqueles passíveis de serem identificados e monetizados, é baseada e adaptada utilizando metodologias desenvolvidas para: (i) avaliação da influência de iniciativas de melhoria

de desempenho ambiental no desempenho econômico de empresas, (BARATA, 2001); (ii) proposição de indicadores de ecoeficiência (SALGADO, 2004), e (iii) valoração de custos e benefícios potenciais (SANTOS, 2005).

Tais metodologias foram elaboradas com objetivo de identificar o fluxo de materiais, apropriar custos e incorporar as variáveis ambiental e social nas análises de investimentos das empresas e na sua tomada de decisão, e foram desenvolvidas com base no(a):

- ✓ Programa de Empresas Sustentáveis do *Wuppertal Institute*, que considera materiais não apenas como recursos físicos, mas também monetários (ORBACH *et al.*, 1998); (SCHMIDT-BLEEK *et al.*, 1995);
- ✓ Proposta para incorporação das externalidades ambientais no processo de planejamento de longo prazo sugerida para o setor elétrico brasileiro, que já apropria os demais custos de natureza ambiental (TOLMASQUIM *et al.*, 2000);
- ✓ Metodologia elaborada no âmbito do Programa de Tecnologias Limpas, que considera ser útil para implementação de melhorias no desempenho ambiental das empresas. Ela possibilita identificar a vantagem econômica que a empresa obtém ao adotar medidas para melhoria do desempenho ambiental (CNTL, 1998);
- ✓ Conceito e metodologia desenvolvidos pelo instituto Tellus (EPA, 1996, 1997, 2000); (UNCTAD, 2000); (BCSD, 1993), com o objetivo de melhorar o processo de tomada de decisão de investimentos em projetos de prevenção de poluição (PPP).

Na metodologia desenvolvida, as informações necessárias para apropriação dos valores tangíveis dos projetos de ecoeficiência são classificadas por meio de um sistema que identifica seus principais elementos:

- ✓ Pesquisa e Desenvolvimento (P&D, quando pertinente);
- ✓ Ativo Permanente Específico;
- ✓ Custo e Despesa de Operação e Manutenção;

- ✓ Custo Evitado;
- ✓ Custo Potencial;
- ✓ Receita Futura;
- ✓ Receita Potencial.

Os gastos incorridos com P&D são, em geral, realizados no âmbito das unidades de pesquisa da empresa e os produtos das referidas pesquisas são distribuídos e/ou entregues a todas as unidades de negócio que deles necessitam e, portanto, não é recomendado que sejam alocados como custo tangível de um projeto específico.

Os gastos realizados nos elementos P&D e ativo permanente específico evidenciam o investimento necessário para a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação do projeto de ecoeficiência. Os recursos despendidos para a operação e manutenção do projeto, ao longo de sua vida útil, bem como para seu descomissionamento ao final desta, constituem os demais gastos tangíveis associados à implantação do projeto e são classificados como custo e despesa de operação e manutenção.

As receitas futuras ou os custos evitados tangíveis originados de projetos de ecoeficiência são os resultantes de impactos que podem gerar:

- i. Retorno financeiro por meio da venda de produto ou serviço; bem como
- ii. Evitar gastos presentes por meio da redução no consumo de insumos propiciados pelo projeto; e/ou
- iii. Evitar gastos futuros para a empresa.

As receitas e os custos potenciais tangíveis são aqueles que têm probabilidade de ocorrer.

## **2.5. Valoração do Ganho Intangível: Lógica Fuzzy**

Ao implantar um projeto de ecoeficiência, a empresa pretende reduzir o seu impacto ao ambiente, promover o bem estar de sua força de trabalho e garantir a integridade de suas instalações sem reduzir sua produtividade. Assim sendo, para que o

desempenho do projeto seja avaliado, entende-se que além da valoração dos custos e benefícios tangíveis do projeto, é importante mensurar sua efetividade. Para tal, propõe-se que sua avaliação seja feita por meio de um índice, tendo em vista a dificuldade de sua valoração monetária.

Na presente metodologia, a mensuração da efetividade do projeto incorpora avaliação conceitual baseada no conhecimento e na experiência dos especialistas da empresa e do LIMA/COPPE, com relação ao desempenho de diferentes projetos para alcançar os mesmos objetivos. A Lógica Fuzzy apresenta-se como ferramental matemático adequado para a resolução desse tipo de problema, uma vez que permite a utilização de variáveis linguísticas em substituição às variáveis numéricas da lógica booleana<sup>3</sup>. Ela possibilita que sejam transformadas em valores expressões linguísticas, tais como "pequena redução" no consumo e "grande diminuição" de emissão de poluentes, que são representadas pelos conjuntos fuzzy.

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização de descrição linguística tal como empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados por meio de termos matemáticos convencionais, permitindo modelar melhor como o ser humano pensa e toma decisões (MOHAMED, 1999).

Neste contexto, a Lógica Fuzzy tem sido utilizada na modelagem de problemas de tomada de decisão devido às suas características, tais como (OLIVEIRA JR, 1999):

- ✓ Permitir a inclusão de incertezas não estocásticas no modelo, assim como outros aspectos imprecisos ou ambíguos;
- ✓ Facilitar o diálogo entre os especialistas do problema a ser tratado e o profissional de ciências exatas;
- ✓ Considerar de modo eficiente o conhecimento desses especialistas; e
- ✓ Modelar problemas complexos e não-lineares de modo simples.

---

<sup>3</sup> Também conhecida como Lógica Padrão, admite apenas dois valores de verdade, de base binária (1/0, sim/não) (CAMARGOS, 2002).

A Lógica Fuzzy, também conhecida como lógica nebulosa ou difusa, tem sua origem nos estudos feitos na década de 1960 por Lotfi A. Zadeh, professor da Universidade da Califórnia. O objetivo maior desses estudos era solucionar a incapacidade dos recursos tecnológicos disponíveis à época na automação de atividades relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, que envolvessem situações ambíguas, cujo processamento através da lógica computacional fundamentada na lógica booleana era inviável (ZADEH, 1965).

Assim, em 1965, Zadeh publicou um artigo no qual, em lugar de verificar se um determinado elemento pertence ou não a um conjunto, como determina a lógica tradicional originária da filosofia grega, considerava-se o grau de pertinência com o qual ele pertence a esse conjunto. O grau de pertinência assume valores entre zero e um, sendo que estes extremos representam, respectivamente, a completa exclusão e a total inclusão do elemento analisado em relação a um determinado conjunto fuzzy. É importante ressaltar que o grau de pertinência não representa uma medida ou valor probabilístico. Na verdade, é uma medida da compatibilidade do objeto analisado com o conceito representado pelo conjunto fuzzy (YEN, 1998).

Com o intuito de desenvolver uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão em relação ao gerenciamento de recursos hídricos, Angulo *et al.* (2012) utilizaram a Lógica Fuzzy como ferramenta para construir um software que permitisse capturar e sistematizar o conhecimento de especialistas, trazendo potenciais melhorias para a qualidade da água na Espanha. O sistema especialista é capaz de gerar indicadores que considerem informações disponíveis em bancos de dados e expertise relacionada a episódios anteriores de avaliação de qualidade da água, como regras a serem seguidas.

Azadeh *et al.* (2008) ressaltam que o conhecimento de analistas e empresários é passível de ser incorporado a um sistema especialista, como a Lógica Fuzzy, e que este tipo de sistema já provou ser válido e eficiente no processo de tomada de decisão no meio corporativo e no auxílio à melhor gestão empresarial. Neste trabalho, desenvolvido em 2008 junto a colaboradores, Azadeh aplica o sistema especialista fuzzy para avaliar o desempenho de uma refinaria em quesitos de SMS integrados a ergonomia. Algumas vantagens de se utilizar a Lógica Fuzzy para atingir este objetivo consistem em:

- ✓ Reduzir o erro humano;



- ✓ Criar expertise; e
- ✓ Perceber e interpretar dados vagos e não monetizáveis, o que é inevitável no caso de saúde, meio ambiente e segurança.

Com o objetivo de desenhar um modelo de apoio à decisão em projetos de exploração e produção de petróleo, Braña (2008) optou por utilizar a Lógica Fuzzy, dada a complexidade do processo de tomada de decisão e a possibilidade de se avaliar o resultado esperado destes projetos, considerando a incerteza existente nas informações para a montagem nesse problema decisório.

A Lógica Fuzzy é um conjunto de métodos baseados no conceito de conjunto difuso e operações difusas, que possibilita a modelagem realista e flexível de sistemas. A teoria é formulada por meio de conceitos da Teoria dos Conjuntos de Cantor e se mostra como importante ferramenta no tratamento de sistemas estocásticos, aliada ao conhecimento já estabelecido neste tipo de modelo (OLIVEIRA JR, 1999). Deste modo, sendo  $\mu_A(x)$  a função de pertinência do elemento  $x$  no conjunto  $A$ , cujo domínio é  $X$  e o contradomínio o intervalo  $[0, 1]$ , um conjunto fuzzy  $A$  em  $X$  é um conjunto de pares ordenados

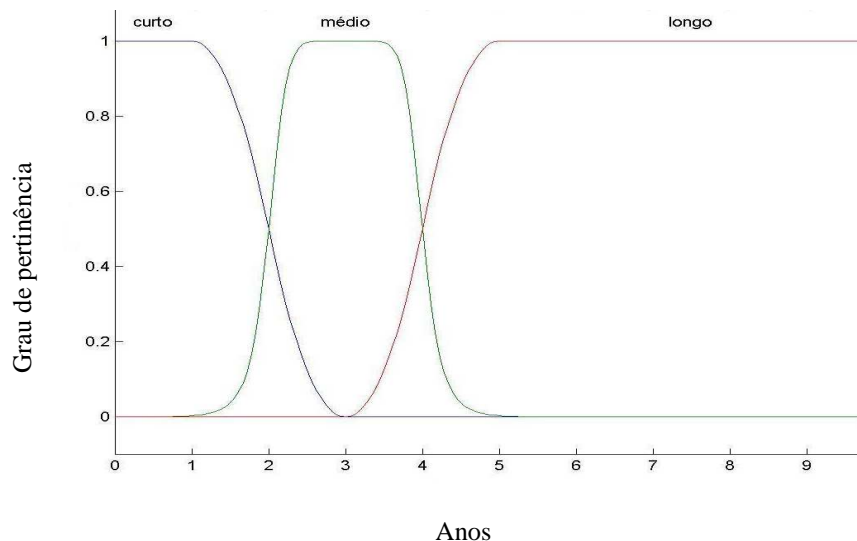
$$A = \{x/\mu_A(x)\}, x \in A$$

ou então este conjunto pode ser representado por meio de uma função, chamada de função de pertinência.

As funções de pertinência são desenhadas com base em parâmetros definidos pelos especialistas naquele tipo de informação, determinando os limites mínimo e máximo das variáveis. Quanto menos parâmetros uma função de pertinência tiver, mais simples será a modelagem frente à incerteza do valor que aquela variável pode assumir. Usualmente utiliza-se de três a quatro parâmetros, obtendo funções do tipo triangular ou trapezoidal respectivamente. Entretanto, é possível aumentar o nível de complexidade e informação associada à variável utilizando funções não lineares, quando da ocorrência de informação adicional como uma distribuição de probabilidades do comportamento da variável (YEN, 1998).

A Figura 1 ilustra três conjuntos fuzzy denominados curto, médio e longo, referentes à duração dos ganhos sociais obtidos com um projeto de Responsabilidade

Social Empresarial (RSE). Assim, o eixo x representa a quantidade de anos e o eixo y o grau de pertinência desse valor em relação aos conjuntos citados. Nota-se, por exemplo, que uma duração entre 1 e 3 anos possui graus de pertinência diferente de zero em relação aos conjuntos curto prazo e médio prazo, e duração entre 3 e 5 em relação ao conjunto médio prazo e longo prazo (GARCIA *et al.*, 2007).



**Figura 1 – Exemplo de conjuntos fuzzy quanto à reversibilidade de projetos de RSE (curto, médio e longo prazo)**

Fonte: GARCIA *et al.*, 2007

A utilização de variáveis linguísticas em substituição às variáveis numéricas representa outra grande inovação da lógica nebulosa em relação à tradicional lógica booleana. As variáveis linguísticas admitem como valores apenas expressões linguísticas, como "muito grande" ou "pequena redução", que são representadas pelos conjuntos fuzzy.

Nos conjuntos fuzzy, a noção de valores possíveis e impossíveis torna-se uma questão gradual, dado que uma variável pode pertencer ou não a mais de um conjunto ao mesmo tempo. Apesar de serem similares em certos aspectos, existem diferenças conceituais importantes entre distribuições de possibilidade e de probabilidade. Enquanto a possibilidade está relacionada ao grau de facilidade com o qual uma variável assume um determinado valor, a probabilidade determina a chance de uma variável assumir um valor. Portanto, elas lidam com tipos diferentes de incerteza. A teoria da possibilidade trabalha fundamentalmente com a imprecisão, enquanto que a teoria da probabilidade trabalha com as chances de ocorrência.

São definidas as inferências fuzzy do tipo Mamdani<sup>4</sup> como aquelas compostas por um conjunto de proposições lógicas, mais comumente conhecidas como base de regras, que descrevem as relações entre variáveis linguísticas e os conjuntos fuzzy. As regras utilizam proposições e conectivos lógicos, tais como: SE – ENTÃO, E e OU (MAMDANI, 1977). As inferências fuzzy fornecem conclusões ou saídas de um dado sistema, analisando os níveis de compatibilidade das entradas com as condições impostas pela base de regras, ou seja, determinando como as regras serão ativadas e combinadas (OLIVEIRA JR, 1999).

Para exemplificar uma inferência fuzzy do tipo Mamdani, considere os conjuntos fuzzy A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, as variáveis de entrada x e y e a variável de saída z. Uma possível base de regras seria

$$\text{SE } x \in A_1 \text{ E } y \in B_1 \text{ ENTÃO } z \in C_1$$

$$\text{SE } x \in A_2 \text{ E } y \in B_2 \text{ ENTÃO } z \in C_2$$

sendo que  $x \in A$  resulta no grau de pertinência do elemento x em relação ao conjunto fuzzy A e os operadores lógicos E e OU são definidos mais comumente, respectivamente, pelo mínimo e pelo máximo entre os graus de pertinência, ou seja,

$$\text{conectivo E: } x \in A \wedge y \in B = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$$

$$\text{conectivo OU: } x \in A \vee y \in B = \max\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$$

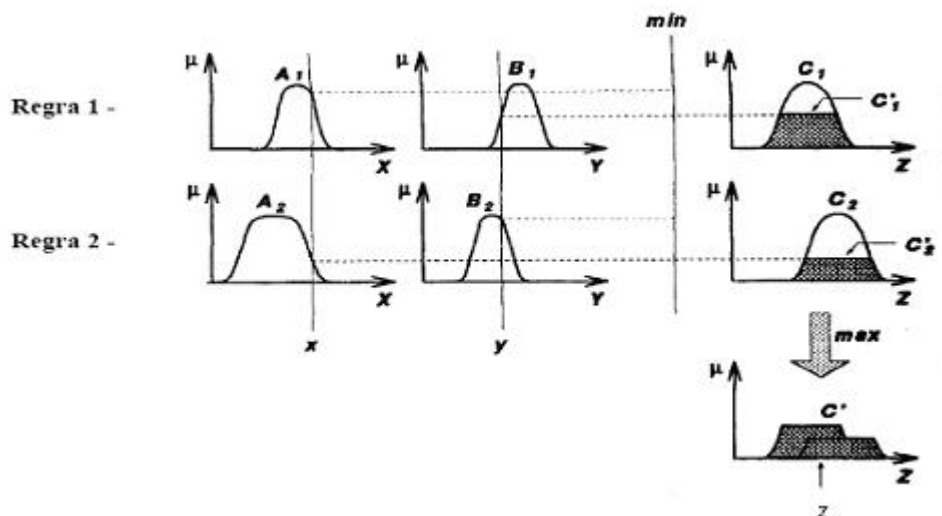
Os resultados obtidos com a aplicação das diversas regras são agregados por meio do conectivo OU, ou seja, são considerados os valores máximos para os graus de pertinência da variável de saída em relação a um determinado conjunto fuzzy.

A defuzzyficação consiste no processo no qual o valor que a variável assume num conjunto fuzzy resultante da aplicação da base de regras é convertido para um valor abrupto, sendo mais comumente utilizado o centro de gravidade (COG – *Center Of*

---

<sup>4</sup> Todas as inferências desta metodologia são do tipo Mamdani, com exceção daquelas descritas no texto como sendo uma média dos graus de pertinência, como exemplo a *Média da redução do lançamento* (Tabela 2), onde são calculados os valores médios dos graus de pertinência em relação a cada função de pertinência e da determinação do *Fator de emissão* (Tabela B).

*Gravity*), que fornece a abscissa do conjunto fuzzy obtido pela agregação, a partir do baricentro do gráfico, como pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2 – Exemplo de aplicação da base de regras e posterior defuzzificação**

Fonte: ZADEH, 1965

De um modo geral, a modelagem de um problema de tomada de decisão utilizando Lógica Fuzzy é dividida nas seguintes etapas:

- i. Definição das variáveis de entrada e de saída;
- ii. Definição do domínio das variáveis;
- iii. Criação da árvore hierárquica de decisão<sup>5</sup>;
- iv. Definição dos termos linguísticos primários e das funções de pertinência que os definem. Essas funções podem ser definidas com o auxílio de especialistas, de dados estatísticos ou físicos ou até mesmo definidas apenas de modo a satisfazer algum critério não técnico;
- v. Criação da base de regras ou matrizes de comparação, normalmente com o auxílio de especialistas;

<sup>5</sup> A estrutura hierárquica demonstrada por meio de uma árvore de decisão permite evidenciar a relação entre as variáveis, que por sua vez são definidas de acordo com o objetivo geral da aplicação da Lógica Fuzzy para auxiliar a tomada de decisão, assim como considerar demais critérios que possam impactar e/ou interagir com outros níveis da estrutura (MARTINS & COELHO, 2012).

- vi. Escolha da definição dos operadores lógicos E e OU e da defuzzyficação, se for o caso;
- vii. Análise de sensibilidade, testes e validação da rede.

As inferências que não são do tipo Mamdani correspondem a uma adaptação da metodologia desenvolvida por Sadiq (2001), chamada de Análise Sintética Fuzzy (ASF), incorporando também características e vantagens do Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*), desenvolvido por Saaty (1980).

Para cada inferência  $m$  da rede hierárquica de decisão citada é definida uma matriz quadrada  $J_{nn}^m$  de dimensão  $n$ , sendo  $n$  o número de variáveis de entrada na inferência  $m$ . Essa matriz armazena informações acerca do peso das variáveis da inferência, ou seja, o grau de importância relativa de cada variável em relação às outras variáveis de entrada da inferência. Cada elemento dessa matriz é definido por

$$J_{ij}^m = p_{ij}$$

sendo que  $p_{ij}$ , escolhido na Escala Fundamental de Saaty (SAATY, 1980; SAATY 1988), exprime o grau de importância da variável  $i$ , quando comparada com a variável  $j$ , na determinação da inferência  $m$ .

**Tabela 1 – Escala fundamental de Saaty**

Escala numérica	Escala verbal
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um para outro
5	Importância essencial ou forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: SAATY, 1980.

Os vetores linha  $K^m$  de cada inferência  $m$  são tais que cada elemento  $i = 1, 2, \dots, n$  é dado pela média geométrica dos elementos da linha  $i$  da matriz  $J_{nn}^m$ .

Normalizando os vetores  $K^m$  acima definidos segundo a norma-1, obtêm-se os vetores de pesos normalizados  $W^m$ , de modo que a soma de todos seus elementos é igual a um, ou seja,

$$\sum_{i=1}^n w_i^m = 1$$

Sendo  $A_{n \times p}^m$  a matriz que armazena os graus de pertinência das  $n$  variáveis de entrada da inferência  $m$  em relação a  $p$  conjuntos fuzzy, o resultado da inferência  $m$  é dado por

$$B^m = W^m A^m$$

Este vetor  $B^m$ , então, armazena os graus de pertinência da saída da inferência  $m$  em relação aos  $p$  conjuntos fuzzy.

Como exemplo, considere uma inferência chamada “Porte do Acidente” que, recebendo os valores da quantidade de óleo vazado no oceano (1), o tipo de óleo quanto à sua persistência (2) e o tempo de vazamento do mesmo (3), forneça uma avaliação da gravidade do vazamento. É considerado que a primeira variável, quantidade de óleo, é moderadamente mais importante que o tipo de óleo quanto à persistência ( $p_{12} = 3$ ) e essencialmente mais importante que o tempo de vazamento ( $p_{13} = 5$ ). Além disso, o tipo de óleo, quanto à persistência, é moderadamente mais importante que o tempo de vazamento ( $p_{23} = 3$ ).

Assim,

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K = [2,466 \quad 1 \quad 0,405]$$

$$W = [0,637 \quad 0,258 \quad 0,105]$$

Supondo que os dados de entrada são tais que seus valores de pertinência em relação a três conjuntos fuzzy que representam, respectivamente, o pior caso, o caso médio e o melhor caso são iguais a  $[1 \ 0 \ 0]$ ,  $[0,5 \ 0,518 \ 0]$  e  $[0 \ 0,172 \ 0,794]$ , define-se a matriz  $A$  desse exemplo como (GARCIA, 2005)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,518 & 0 \\ 0 & 0,172 & 0,794 \end{bmatrix}$$

e, conseqüentemente,

$$B = [0,766 \quad 0,152 \quad 0,083]$$

ou seja, o resultado dessa inferência, “Porte do Acidente”, possui graus de pertinência iguais a 0,766, 0,152 e 0,083 em relação aos conjuntos fuzzy grande porte, médio porte e pequeno porte respectivamente.

Essas matrizes e vetores são calculados para cada inferência da rede, até que a resposta final seja encontrada.

Nota-se que o produto do vetor  $W$  por cada coluna da matriz  $A$  acima é equivalente às seguintes regras fuzzy:

- ✓ SE quantidade de óleo É grande (com peso  $W[1]$ ) OU tipo de óleo É ruim (com peso  $W[2]$ ) OU tempo de vazamento É alto (com peso  $W[3]$ ) ENTÃO porte do acidente É grande (com peso  $B[1]$ );
- ✓ SE quantidade de óleo É média (com peso  $W[1]$ ) OU tipo de óleo É médio (com peso  $W[2]$ ) OU tempo de vazamento É médio (com peso  $W[3]$ ) ENTÃO porte do acidente É médio (com peso  $B[2]$ );
- ✓ SE quantidade de óleo É baixa (com peso  $W[1]$ ) OU tipo de óleo É bom (com peso  $W[2]$ ) OU tempo de vazamento É baixo (com peso  $W[3]$ ) ENTÃO porte do acidente É pequeno (com peso  $B[3]$ ).

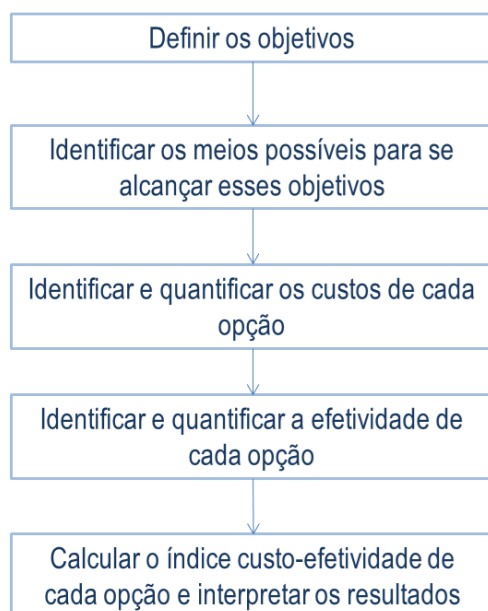
Sendo assim, a utilização desses vetores e matrizes substitui a base de regras apresentada anteriormente. Esta metodologia tem sido cada vez mais empregada devido à facilidade de capturar a opinião e o conhecimento dos especialistas por meio dos pesos que definem a matriz  $J_{ij}^m$ . Como desvantagem, pode-se citar a limitação do emprego dos operadores lógicos e, conseqüentemente, da base de regras.

### 3. METODOLOGIA

Diferentes projetos de ecoeficiência necessitarão de insumos diferenciados para a sua implantação, operação, manutenção e desmonte (descomissionamento) e poderão apresentar efeitos similares (maximizar o desempenho em SMS), porém com custos diferenciados e vice-versa. Neste contexto, faz-se necessário estabelecer uma metodologia que permita incorporar tais diferenças na avaliação, seleção e priorização de projetos desta natureza.

A metodologia proposta pela equipe LIMA/COPPE baseia-se na análise Custo-Efetividade, que apura a eficiência relativa de diferentes projetos para obtenção dos mesmos produtos ou contribui para identificar a melhor alternativa para se alcançar os objetivos de um mesmo projeto. Dessa forma, o propósito desta análise é contribuir para criar uma base sobre a qual a empresa possa tomar decisões sólidas sobre a alocação dos seus recursos, utilizando para isto o índice Custo-Efetividade. A alternativa com o menor custo líquido por unidade de efetividade é a mais eficiente.

Embora as questões abordadas e os projetos possam ser variados, existem cinco passos obrigatórios em toda análise Custo-Efetividade para subsidiar a avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência, que foram seguidos, conforme apresentado na Figura 3 e detalhado a seguir.



**Figura 3 – Etapas para realização da análise custo-efetividade para subsidiar a avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência**

Fonte: Adaptado de LIMA/COPPE



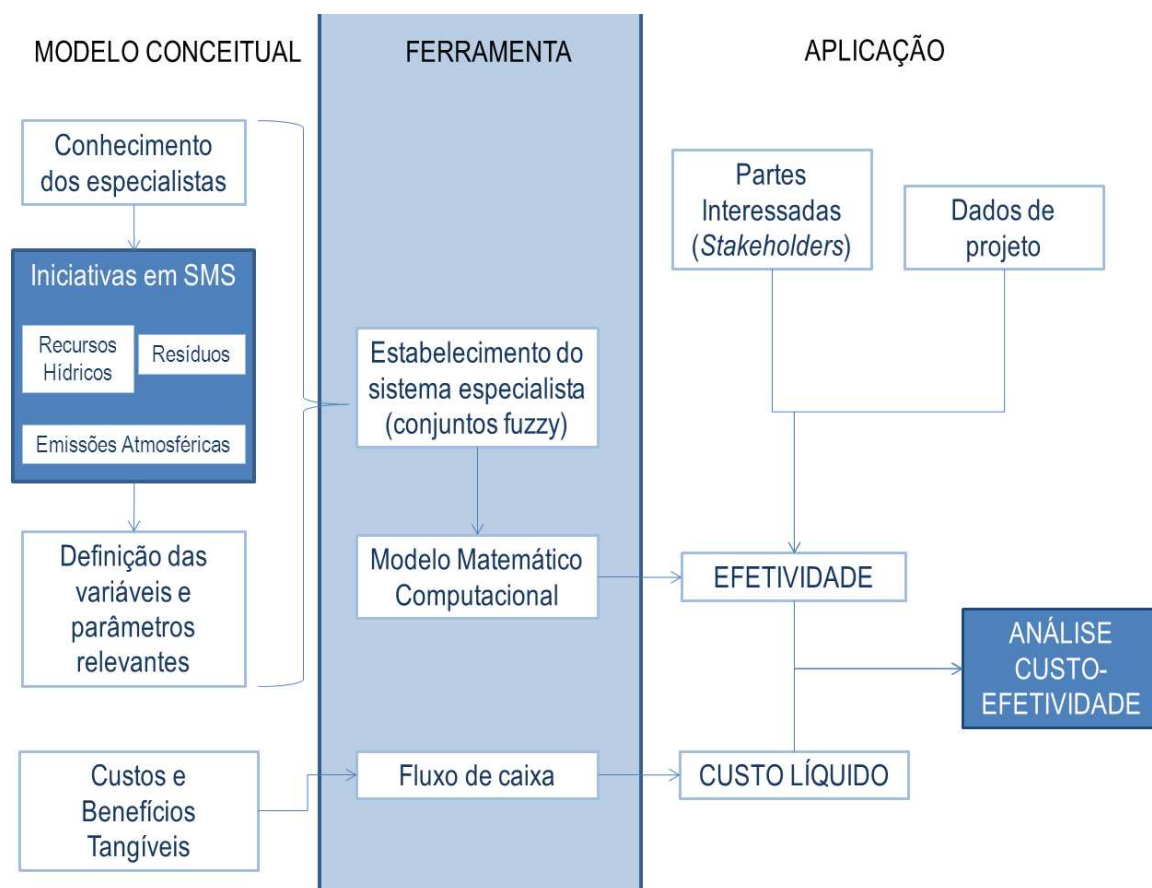
Seguindo este procedimento para a avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência, a empresa deve buscar minimizar os custos e maximizar o desempenho em SMS, e para atingir estes objetivos devem ser analisadas alternativas de projetos de ecoeficiência. A partir destas possibilidades, o custo financeiro total líquido dos projetos é calculado a partir da sistematização de dados a serem fornecidos pelo proponente, classificados em investimento, custo de manutenção e operação da planta e/ou procedimento e benefícios (custos evitados e/ou receitas esperados pelo projeto). Eles são apropriados em fluxo de caixa para, em seguida, serem atualizados a valor presente.

Em seguida, a efetividade é mensurada por meio do índice ISMS, que incorpora parâmetros de SMS considerados relevantes por especialistas da empresa e do LIMA/COPPE no respectivo tema. Aplica-se a lógica de avaliação baseada no conhecimento e experiência dos mesmos, utilizando um sistema especialista – Lógica Fuzzy –, em conformidade com a estratégia da empresa. O índice leva em consideração o tempo de vida útil do projeto, assim como o tempo despendido desde a implantação até o início de operação da planta. Pode incluir ou não a opinião das partes interessadas, e dever ser ponderado por um fator de escala. Para encontrar o resultado da análise custo-efetividade, calcula-se a razão entre o custo tangível líquido e a efetividade do projeto.

A metodologia permite também considerar as preferências das partes interessadas em relação aos projetos de ecoeficiência propostos. Estas preferências podem ser obtidas por meio de aplicação de pesquisa de opinião, que seriam incorporadas à efetividade.

O conhecimento e a experiência dos especialistas e a opinião das partes interessadas são os aspectos intangíveis tratados nesta metodologia. A incorporação dos dois primeiros aspectos contribui para a maximização do desempenho em SMS e dos benefícios auferidos pela implantação dos projetos que podem contribuir para a melhoria da reputação da empresa. Já a consideração da preferência das partes interessadas pode contribuir para enaltecer a imagem da empresa e redirecionar seu plano estratégico.

A Figura 4 apresenta esquematicamente a metodologia proposta.



**Figura 4 – Esquema da metodologia proposta**

Fonte: Adaptado de LIMA/COPPE

A metodologia proposta neste trabalho será apresentada em duas partes, dada a natureza do indicador custo efetividade. A parcela do custo se dá por meio da apropriação dos gastos provenientes da implantação da iniciativa ecoeficiente, o que permite a valoração dos custos e benefícios tangíveis, enquanto a parcela da efetividade está associada ao ganho intangível que a empresa pode atingir por meio da adoção de tal medida, na qual se propõe a aplicação da Lógica Fuzzy.

### **3.1. Obtenção dos Custos e Benefícios Tangíveis**

Este subcapítulo visa apresentar parte da metodologia desenvolvida pelo LIMA/COPPE para avaliar os custos e benefícios tangíveis alcançados pela empresa, em virtude da adoção de iniciativas de SMS por meio de projetos de ecoeficiência. Propõe-se que sejam considerados não apenas os gastos incorridos e a serem incorridos (investimento, custeio e despesa) com a implantação do projeto, mas também os

benefícios financeiros que este pode propiciar para a empresa. As etapas sugeridas estão no Quadro 1, seguidas por uma breve descrição das mesmas.

**Quadro 1 – Etapas para valoração de custos e benefícios tangíveis dos projetos de ecoeficiência**

<b><u>Etapas:</u></b>
I. Determinação da ação em SMS;
II. Identificação dos custos e benefícios tangíveis diretos;
III. Identificação de todas as entradas e saídas no processo;
IV. Identificação e valoração monetária dos custos evitados e das receitas futuras;
V. Identificação e valoração monetária dos custos e benefícios potenciais;
VI. Apropriação dos custos e benefícios identificados e valorados nas etapas II, IV e V;
VII. Realização do fluxo de caixa;
VIII. Avaliação econômica do projeto.

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

**Determinação da ação em SMS:** A identificação da ação de ecoeficiência proposta pressupõe a definição da tecnologia ou procedimento utilizado ou a ser implantado, respectiva localização, tempo de vida útil, entrada em operação, equipamentos, insumos e demais recursos físicos, financeiros, tecnológicos e humanos, bem como os resultados a ela vinculados.

**Identificação dos custos e benefícios tangíveis diretos:** Os custos e benefícios diretamente vinculados ao projeto devem ser identificados e definidos de acordo com a sua natureza e campo de atuação (isto é, identificar à qual iniciativa o custo ou benefício está associado), para que seus valores monetários possam ser apropriados e avaliados nas etapas VI, VII e VIII.

**Identificação de todas as entradas e saídas no processo:** As entradas e saídas do processo vinculadas ao projeto podem ser obtidas por meio da análise do fluxograma do processo, considerando a implantação da ação (permitem considerar o custo futuro) e a não implantação da mesma (permitem considerar o custo atual). Estas informações podem ser obtidas junto ao pessoal de operação da unidade e/ou no sistema de informação gerencial da empresa.

A avaliação do fluxo do processo com e sem o projeto de ecoeficiência contribui para que seja possível calcular a variação nos recursos (físicos e humanos) empregados no processo produtivo da planta face à implantação do mesmo. Assim, é possível perceber as mudanças na planta antes e depois da implantação do projeto, o que contribui para que as variações de custos e benefícios tangíveis indiretos sejam identificadas.

**Identificação e valoração monetária dos custos evitados e das receitas futuras:** Nesta etapa calcula-se os custos e benefícios indiretos efetivos. Na metodologia proposta, as variações nas entradas e saídas devem ser mensuradas monetariamente, de modo a calcular o custo ou benefício por meio da multiplicação entre o custo unitário de determinado recurso (físico ou humano) e sua quantidade.

**Identificação e valoração monetária dos custos e benefícios potenciais:** Os impactos e riscos envolvidos na implantação do projeto proposto podem ser responsáveis por gerar receitas ou perdas financeiras relevantes à empresa, portanto devem ser identificados. Propõe-se que o proponente identifique e avalie os possíveis impactos e riscos ambientais, econômicos e sociais do projeto relacionado à iniciativa em questão, usando o procedimento padrão da empresa para tal e, dessa forma, formule hipóteses razoáveis considerando seus custos e benefícios. Se possível, recomenda-se indicar a probabilidade de ocorrência de cada uma das hipóteses levantadas.

**Apropriação dos custos e benefícios identificados e valorados nas etapas II (diretos), IV e V (indiretos):** A apropriação dos custos e benefícios associados ao projeto de ecoeficiência deve ser feita de modo a explorar os dados necessários para identificar a correta fonte de informação. Após a identificação dos custos e benefícios, é possível construir o Fluxo de Caixa relacionado à hipótese formulada a partir das informações levantadas.

Os gastos com avaliação e seleção de tecnologias e demais investimentos necessários à implantação de ativos específicos devem ser apropriados na rubrica de ativo permanente específico. Os gastos com manutenção dos ativos, força de trabalho, energia e demais produtos e serviços devem ser apropriados considerando dois momentos: operação da unidade antes e depois da implantação do projeto de ecoeficiência, considerando-se as metas de projeto como consequências verdadeiras. Isto permite estimar os custos evitados efetivos e/ou potenciais, bem como as receitas futuras/potenciais provenientes de sua implantação.

O principal meio de se obter as informações relevantes para a correta e mais precisa apropriação dos custos e benefícios tangíveis de projetos de ecoeficiência é buscar as informações junto a fornecedores e às unidades de negócios e a partir de dados fornecidos pelo proponente do projeto e/ou pela empresa.

**Realização do fluxo de caixa:** A preparação do fluxo de caixa deve seguir os procedimentos definidos pelas regras do campo da matemática financeira e da contabilidade. Por meio de planilhas preparadas, é possível elaborar o fluxo de caixa para diferentes hipóteses levantadas, onde as variáveis são definidas para cada cenário desenhado e atividade desenvolvida na unidade em questão. Ressalta-se que as hipóteses estão relacionadas à probabilidade de ocorrência dos eventos identificados na etapa V.

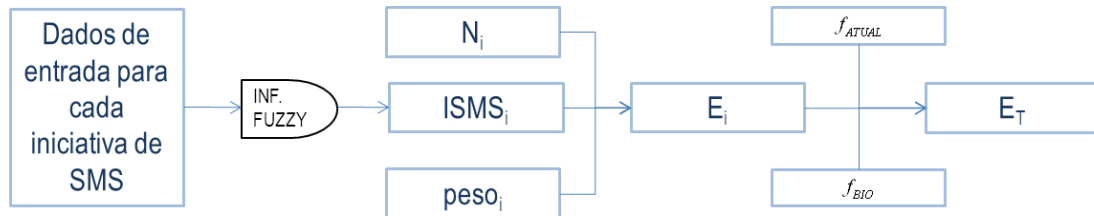
**Avaliação econômica do projeto:** De posse da relação de custos e benefícios a incorrer e com potencial de serem incorridos, avalia-se a influência que um projeto de ecoeficiência implantado pela empresa pode exercer sobre seu desempenho econômico. Esta avaliação pode ser descrita da seguinte forma:

- ✓ Definir o critério de atualização a ser utilizado na análise (indicadores de atualização monetária);
- ✓ Calcular e interpretar o desempenho financeiro de cada ação;
- ✓ Conduzir a análise de sensibilidade para testar como mudanças nas premissas afetam as projeções;
- ✓ Interpretar indicadores financeiros e suas implicações para o resultado da unidade, gerência de negócio ou empresa;
- ✓ Conduzir análise das hipóteses.

### **3.2. Determinação da Efetividade**

Este subcapítulo visa apresentar uma metodologia baseada em Lógica Fuzzy para mensuração da efetividade dos projetos associados às iniciativas de SMS implantados em uma empresa, no contexto brasileiro. O procedimento (Figura 5) abrange 5 etapas complementares, de modo a: (i) construir um índice baseado no conhecimento dos especialistas da empresa e do LIMA/COPPE (ISMS); (ii) determinar um fator de escala que deve ser inserido de acordo com o porte do projeto (N); (iii)

definir um fator de atualização para atualizar os benefícios do projeto para tempo presente ( $f_{ATUAL}$ ); (iv) determinar os pesos para cada iniciativa a partir da opinião das partes interessadas ( $peso_i$ ); e (v) inserir o fator de Biodiversidade ( $f_{BIO}$ ).



**Figura 5 – Procedimento para determinação da efetividade**

Fonte: Adaptado de LIMA/COPPE

### 3.2.1. Construção de um Índice para Mensuração da Efetividade (E)

As etapas para modelagem de um problema de tomada de decisão utilizando Lógica Fuzzy, conforme descrito anteriormente, foram aplicadas a cada uma das 3 iniciativas de SMS (Recursos Hídricos, Resíduos Perigosos e Emissões Atmosféricas) com o objetivo de obter o Índice de Valor das Iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência, respectivamente  $ISMS_{RH}$ ,  $ISMS_{RESÍDUOS}$  e  $ISMS_{EMISSIONES}$  (Figura 6). Cada um desses índices faz parte do cálculo da efetividade de cada iniciativa de SMS que um mesmo projeto pode abranger.



**Figura 6 – Determinação dos ISMS para as 3 iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência**

Fonte: Adaptado de LIMA/COPPE

As árvores hierárquicas de decisão identificam os elementos de entrada, intermediários (quando houver) e saída associados a cada iniciativa, evidenciando a interação entre cada um destes elementos, como ramos e galhos de uma árvore, que se unem para gerar um resultado final, o ISMS. Por trás da construção da árvore hierárquica está o estabelecimento de funções de pertinência, mostrando quanto um elemento pertence a determinado conjunto, e a formulação de bases de regras, revelando o comportamento intrínseco entre as variáveis e constituindo uma rede fuzzy.

É importante ressaltar que as árvores hierárquicas de decisão foram definidas com base nos aspectos considerados relevantes pelos especialistas à época, alinhadas às diretrizes de SMS da empresa e passíveis de serem mensuradas. Certamente as várias iniciativas de SMS devem considerar outros fatores que não foram levantados nesta metodologia, mas que para este estudo ficaram em suspenso. A ferramenta que se constrói a partir da metodologia proposta é continuamente dinâmica, já que é possível incorporar às redes outras variáveis, desde que seja possível mensurá-las e relacioná-las com o objetivo pretendido.

Os critérios para construção das redes fuzzy propostas nesta metodologia seguem não só o conhecimento e experiência dos especialistas, mas padrões, normas, metas e diretrizes para se atingir a excelência (no caso, em ecoeficiência). A legislação ambiental brasileira possui normas e padrões para o manejo de recursos naturais e descarte de resíduos, mas não é vasta e nem sempre a mais restritiva; portanto, é necessário consultar demais fontes para se atingir critérios que levarão ao menor impacto possível ao meio ambiente. Nos itens 3.2.1.1., A e B do ANEXO I, onde são descritas as redes para cada iniciativa de SMS, são evidenciadas as fontes de consulta para o estabelecimento de tais critérios.

Para a transposição da metodologia em linguagem matemática foi utilizado um software (MATLAB®), abrigando todos os algoritmos do programa, bases de regras e demais funções.

Cada vez mais a preocupação com o meio ambiente se estende ao meio biótico, contemplando não só aspectos do meio físico (como recursos hídricos, resíduos e emissões atmosféricas) como fatores associados à diversidade biológica, como manutenção de espécies e de áreas protegidas. Ademais o Brasil, signatário da Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB), tem o compromisso de instituir o melhor manejo dos recursos biológicos, prezando por sua conservação. Por estes

motivos, a manutenção e/ou aprimoramento da biodiversidade tem se tornado alvo de projetos de ecoeficiência, diretriz que se incorpora àquelas associadas à excelência em gestão ambiental empresarial.

Entretanto, para esta pesquisa não foi possível concluir a rede hierárquica de decisão para a iniciativa de Biodiversidade, conforme descrito no item 2.3.5. e no Capítulo 6, devido às dificuldades encontradas para medir o desempenho deste tipo de projeto. É importante ressaltar que a interação com a biodiversidade é uma condição que deve ser avaliada no que se refere a todo e qualquer projeto de ecoeficiência, sendo incorporada por meio de um fator comum a todas as iniciativas.

Na seção a seguir é detalhado o procedimento para a determinação de um índice técnico para o caso de uma iniciativa ecoeficiente em Recursos Hídricos, construído de acordo com o conhecimento de especialistas do LIMA/COPPE e da empresa. Adicionalmente, sugere-se realizar uma análise de sensibilidade com o objetivo de avaliar o comportamento dos índices obtidos. Destaca-se que aqui é apresentado o detalhamento do processo para uma das iniciativas de SMS contempladas nesta metodologia, sendo que as demais (Resíduos Perigosos e Emissões Atmosféricas) seguem um procedimento análogo, descrito no ANEXO I.

#### **3.2.1.1. Determinação do ISMS<sub>RH</sub>**

Para a definição das variáveis de entrada, ou seja, dos critérios do problema de tomada de decisão, foram efetuadas reuniões do grupo de pesquisa com especialistas na temática de Recursos Hídricos (item A, ANEXO II). Depois de atingido o consenso, as variáveis foram validadas pelos mesmos e estão representadas na Tabela 2. Nesta tabela, a coluna da direita apresenta os parâmetros que definem as funções de pertinência criadas (item B, ANEXO II). As variáveis *Lançamento atual* e *Lançamento futuro* referem-se a diversas substâncias, cujos domínios e parâmetros de definição das funções de pertinência estão definidos na seção “Parâmetros para as Funções de Pertinência das Variáveis Recursos Hídricos”, no item C, ANEXO II. A variável auxiliar *Média na redução do lançamento* é calculada utilizando-se a Análise Sintética Fuzzy com pesos iguais. A árvore hierárquica de decisão foi definida como mostrado na Figura 6.



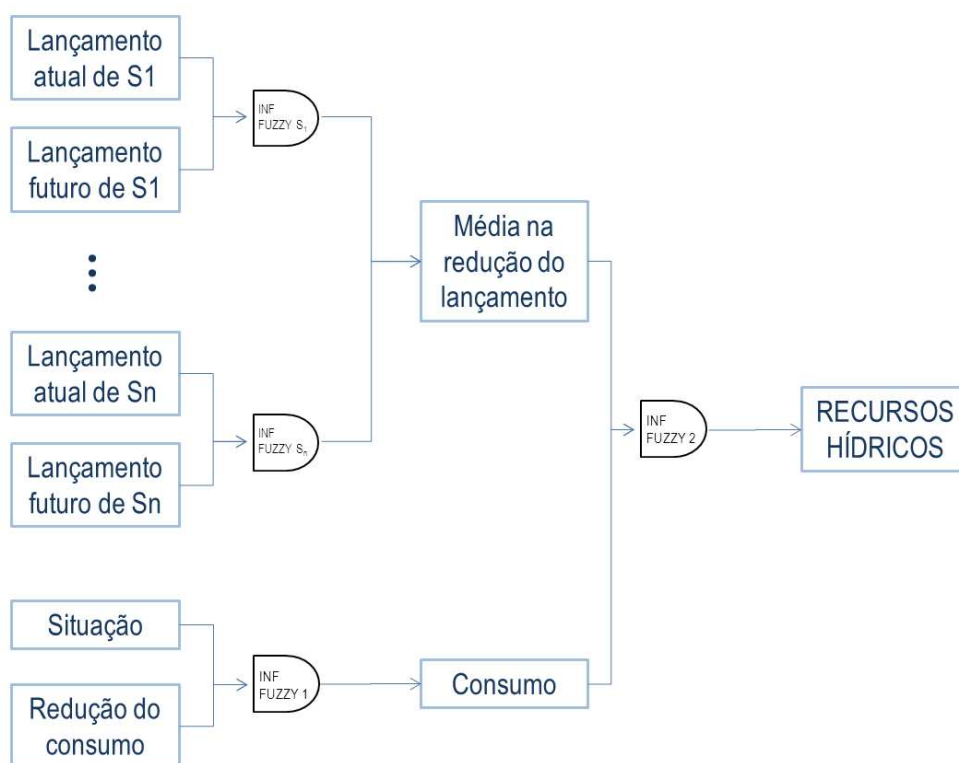
**Tabela 2 – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RECURSOS HÍDRICOS**

VARIÁVEL	TIPO	DOMÍNIO	TERMOS LINGÜÍSTICOS	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA	PARÂMETROS
Lançamento atual (mg/L)	Entrada	$[0, x]$ , tal que x depende da substância	Excelente Bom Ruim	Linear (triangular e trapezoidal)	Vide seção "Parâmetros para as Funções de Pertinência das Variáveis de Recursos Hídricos" do ANEXO III
Lançamento futuro (mg/L)	Entrada	$[0, x]$ , tal que x depende da substância	Excelente Bom Ruim	Linear (triangular e trapezoidal)	Vide seção "Parâmetros para as Funções de Pertinência das Variáveis de Recursos Hídricos" do ANEXO III
Média da redução do lançamento	Auxiliar	$[0, 1]$	Excelente Bom Ruim	---	
Situação (%)	Entrada	$[0, 100]$	Excelente Confortável Suficiente Crítica Muito crítica	Linear (trapezoidal)	$a=-1, b=0, c=5, d=6.5$ $a=5, b=6.5, c=9, d=13$ $a=9, b=13, c=17, d=25$ $a=16, b=22.62, c=33, d=40$ $a=33, b=40, c=101, d=180$
Redução do consumo (%)	Entrada	$[0, 100]$	Pequena Média Grande	Linear (trapezoidal)	$a=-1, b=0, c=25, d=37.5$ $a=25, b=35, c=40, d=50$ $a=37.5, b=50, c=100, d=110$
Consumo	Auxiliar			Linear (triangular)	$a=-1, b=0, c=50$ $a=0, b=50, c=100$ $a=50, b=100, c=101$
RECURSOS HÍDRICOS	Saída	$[0, 100]$	Péssimo Ruim Médio Bom Ótimo	Linear (triangular)	$a=-1, b=0, c=25$ $a=0, b=25, c=50$ $a=25, b=50, c=75$ $a=50, b=75, c=100$ $a=75, b=100, c=101$

Fonte: LIMA/COPPE/UFRJ

As funções de pertinência foram definidas com base em valores fornecidos pelas Resoluções CONAMA 357/05 e 393/07, além do Guia do Banco Mundial. Instalações *offshore* (são consideradas aquelas a mais de 12 milhas marítimas da costa: limite do mar territorial de acordo com a Lei nº8.617 de 1993) e/ou sujeitas à Resolução CONAMA 393/97 possuem funções específicas.

Para que fosse possível considerar a redução no lançamento de mais de uma substância, optou-se pela árvore hierárquica de decisão dada na Figura 7, na qual a variável auxiliar *Média da redução do lançamento* representa a média entre todos os valores obtidos na saída das inferências chamadas Inferência Fuzzy  $S_i$  ( $i=1,2,...n$ ), na qual utiliza-se a ASF com graus de importância iguais (Tabela 1).



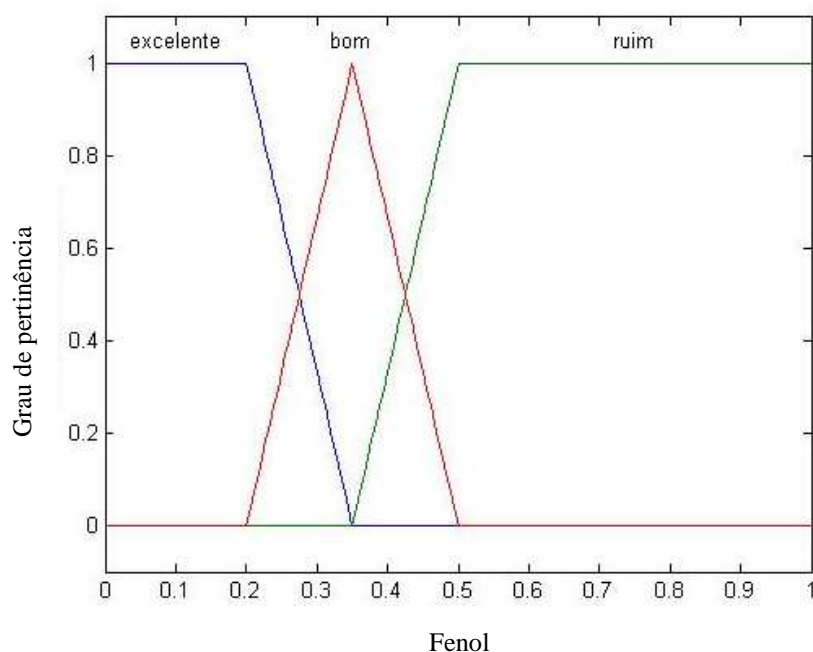
**Figura 7 – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RECURSOS HÍDRICOS**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

De acordo com a CONAMA 393/07, que “dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural,” dentre outras providências, a substância relevante para este descarte constitui no teor de óleos e graxas lançado no mar. Desta forma, para plataformas *offshore* e/ou sujeitas a esta Resolução,  $n=2$  e apenas 2 variáveis de entrada são necessárias para o estabelecimento das funções de pertinência: as médias diária e mensal de lançamento de óleos e graxas.

Para as demais instalações, os conjuntos fuzzy para as variáveis *Lançamento atual* e *Lançamento futuro* foram definidas para cada substância  $S_i$  tomando-se os valores máximos permitidos para o padrão de lançamento definido pela Resolução CONAMA correspondente e pelo Guia do Banco Mundial. Assim, com o menor valor (mais restritivo) e o maior valor fornecidos (máximo permitido), definiram-se as funções de pertinência Excelente, Bom e Ruim, como mostrado na Figura 8, por exemplo, para o caso de lançamento de fenol (cujos valores eram 0,2 – Guia do Banco

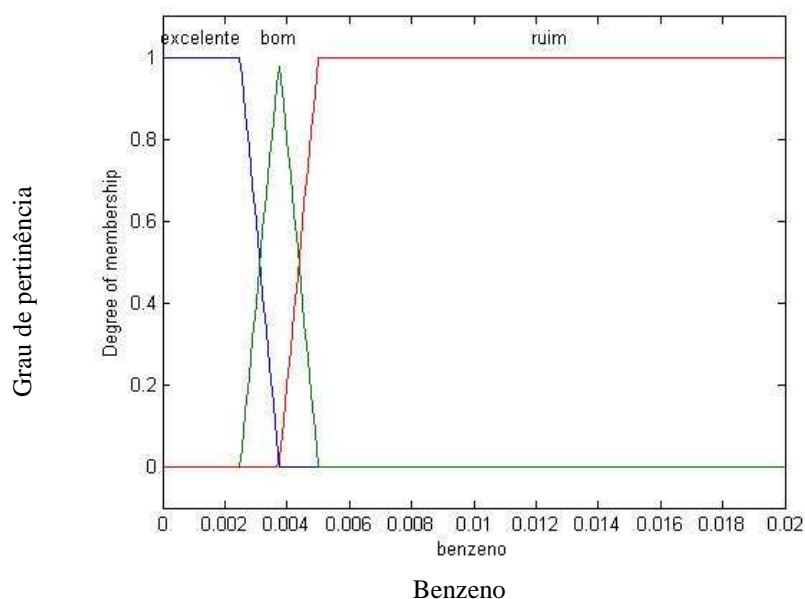
Mundial – e 0,5 – Resolução CONAMA 430/11). Para as demais substâncias, tem-se no item C, ANEXO II, os parâmetros para suas funções de pertinência.



**Figura 8 – Funções de pertinência para a variável *Lançamento atual* e *Lançamento futuro* para fenol**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Quando apenas uma das fontes define o valor máximo do padrão de lançamento, ou quando ambos são coincidentes, toma-se o valor original (máximo) e 50% deste valor (mínimo) para a definição das funções. Por exemplo, o padrão de lançamento de benzeno é determinado pela Resolução CONAMA 357/05 como sendo igual a 0,005 mg/L, para águas doces classe I. Dado que o padrão do Banco Mundial para esta substância não foi encontrada, tomam-se então os valores 0,005 e 0,0025 e o ponto médio 0,00375, para definir as funções de pertinência mostradas na Figura 9.



**Figura 9 – Funções de pertinência para as variáveis *Lançamento atual* e *Lançamento futuro* para benzeno**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Cada Inferência Fuzzy  $S_i$ , onde  $S_i$  refere-se à substância lançada  $i$ , possui a base de regras definida no Quadro 2, aqui exemplificada para o fenol.

**Quadro 2 – Base de regras que define a variável auxiliar *Redução do lançamento***

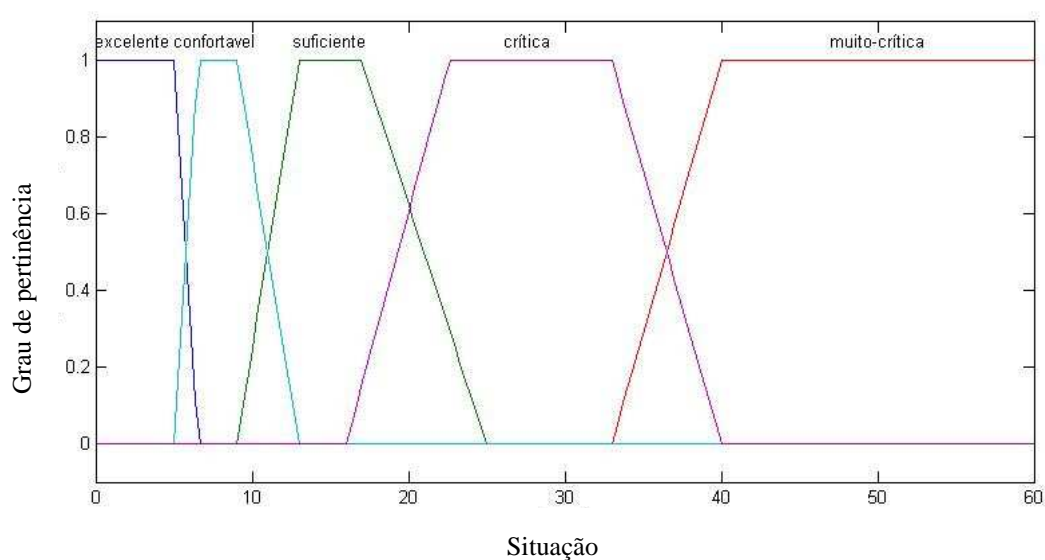
1. If (lançamento-atual-fenol is ruim) and (lançamento-futuro-fenol is ruim) then (redução-lançamento-fenol is ruim) (0.2)
2. If (lançamento-atual-fenol is ruim) and (lançamento-futuro-fenol is bom) then (redução-lançamento-fenol is bom) (1)
3. If (lançamento-atual-fenol is ruim) and (lançamento-futuro-fenol is excelente) then (redução-lançamento-fenol is excelente) (1)
4. If (lançamento-atual-fenol is bom) and (lançamento-futuro-fenol is ruim) then (redução-lançamento-fenol is ruim) (0.4)
5. If (lançamento-atual-fenol is bom) and (lançamento-futuro-fenol is bom) then (redução-lançamento-fenol is bom) (1)
6. If (lançamento-atual-fenol is bom) and (lançamento-futuro-fenol is excelente) then (redução-lançamento-fenol is excelente) (0.4)
7. If (lançamento-atual-fenol is excelente) and (lançamento-futuro-fenol is ruim) then (redução-lançamento-fenol is ruim) (1)
8. If (lançamento-atual-fenol is excelente) and (lançamento-futuro-fenol is bom) then (redução-lançamento-fenol is ruim) (1)
9. If (lançamento-atual-fenol is excelente) and (lançamento-futuro-fenol is excelente) then (redução-lançamento-fenol is excelente) (1)

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A variável *Situação* representa a atual situação de disponibilidade hídrica do corpo, definida pela razão entre a vazão de captação de água e a vazão de referência do rio, em porcentagem. De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, a vazão de referência é:

*“a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente –*

As funções de pertinência da variável *Situação* são mostradas na Figura 10.

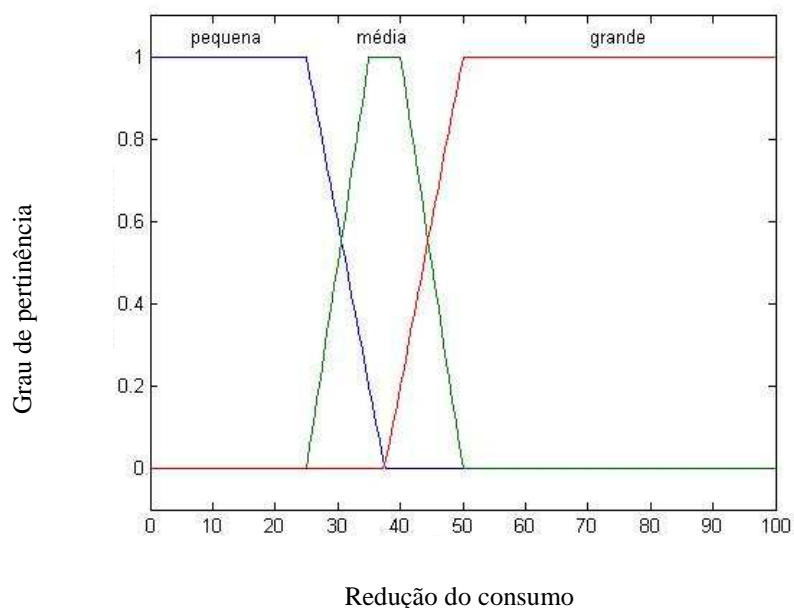


**Figura 10 – Funções de pertinência para a variável *Situação*<sup>6</sup>**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A variável *Redução do consumo* é o percentual de redução da captação de água do corpo hídrico, cujas funções de pertinência estão representadas na Figura 11.

<sup>6</sup> Esta figura exibe apenas o intervalo de 0 a 60, dado que a função de pertinência no intervalo de 60 a 100 se mantém constante em Muito crítica.



**Figura 11 – Funções de pertinência para a variável *Redução do consumo***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Assim, a base de regras do Quadro 3 determina a variável auxiliar *Consumo*, por meio da Inferência Fuzzy 1.

**Quadro 3 – Base de regras que define a variável auxiliar *Consumo***

1. If (situação is excelente) and (redução-consumo is pequena) then (consumo is bom) (0.6)
2. If (situação is confortável) and (redução-consumo is pequena) then (consumo is bom) (0.7)
3. If (situação is suficiente) and (redução-consumo is pequena) then (consumo is bom) (0.5)
4. If (situação is crítica) and (redução-consumo is pequena) then (consumo is bom) (0.1)
5. If (situação is muito-crítica) and (redução-consumo is pequena) then (consumo is bom) (0.1)
6. If (situação is excelente) and (redução-consumo is média) then (consumo is ruim) (0.6)
7. If (situação is confortável) and (redução-consumo is média) then (consumo is medio) (0.6)
8. If (situação is suficiente) and (redução-consumo is média) then (consumo is bom) (0.3)
9. If (situação is crítica) and (redução-consumo is média) then (consumo is bom) (0.2)
10. If (situação is muito-crítica) and (redução-consumo is média) then (consumo is bom) (1)
11. If (situação is excelente) and (redução-consumo is grande) then (consumo is ruim) (1)
12. If (situação is confortável) and (redução-consumo is grande) then (consumo is ruim) (0.9)
13. If (situação is suficiente) and (redução-consumo is grande) then (consumo is medio) (0.6)
14. If (situação is crítica) and (redução-consumo is grande) then (consumo is bom) (0.2)
15. If (situação is muito-crítica) and (redução-consumo is grande) then (consumo is bom) (1)

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

De posse dos valores de *Média da redução de lançamento* e *Consumo*, que são variáveis auxiliares desta rede, determina-se o índice RECURSOS HÍDRICOS (RH) por meio da Inferência Fuzzy 2, cuja base de regras está representada na Quadro 4.

#### Quadro 4 – Base de regras que define a variável de saída RECURSOS HÍDRICOS

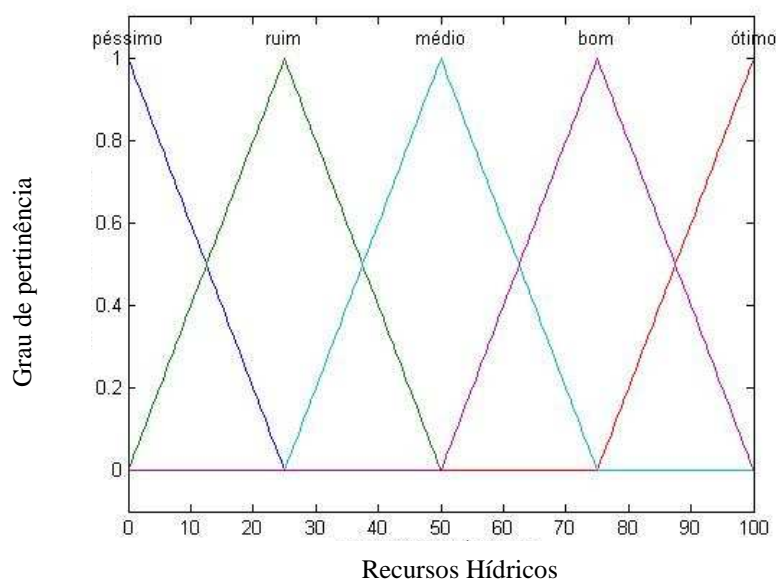
1. If (consumo is ruim) and (média-redução-lançamento is ruim) then (RH is péssimo)
2. If (consumo is ruim) and (média-redução-lançamento is bom) then (RH is ruim)
3. If (consumo is ruim) and (média-redução-lançamento is excelente) then (RH is médio)
4. If (consumo is médio) and (média-redução-lançamento is ruim) then (RH is ruim)
5. If (consumo is médio) and (média-redução-lançamento is bom) then (RH is médio)
6. If (consumo is médio) and (média-redução-lançamento is excelente) then (RH is bom)
7. If (consumo is bom) and (média-redução-lançamento is ruim) then (RH is médio)
8. If (consumo is bom) and (média-redução-lançamento is bom) then (RH is bom)
9. If (consumo is bom) and (média-redução-lançamento is excelente) then (RH is ótimo)

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Tomando-se os valores mínimo e máximo para a variável de saída RH ( $RH_{MÍN}$  e  $RH_{MÁX}$  respectivamente), é possível normalizar esta variável no intervalo  $[0, 100]$ , de acordo com a fórmula a seguir, resultando no índice  $ISMS_{RH}$ .

$$ISMS_{RH} = \begin{cases} 50 \frac{RH - RH_{MÍN}}{RH_M - RH_{MÍN}} & \text{se } RH \leq RH_M \\ 50 + 50 \frac{RH - RH_M}{RH_{MÁX} - RH_M} & \text{se } RH > RH_M \end{cases}$$

Nesta fórmula, tem-se que  $RH_M$  é o valor médio para o índice RH, obtido quando os dados de entrada são definidos de modo que seus graus de pertinência em relação ao conjunto médio (ou equivalente) são iguais a um, ou seja, situação atual 15%, redução do consumo 37,5% e lançamento atual e lançamento futuro com valores iguais (dependendo da substância considerada). Como exemplo, o lançamento atual e o lançamento futuro de fenol iguais a 0,35 mg/L e lançamento atual e lançamento futuro de benzeno iguais a 0,00375 mg/L. Isto significa que, ao inserir estes dados de entrada, o  $ISMS_{RH}$  calculado será igual a 50, que é o valor médio do intervalo  $[0, 100]$  e, neste caso, pode-se afirmar que o projeto não interfere na temática proposta. As funções de pertinência da variável de saída RH, já normalizada, estão representadas na Figura 12.



**Figura 12 – Funções de pertinência para a variável de saída RECURSOS HÍDRICOS**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

### 3.2.2. Determinação do fator de escala para as iniciativas de SMS (N)

Projetos de grande porte tendem a ser acompanhados de grandes investimentos. Na mesma proporção, projetos de escalas menores com vistas a atingir melhorias pontuais devem apresentar custos menores de implantação e manutenção. Da mesma forma, é possível encontrar numa mesma carteira de projetos opções nas quais grandes mudanças nem sempre significam melhor retorno para a empresa e, dependendo dos objetivos pretendidos e das condições de contorno do problema de tomada de decisão, um ajuste da efetividade dos projetos seja necessário.

De modo a permitir a comparação de projetos de ecoeficiência de escalas distintas, propõe-se considerar no cálculo da efetividade um fator de escala referente a cada uma das iniciativas. Desta forma, para cada linha de ação deve ser escolhido um dado de entrada que reflita a escala do projeto. Assim, as variáveis sugeridas são quantidade de água (em litros) que deixa de ser usada, quantidade (em toneladas) de poluente que deixa de ser emitido e quantidade (em toneladas) de resíduos perigosos que deixa de ser gerada, respectivamente para ações de ecoeficiência em Recursos Hídricos, Emissões Atmosféricas e Resíduos Perigosos. Cada um desses valores é normalizado no intervalo  $[0, 1]$ , considerando para cada um deles os limites mínimo e máximo a ser definido pelos especialistas, resultando no parâmetro  $N_i$ .



### 3.2.3. Obtenção do valor atribuído pelas partes interessadas às iniciativas

Assim como o sucesso do projeto, o sucesso do gerenciamento empresarial depende da percepção das partes interessadas (*stakeholders*), que deve ser conhecida e levada em consideração para avaliar o desempenho dos projetos e auxiliar a priorização da escolha de acordo com tais interesses (BRYDE, 2003; BRYDE; BROWN, 2004; DE WIT, 1988; MILOSEVIC; PATANAKUL, 2005 *apud* VEZZONI, 2011). A incorporação desses outros interlocutores na política de comunicação da empresa possibilita que ela atue preventivamente à eclosão de eventos potencialmente geradores de passivos ambientais que maculem a imagem da empresa e acarretem custos de reparação, tais como processos judiciais ou pedidos de indenização (VINHA, 2002).

Para a obtenção da preferência das partes interessadas em relação às iniciativas de SMS consideradas, sugere-se a aplicação de um questionário apropriado aos diversos grupos. Uma forma de obter os pesos comparativos entre as iniciativas é solicitar ao entrevistado as duas iniciativas de SMS consideradas importantes dentre as três (Recursos Hídricos, Emissões Atmosféricas e Resíduos Perigosos), solicitando também que seja informada a mais importante entre essas duas. Desta forma, gera-se o parâmetro  $peso_i$ , que reflete a opinião das partes interessadas acerca da relevância do projeto de SMS que aborde a iniciativa por eles considerada mais importante, conforme segue:

$$peso_i = \frac{m + 2n}{4q}$$

onde  $m$  é a quantidade de vezes que a iniciativa  $i$  é citada como importante,  $n$  a quantidade de vezes que a iniciativa  $i$  é citada como mais importante e  $q$  a quantidade total de questionários aplicados. Observa-se que as seguintes restrições devem ser seguidas:

$$\sum m_i = 2q$$

$$\sum n_i = q$$

$$\sum p_i = 1$$

Ressalta-se a possibilidade de se obter um índice puramente técnico, ou seja, a efetividade que considera apenas o conhecimento técnico dos especialistas, quando se

considera o peso para todas as iniciativas como iguais a 1/3. Isto se justifica pelo fato de que, para efeito desta metodologia, são apenas 3 iniciativas de ecoeficiência passíveis de serem contempladas nos projetos e, dada a indiferença das partes interessadas, o peso seria igual para as 3 iniciativas.

### 3.2.4. Determinação do fator de atualização para tempo presente

A decisão de se investir num projeto de ecoeficiência não traz benefícios imediatos. Para que seja considerada também a influência do tempo de retorno dos benefícios do projeto, foi incluído um fator de atualização do projeto para o tempo presente, considerando seu o tempo de vida útil e o tempo de início do retorno dos benefícios proporcionados pelo projeto.

A fórmula a ser aplicada para avaliar a melhoria de desempenho considerando a vida útil do projeto seguirá o princípio do valor presente de anuidades. Este é um conceito financeiro intimamente relacionado ao valor presente de um real. Em finanças, uma anuidade é uma série de constantes recebimentos (ou obrigações) que serão auferidos (ou pagos) no final de cada ano durante alguns anos no futuro. O valor presente de uma anuidade, dado por  $A_n$ , é então o valor presente de um fluxo de futuras entradas de caixa de uma quantia fixa recebida no final de cada ano por um certo número de anos, dada uma taxa de desconto  $r$ .

Assim,

$$A_n = f_A E = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r} E$$

onde  $A_n$  corresponde à efetividade do projeto atualizada para o tempo de início do retorno dos benefícios,  $f_A$  o fator de anualização,  $E$  a efetividade atemporal,  $r$  a taxa de desconto e  $n$  o tempo de vida útil do projeto, em anos.

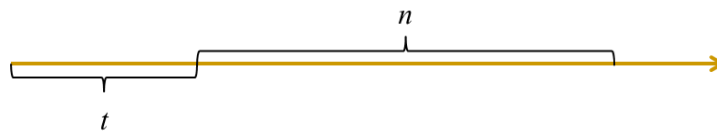
Com o objetivo de comparar projetos com datas de início de retorno dos benefícios diferentes (isto é, projetos que apresentem prazos de implantação diferentes, nos quais os benefícios são visíveis em datas distintas), considera-se ainda uma nova correção do valor calculado acima, dada pela fórmula

$$VP = f_{VP} A_n = \frac{1}{(1+r)^t} A_n$$

onde  $VP$  é o valor presente da efetividade  $A_n$  a ser atingida no futuro,  $f_{VP}$  o fator de transferência para tempo presente,  $r$  a taxa de desconto e  $t$  a quantidade de anos até o início de operação do projeto.

Assim, o fator de atualização para trazer os benefícios do projeto para o tempo presente constitui na multiplicação dos dois fatores acima descritos:

$$f_{ATUAL} = f_A f_{VP} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r} \frac{1}{(1+r)^t}$$



### 3.2.5. Fator de Biodiversidade

A diversidade biológica é fator essencial para determinar o tipo, qualidade e intensidade dos serviços ecossistêmicos prestados pela natureza ao homem, ao mesmo tempo em que é responsável pela perpetuidade da vida no planeta e deve, portanto, ser preservada.

Durante o estudo realizado, identificou-se uma série de dificuldades na definição de uma rede hierárquica de decisão para a iniciativa em biodiversidade por parte dos especialistas, dada a grande subjetividade, a extensa gama de variáveis e sua significância. Consequentemente, levantou-se a impossibilidade de medir o desempenho de um projeto de ecoeficiência em relação à biodiversidade e, considerando a necessidade de estudar sua interação com todo e qualquer projeto de ecoeficiência, optou-se por avaliar a eficiência dos projetos neste quesito por meio de outro índice, chamado de Fator de Biodiversidade.

A partir de mecanismos já existentes no Brasil ou no mundo para avaliação de impactos à biodiversidade e bancos de dados sobre a diversidade biológica em território nacional, propõe-se que futuramente seja desenvolvido um indicador que reflita a

interferência da execução de projetos de ecoeficiência sobre a biodiversidade, utilizando metodologia consolidada em lei e aplicada por órgãos ambientais.

A nível mundial, é importante citar o surgimento do TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*), em 2007. O TEEB é um estudo global que tem enfoque no “benefício econômico global da diversidade biológica, nos custos da perda da biodiversidade e nas falhas em se adotarem medidas de proteção versus o custo da efetiva conservação” (TEEB, 2010). Constitui iniciativa a nível global em relação à preocupação em valorar os danos da perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, promover a conservação da natureza e desta forma interferir no processo decisório. Motivados por esta preocupação, diversos países buscam continuamente incluir e delinear o papel do capital natural, assim como o valor de serviços ambientais, no processo decisório das empresas (PARKER & CRANFORD, 2010; LAURANS *et al.*, 2011).

No Brasil, a Lei nº9.985 de 2000 (L9985/00) institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e, em seu artigo nº36, obriga o empreendedor a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral no ato do licenciamento, quando há significativo impacto ambiental, por meio de um montante calculado sobre o valor total do empreendimento: a compensação ambiental. Tal compensação atualmente tem cálculo regido pelo Decreto nº6.848 de 2009 (D6848/09), que por sua vez altera o Decreto nº4.340 de 2002 (D4340/02), que regulamenta o artigo nº36 da lei do SNUC.

A metodologia de cálculo apresentada no D6848/09 considera o impacto sobre a biodiversidade (ISB), o comprometimento de área prioritária (CAP) e a influência em Unidades de Conservação (IUC). Estes índices compõem o grau de impacto (GI), que corresponde ao percentual aplicado sobre o valor total do empreendimento, que por sua vez calcula o valor a ser pago na compensação.

De acordo com o D6848/09, o ISB tem como objetivo “contabilizar os impactos do empreendimento diretamente sobre a biodiversidade na sua área de influência direta e indireta”. O ISB é função de 4 outros índices: magnitude (IM), biodiversidade (IB), abrangência (IA) e temporalidade (IT). De forma análoga, o CAP é função de 3 índices: magnitude, comprometimento de área prioritária (ICAP) e temporalidade; e o IUC é definido com base no tipo de unidade de conservação e sua zona de amortecimento, dividido em 5 grupos.

Em 2002, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) divulgou uma publicação sobre Modelo de Valoração Econômica dos Impactos Ambientais em Unidades de Conservação. Este modelo aborda aspectos modulares da quantificação de recursos ambientais modificados por empreendimentos em Unidades de Conservação do bioma da Mata Atlântica e do Cerrado, na tentativa de valorar o dano a ser compensado nos moldes do Art.36 do SNUC. O modelo proposto envolve seis parcelas distintas: i) perda de oportunidade; ii) impacto cênico; iii) perda de visitação; iv) perda ecossistêmica; v) risco; vi) fator social (IBAMA, 2002).

Posteriormente, em 2005, o IBAMA publicou metodologia de gradação de impacto ambiental para empreendimentos terrestres, no qual é possível avaliar o eventual dano residual causado por uma atividade potencialmente poluidora, após aplicadas as devidas medidas mitigadoras previstas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Esta metodologia foi estudada e apresentada pelo IBAMA com o objetivo de contribuir para o estabelecimento de um procedimento comum e padronizado de cálculo do grau de impacto a ser instituído para a compensação ambiental. A compensação ambiental prevista em lei é um instrumento que visa garantir à sociedade um ressarcimento pelos danos causados à biodiversidade por empreendimentos de significativo impacto ambiental (IBAMA, 2005).

As metodologias descritas constituem em tentativa de mensurar o comprometimento da biodiversidade quando da execução de empreendimentos de significativo impacto ambiental, os quais exigem o pagamento de uma compensação ambiental prevista em lei. Estas propostas buscam a sistematização de um procedimento para estimar o valor monetário de recursos ambientais e serviços ecossistêmicos associados à perda de biodiversidade, com o objetivo de adequar o aspecto intangível de mensuração da biodiversidade em moeda de troca para a compensação financeira.

A percepção da interferência (positiva ou negativa) de projetos de ecoeficiência sobre a biodiversidade motivou a equipe do LIMA/COPPE a incluir um fator de biodiversidade ao cálculo da efetividade dos referidos projetos, dada a impossibilidade de se construir uma árvore hierárquica de decisão para esta iniciativa. Tal obstáculo foi observado dada a ausência de especialistas com conhecimento ou experiência para definir as funções de pertinência, devido à intangibilidade destes recursos. Por questões não somente legais ou ambientais, mas também éticas, sabe-se que impactos a espécies

ameaçadas ou biomas comprometidos ou degradados podem eliminar um projeto da carteira de opções, mesmo que seja bem avaliado de acordo com índice técnico (ISMS).

Assim como o conhecimento dos especialistas à época não foi considerado suficiente (isto é, a significância do dano à biodiversidade foi reconhecida, embora sem ter sido definido o grau), atualmente a inexistência de um banco de dados extenso e minimamente acurado sobre a diversidade biológica brasileira impede a sistematização da informação proposta por meio da ferramenta descrita nesta metodologia. Lidar com o desconhecido pode dar origem a resultados inesperados, e por isto se faz necessário descrever em detalhes a composição e comportamento dos biomas e espécies animais e vegetais da variabilidade brasileira.

Nesta tentativa, o Atlas da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção em Unidades de Conservação Federais (ICMBio, 2011) nasceu da necessidade de conhecer o quanto e onde o SNUC está sendo eficiente em proteger as espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção. Neste documento é possível encontrar informação compilada durante mais de 10 anos de vigência da Lei nº9985/00, se tornando importante fonte de dados para se conhecer o real estado de parte da biodiversidade brasileira, compreendendo seus seis diferentes biomas terrestres e o marinho.

Torna-se importante, portanto, a identificação e o conhecimento prévio das características e da sensibilidade das áreas onde serão realizadas as atividades vinculadas ao projeto de ecoeficiência em análise. O conhecimento dos ecossistemas, sua significância, distribuição, estrutura e função, processos evolutivos, usos sustentáveis de seus recursos, benefícios fornecidos, ameaças, riscos, efeitos da poluição e dos fatores que influenciam a recuperação é fundamental para o processo de tomada de decisão desde o início, nas instâncias mais estratégicas, até os projetos e a instância operacional (GARCIA & LA ROVERE, 2011).

### **3.2.6. Determinação da efetividade**

Em decorrência das etapas anteriormente descritas, a efetividade de um projeto em relação à iniciativa  $i$  de SMS é dada por

$$E_i = ISMS_i * N_i * peso_i$$

Considerando todas as iniciativas de SMS, a efetividade total, atualizada para tempo presente, é determinada pela seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 E_T &= f_A f_{VP} E = f_A f_{VP} f_{BIO} (E_{RES} + E_{RH} + E_{EMI}) = \\
 &= f_A f_{VP} f_{BIO} (ISMS_{RES} N_{RES} peso_{RES} + ISMS_{RH} N_{RH} peso_{RH} + ISMS_{EMI} N_{EMI} peso_{EMI})
 \end{aligned}$$

onde  $f_A = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}{r}$  e  $f_{VP} = \frac{1}{(1+r)^t}$ .

Observa-se que o indicador a ser utilizado para selecionar, avaliar e priorizar os projetos de ecoeficiência apresenta uma limitação quando o custo total líquido do projeto se anula, embora essa possibilidade seja bastante remota. Neste caso, sugere-se que a seleção, avaliação e seleção dos projetos seja feita com base apenas na efetividade, uma vez que os indicadores seriam iguais (nulos). Para tal, calcula-se a efetividade média, para que seja possível comparar projetos com efetividades diferentes, pois é preciso que elas estejam num mesmo intervalo; caso contrário a relação estaria matematicamente incorreta e, portanto, equivocada e sem significado. Logo, com o objetivo de normalizar as efetividades calculadas, propõe-se considerar a razão entre a efetividade total e o número de iniciativas contempladas pelo projeto.

$$E_{TM} = \frac{E_T}{s}$$

onde  $s$  é a quantidade de iniciativas sendo contempladas pelo projeto<sup>7</sup>.

Assim, a efetividade total  $E_T$  e a efetividade total média  $E_{TM}$  acima definidas refletem, além do conhecimento técnico dos especialistas da empresa e do LIMA/COPPE e das características do projeto, a opinião das partes interessadas. Para um resultado puramente técnico basta considerar os pesos das iniciativas como sendo  $peso_i = 1/3$ .

### 3.2.7. Resumo das Etapas para Mensuração da Efetividade

Após o levantamento dos dados de entrada para o cálculo do ISMS, os mesmos são inseridos num programa que deve conter os algoritmos, funções de

---

<sup>7</sup> Para efeito desta metodologia,  $s \in \{1,2,3\}$

pertinência e bases de regras, construídas com base no conhecimento dos especialistas, e que irá processá-los e gerar os resultados (dados de saída).

O programa deve conter, além dos cálculos descritos na metodologia, funcionalidades tais como um banco de dados de projetos avaliados, que permitiria um aprendizado constante por partes dos avaliadores e posteriores alterações na metodologia, exibição dos resultados na forma de gráficos estatísticos e a edição de todos os parâmetros envolvidos nos cálculos por usuários com tal permissão.

É possível também verificar como variações nos parâmetros de entrada refletem no resultado final do indicador ISMS por meio de análise de sensibilidade, evidenciando a influência que estes parâmetros podem exercer sobre o desempenho do projeto de ecoeficiência. Este tipo de procedimento permite que o tomador de decisão busque maximizar a eficiência das iniciativas, e dessa forma melhorar seu desempenho, por meio de mudanças nos parâmetros de entrada para posterior avaliação e comparação.

A proposição de se transpor a metodologia para um programa (para este estudo foi utilizado o software MATLAB®) permite que diferentes usuários da ferramenta sejam capazes de acessar o conhecimento outrora sistematizado a partir da aplicação da Lógica Fuzzy. A comunicação estabelecida entre o proponente de um projeto de ecoeficiência e o tomador de decisão por meio desta metodologia poderá permitir sua inserção no Sistema de Gestão Ambiental (SGA) da empresa, direcionando sua estratégia para a sustentabilidade do negócio.

A agregação das demais parcelas constituintes do índice proposto ocorre de maneira mais simplificada, ou seja, o fator de escala, a opinião das partes interessadas, o fator de atualização e o fator de biodiversidade são fatores que apenas multiplicam o resultado técnico obtido por meio da Lógica Fuzzy (Figura 5). É importante ressaltar que, embora simplificada, a inclusão destes fatores é decisiva para o resultado final obtido. Um projeto mal avaliado pelas partes interessadas pode ser desfavorecido ou até descartado dentro de uma carteira, mesmo que apresente um resultado técnico bom. Isto significa que, caso não seja do interesse de uma parte, um projeto de ecoeficiência pode ser considerado inadequado e o tomador de decisão opte por não investir nele, embora ele possa trazer benefícios ao meio ambiente, de acordo com o que é considerado relevante pelos especialistas no assunto.



### 3.3. Análise Custo-Efetividade para Avaliação, Seleção e Priorização dos projetos de ecoeficiência

Conforme descrito no Capítulo 2, a Análise Custo-Efetividade se apresenta como um processo capaz de auxiliar na avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência. O cálculo do indicador custo-efetividade (CE) é dado pela equação

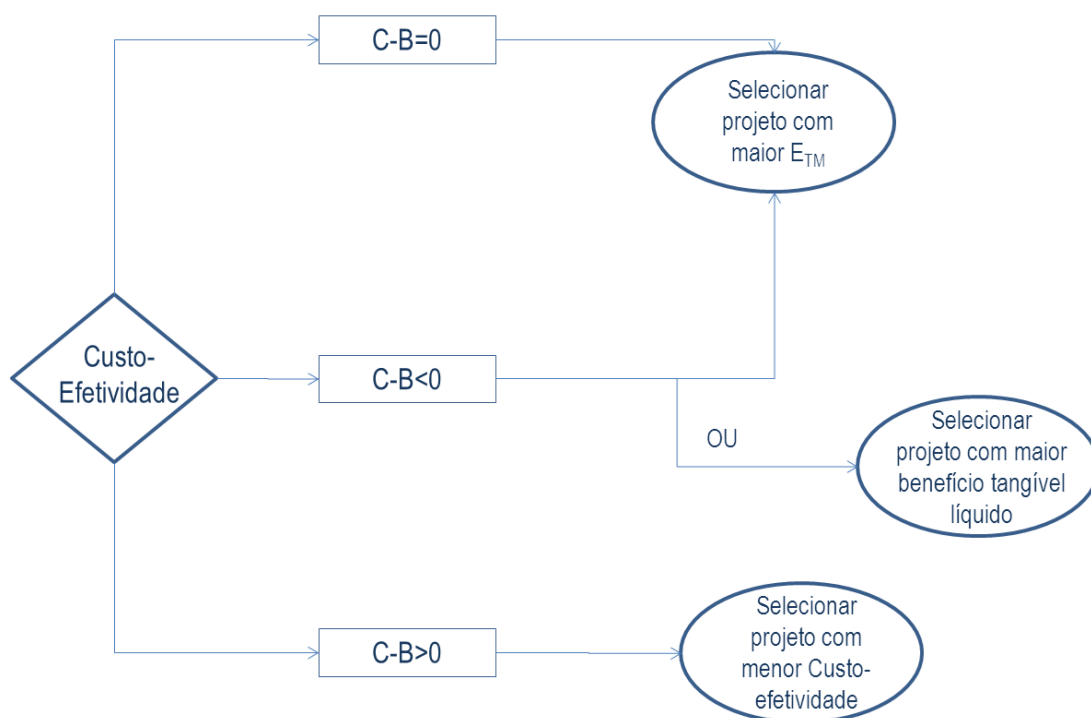
$$CE = \frac{(C - B)}{E}$$

onde:

- $C - B$  = Custo Líquido resultante da aplicação da metodologia para valoração de custos e benefícios tangíveis (item 3.1);
- $E$  = Efetividade total calculada (item 3.2).

Eventualmente observa-se que, no caso em que o custo tangível for igual ao benefício ( $C - B = 0$ ) em algum dos projetos avaliados, a seleção deverá ser feita considerando-se a maior  $E_{TM}$ . Se o custo for maior que o benefício ( $C - B > 0$ ), o projeto selecionado será aquele com a menor relação entre o custo líquido e a efetividade:  $(C - B) / E_T$ . Ou seja, será priorizado aquele com menor índice CE.

É possível que ocorra também um caso especial no qual o custo é menor que o benefício ( $C - B < 0$ ). Isto significa que o investimento, além de gerar um retorno ambiental, gera um retorno financeiro maior que o custo total do projeto. Neste caso, caberá à empresa definir se priorizará o projeto que apresente maior potencial de receita e/ou que apresente maior efetividade, ou ambos. A Figura 13 apresenta esquematicamente o processo de avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência.



**Figura 13 – Avaliação, seleção e priorização dos projetos de ecoeficiência**

Fonte: Adaptado de LIMA/COPPE

#### 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: REUSO DE ÁGUA

Conforme sinalizado no Capítulo 1, a metodologia proposta surgiu a partir da demanda de uma empresa inserida no contexto brasileiro para avaliar projetos de ecoeficiência e tentar valorar os ganhos tangíveis e intangíveis a serem obtidos por meio da adoção deste tipo de iniciativa. É importante esclarecer que foi feito estudo de caso para ilustrar a aplicação da metodologia e validação da mesma, e a qual foi aprovada pela empresa. Entretanto, por questões de sigilo contratual, o estudo de caso não será aqui explorado.

Logo, para efeito desta dissertação, apresentar-se-á um exemplo hipotético para aplicação da metodologia, sendo dividida em duas partes: i) a valoração dos custos e benefícios tangíveis obtidos a partir da implantação de um **projeto de reuso de água** (uma ação ecoeficiente em recursos hídricos); e ii) a mensuração da efetividade de 3 projetos de ecoeficiência em Recursos Hídricos, Emissões Atmosféricas e Resíduos Perigosos, afim de compará-los e desta forma direcionar a hierarquização dos mesmos frente o conhecimento técnico e interesse da empresa e seus *stakeholders*.

##### 4.1. Valoração dos Custos e Benefícios Tangíveis

O ponto mais importante para se atingir o uso sustentável dos recursos hídricos consiste em racionalizar seu uso, reduzir o consumo, evitar desperdícios e remediar pontos de vazamentos e perdas excessivas. Em segundo lugar deve-se pensar no reciclo do efluente, que implica na reutilização da corrente aquosa no mesmo processo que o gerou. O reuso vem como uma terceira opção a ser empregada, que pode ser feito após seu tratamento ou não (reuso direto ou indireto), de modo que a corrente é utilizada em outro processo que não aquele onde foi produzida (VIEIRA, 2010).

Neste contexto, sugeriu-se a seleção de uma torre de resfriamento para receber a água de reuso para reposição, que deveria receber um tratamento terciário (polimento) em adição aos tratamentos preliminar (remoção de sólidos em suspensão e partículas maiores), tratamento primário (etapa físico-química para remoção de componentes tóxicos, hidrocarbonetos, entre outros) e tratamento secundário (etapa biológica para remoção de matéria orgânica e outros componentes biodegradáveis), requisitos mínimos para descarte do efluente no corpo hídrico.

De acordo com as etapas apresentadas no Quadro 1 (Capítulo 3), a valoração dos custos e benefícios tangíveis é realizada a fim de se obter o custo financeiro total líquido do projeto, conforme descrito a seguir:

**Determinação da ação em SMS:** Identificou-se a iniciativa ecoeficiente em **reuso de água**, na busca por alternativas para redução na captação e/ou no efluente lançado no corpo receptor. A perspectiva é que a água seja utilizada em operações que demandam grande volume, como torres de resfriamento. É importante atentar para a qualidade final da água de reuso, que dependerá do uso ao qual será destinada. Para finalidades mais nobres, como utilidades ou para reposição em caldeiras, o tratamento para a água de reuso deve ser mais apurado, o que demanda maiores investimentos para emprego da tecnologia mais eficiente.

**Identificação dos custos e benefícios tangíveis diretos:** Os gastos em P&D para construção de conhecimento que possibilite a introdução da tecnologia apropriada de reuso de água incluem pesquisas e testes para cada uma das tecnologias disponíveis no mercado nacional e internacional. Os ativos específicos constituem, portanto, os gastos com P&D e demais investimentos, referentes à introdução do projeto ecoeficiente. Os itens de custo referentes a recursos usados na unidade de reuso mais relevantes são: energia, produtos químicos, horas de trabalho e água filtrada.

**Identificação de todas as entradas e saídas no processo:** A partir do fluxograma do processo é possível identificar as entradas e saídas, desde a captação de água no corpo hídrico até o descarte e tratamento terciário para reuso.

**Identificação e valoração monetária dos custos evitados e das receitas futuras:** O primeiro passo para se apurar os custos evitados é identificar as variações nos gastos incorridos pela unidade beneficiária da ação ecoeficiente. Logo, o gasto com energia é obtido pelo consumo de cada equipamento elétrico da unidade de reuso, por exemplo, e a quantidade assim apurada é multiplicada pelo custo unitário da energia adquirida. Este resultado, quando dividido pelo volume de água tratada que entra na unidade de reuso, fornece o valor unitário de energia por unidade de volume.

Os gastos com produtos químicos envolvem o conhecimento da quantidade utilizada periodicamente, por tipo de produto, para tratar determinada quantidade de água. Por isso, são necessários dados obtidos por rígidos controles de estoques e de medidores de vazão. O valor total dos produtos consumidos é dividido pelo volume de

água tratada que segue para o tratamento terciário, encontrando-se o valor unitário do produto por unidade de volume.

O mesmo raciocínio se aplica ao valor e quantidade de horas de trabalho dos profissionais dos diversos departamentos envolvidos, o que permite obter o custo de homem/hora por unidade de volume de água tratada para reuso.

Estas despesas e custos para operação e manutenção são, então, orçados antes e depois da implantação da unidade piloto de reuso, de modo que a diferença entre os valores calculados reflete os custos evitados e as receitas futuras.

**Identificação e valoração monetária dos custos e benefícios potenciais:** A cobrança pelo uso de recursos hídricos é instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (L9433/97) e seu cálculo é atualmente regido pela administração de cada bacia hidrográfica. No caso em que a captação de água é realizada em corpo hídrico que dispõe deste mecanismo, a cobrança pelo seu uso pode incorrer em custo evitado potencial em um projeto de reuso de água, uma vez que esta iniciativa está associada à manutenção e conservação dos recursos hídricos. Isto significa que uma empresa que investe em um projeto de reuso de água tem a perspectiva de evitar custos no que diz respeito à cobrança pelo uso da água (quando aplicável), reduzindo o valor a ser pago pela água, já que parte dela deixará de ser captada para ser reusada.

Adicionalmente, identifica-se a possibilidade de obtenção de receitas futuras, como a venda da água que a empresa deixa de consumir por conta do reuso, uma vez que sua outorga não seria alterada (vazão de captação se mantém constante) e haveria um excedente de água que poderia ser comercializado. Neste caso, não se considera o custo evitado devido ao reuso, que consiste na redução no consumo de energia e produtos químicos no pré-tratamento da água captada e nos tratamentos primário e secundário (na ETA), em face à diminuição da captação no corpo hídrico. De modo geral, a prática do reuso pode contribuir para:

- i. Reduzir a captação no corpo hídrico;
- ii. Reduzir produtos químicos para o tratamento dessa água;
- iii. Reduzir o gasto energético, assim como é possível prever que pode haver:

- ✓ Aumento do consumo energético e da demanda de produtos químicos na ETDI, dado o tratamento terciário;
- ✓ Redução do volume de efluente descartado;
- ✓ Redução de problemas provenientes de corrosão ou incrustação nos trocadores de calor e outras tubulações (este pode ser considerado como um custo tangível evitado se houver conhecimento comprobatório deste efeito).

**Apropriação dos custos e benefícios identificados e valorados nas etapas II (diretos), IV e V (indiretos):** É possível avaliar hipóteses considerando ou não o custo do ativo específico, os custos evitados efetivos ou potenciais e receitas potenciais, como descrito no Quadro 5.

**Quadro 5 – Hipóteses possíveis**

Hipótese	Ativo	Custo Evitado Efetivo	Custo Evitado Potencial	Receita Futura/Potencial
I	NÃO	SIM	NÃO	NÃO
II	SIM	SIM	NÃO	NÃO
III	NÃO	SIM	SIM	NÃO
IV	SIM	SIM	SIM	NÃO
V	NÃO	NÃO	NÃO	SIM
VI	SIM	NÃO	NÃO	SIM

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

As hipóteses são levantadas com base em dois cenários excludentes, dado que:

- i. A empresa deixa de captar um percentual da vazão da água outorgada, pois haverá reuso de água e a demanda não se altera e, com isto, reduz o custo com o tratamento anterior ao terciário para esta água e evita ter de pagar pela parcela de água não captada (custo evitado efetivo e potencial – hipóteses I, II, III e IV); ou
- ii. A empresa mantém a captação da mesma vazão de água mas, dado o volume reusado internamente, o excedente pode ser eventualmente comercializado, gerando uma receita (benefício potencial – hipóteses V e VI).

A obtenção das informações relativas ao tratamento da água antes e depois do projeto ecoeficiente permite calcular os benefícios monetários obtidos e a diferença entre os custos apropriados para cada hipótese e, dessa forma, é possível elaborar o fluxo de caixa correspondente.

**Realização do fluxo de caixa:** Nesta etapa obtém-se o valor monetário dos custos e benefícios tangíveis associados à iniciativa de reuso de água, baseado nos dados fornecidos e em premissas pré-estabelecidas, gerando hipóteses formuladas com base num cenário proposto pela empresa, em que são fixadas as variáveis como a taxa de desconto (10%), inflação e vida útil da planta (15 anos).

**Avaliação econômica do projeto:** Foi observado que o custo é maior do que o benefício quando se considera apenas o custo evitado efetivo (hipóteses I e II). Avaliando apenas por este critério, o reuso de água deveria ser repensado, pois não traria benefícios econômicos para a empresa. Há ainda as hipóteses que consideram tanto o custo evitado efetivo quanto o potencial (III e IV), no qual considera-se o eventual custo com pagamento de outorga. Analisando por esta vertente, o reuso também não aparenta ser uma iniciativa economicamente interessante para a empresa, visto que o resultado do fluxo de caixa calculado neste caso é negativo independentemente de se considerar o custo de investimento. Entretanto, quando se considera a adição de receitas potenciais futuras, o saldo do fluxo de caixa torna-se positivo independentemente de se considerar ou não o gasto com investimento, tornando-se aparentemente viável a implantação da unidade de reuso.

Após esta avaliação e, de modo a complementar a análise custo-efetividade, é importante ressaltar os resultados da mensuração da efetividade associados à ação implantada, detalhada no item a seguir.

#### **4.2. Mensuração da Efetividade**

Nesta seção serão apresentados dois exemplos: um para ilustrar o cálculo da efetividade considerando apenas a iniciativa de reuso de água; e outro a fim de elucidar como a metodologia desenvolvida nesta pesquisa permite a comparação de diferentes ações de SMS contempladas em diversos projetos de ecoeficiência.

Nesta primeira parte, a efetividade foi mensurada a fim de estimar o desempenho da iniciativa ecoeficiente em reuso de água. Sendo assim, os dados de entrada

considerados são aqueles referentes ao projeto, que devem ser disponibilizados em relatórios e bancos de dados da empresa, como:

- ✓ Percentual de água que deixará de ser captada;
- ✓ Redução (ou aumento) do lançamento de poluentes especificados pelos especialistas;
- ✓ Vazão do corpo hídrico;
- ✓ Tempo de vida útil do projeto;
- ✓ Tempo despendido até o início de operação da planta (e portanto de retorno dos benefícios);
- ✓ Opinião dos *stakeholders* quanto ao seu interesse dentre as iniciativas propostas na metodologia;
- ✓ Entre outros para estimativa dos 5 fatores que compõem a efetividade<sup>8</sup>.

Os dados de entrada foram inseridos no programa (executado em MATLAB®) e os resultados são descritos na Tabela 3:

**Tabela 3 – Resultado para a aplicação da metodologia para cálculo da Efetividade de um projeto de reuso de água**

Situação atual	0,1723%	
Redução do consumo	7%	
	Atual	Futuro
Chumbo (PPM)	0,03	0,03
Cobre (PPM)	0,03	0,03
Níquel (PPM)	0,03	0,03
Mercurio (PPM)	0,001	0,0002
DBO (PPM)	246,2	37,8
Fenol (PPM)	48,8	0,01
Amônia (PPM)	43,2	7,1
Sólidos em suspensão (PPM)	163,3	14,4
Óleos e graxas (mg/L)	173,7	10,1
DQO (PPM)	1066,8	75,4
ISMS <sub>RH</sub>	74,130	

<sup>8</sup> Ver Figura 5, Capítulo 3.



Nota-se que algumas variáveis mantêm seus valores antes e depois do investimento no projeto de SMS. Apesar de todas elas serem importantes, conforme sinalizado pelos especialistas, nem todas elas necessariamente terão melhoria no seu desempenho, dado o tratamento ao qual a água de reuso é submetida. Dificilmente uma única tecnologia será capaz de remover todas as impurezas e contaminantes considerados relevantes para a avaliação de um projeto de ecoeficiência em Recursos Hídricos. Ademais, ressalta-se que as variáveis que não constam da Tabela 3 não foram consideradas no cálculo (a água era isenta das substâncias Vanádio, Benzopireno, Benzeno, Sulfeto e Nitrogênio).

Observa-se que, considerando o conhecimento puramente técnico dos especialistas da empresa e do LIMA/COPPE, o projeto de reuso de água apresenta uma efetividade igual a 74,13. Este valor corresponde a uma “nota” técnica; uma avaliação preliminar do projeto, permitindo que ele seja comparado a outros projetos de ecoeficiência que englobam diferentes iniciativas em SMS.

O fator de escala, conforme descrito no item 3.2.2., deve ser inserido no cálculo da efetividade com o objetivo de comparar projetos de escalas distintas. Para isto, devem ser analisados projetos anteriores nos quais houve redução na captação de água, no caso da iniciativa de Recursos Hídricos, para que seja identificada a magnitude do projeto em avaliação em relação a um histórico de realizações da empresa no mesmo quesito. Caso a empresa não tenha experiências passadas com projetos que reduzissem a captação de água em suas unidades, é possível estimar um valor máximo que se pode utilizar para o cálculo do fator de escala, conforme proposto nesta metodologia.

Desta forma, neste exemplo, supondo uma redução na captação em 80m<sup>3</sup>/h e o valor máximo para a redução em 100m<sup>3</sup>/h (dadas limitações de orçamento, tecnologia, entre outros a serem identificados pelos especialistas e pela empresa), tem-se que o fator de escala correspondente é igual a 0,8 e o valor da efetividade deve ser corrigido.

A aplicação do peso<sub>i</sub>, associado à opinião das partes interessadas sobre a iniciativa contemplada no projeto de SMS, é pertinente quando da avaliação de mais de um projeto dentro de uma carteira, para posterior seleção e priorização dos mesmos. A proposta desta metodologia ao incorporar este fator é exatamente auxiliar a tomada de decisão com base nas opções disponíveis e o interesse dos *stakeholders* em investir ou não em determinados aspectos de ecoeficiência. Entretanto, para este exemplo, a

pesquisa de opinião não se torna aplicável, dado que tem-se apenas uma iniciativa em questão (Recursos Hídricos), diferentemente do outro exemplo desta seção, conforme será mostrado em seguida. Logo, neste caso, considerar-se-á o peso igual para as 3 iniciativas ( $\text{peso}_{RH}=1/3$ ).

O cálculo do fator de atualização é tarefa simples, dado que é baseado em conceito já amplamente difundido na tomada de decisão, pois envolve aspectos contábeis e que também interferem no resultado financeiro do investimento. Apresentando dados típicos, tem-se:

- ✓ Taxa de desconto:  $r=10\%$
- ✓ Tempo dispendido desde o início das obras da unidade de reuso até o início de sua operação:  $t=2$  anos
- ✓ Tempo de vida útil da planta:  $n=15$  anos

Observa-se que estas variáveis devem ser as mesmas àquelas adotadas para a preparação do fluxo de caixa e consequente cálculo do custo tangível líquido. Logo:

$$f_{ATUAL} = 6,28602$$

O fator de biodiversidade, conforme apresentado no item 3.2.5., não será calculado para este exemplo, embora tenha sido levantada a real necessidade de se avaliar este quesito para todo e qualquer projeto de ecoeficiência. Para efeito de cálculo, será considerado o fator de biodiversidade o elemento neutro da multiplicação (1). As limitações e dificuldades existentes para a inserção deste fator estão detalhadas no Capítulo 6.

Com os valores obtidos para cada um dos fatores que compõem a efetividade, tem-se como resultado para o projeto de reuso de água, que inicia suas operações daqui a 2 anos, com 15 anos de vida útil, capaz de reduzir a captação de água em 7%, dentre suas outras características:

$$E_T=124,262$$

Nesta segunda parte será apresentado um exemplo de 3 projetos de ecoeficiência em cada uma das 3 iniciativas abordadas nesta metodologia. Os dados de projeto (Tabela 4) devem ser inseridos no programa para o cálculo do ISMS e foi estimado um

cenário para as respostas ao questionário aplicado às partes interessadas (*stakeholders*), conforme proposto no item 3.2.3 (Tabela 5). Os resultados da aplicação da metodologia encontram-se na Tabela 6.

**Tabela 4 – Dados de entrada para o sistema Fuzzy**

	Parâmetros de Entrada e Saída	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
Emissões Atmosféricas	Variação da emissão de material particulado (%)	-50		
	Variação da emissão de NOx (%)	-20		
	Variação da emissão de SOx (%)	-20		
	Variação da emissão de COV (%)	0		
	População exposta	30000		
	Fator de estabilidade	6		
Recursos Hídricos	Lançamento atual de fenol, em mg/L	-	0,9	-
	Lançamento futuro de fenol, em mg/L	-	0,2	-
	Lançamento atual de benzeno, em mg/L	-	0,01	-
	Lançamento futuro de benzeno, em mg/L	-	0,01	-
	Lançamento atual de sulfeto		0,002	
	Lançamento futuro de sulfeto		0,001	
	Lançamento atual de amônia		20	
	Lançamento futuro de amônia		5	
	Lançamento atual de chumbo		0,03	
	Lançamento futuro de chumbo		0,03	
	Lançamento atual de cobre		0,03	
	Lançamento futuro de cobre		0,03	
	Lançamento atual de níquel		0,03	
	Lançamento futuro de níquel		0,03	
	Lançamento atual de mercúrio		0,001	
	Lançamento futuro de mercúrio		0,0005	
	Outros parâmetros: valor atual e valor futuro iguais a zero.	-		-
	Razão entre a vazão de captação de água e a vazão de referência do rio	-	0,95	-
	Estimativa de redução da captação de água (%)	-	10	-
Resíduos Perigosos	Resíduos Perigosos em aterro (%)		-	40
	Resíduos Perigosos para reciclagem (%)		-	70
	Redução na geração de resíduos perigosos (%)		-	2
Dados globais	Custo líquido do investimento	R\$ 60.000.000,00	R\$ 50.000.000,00	R\$ 70.000.000,00
	Tempo até o início de retorno dos benefícios financeiros	3	3	2
	Tempo de vida útil do investimento	15	20	12

**Tabela 5 – Preferência atribuída pelas partes interessadas (*stakeholders*) às diferentes iniciativas em SMS (peso<sub>i</sub>)**

Iniciativa	Stakeholder 1	Stakeholder 2
Recursos Hídricos	0,55	0,2
Emissões Atmosféricas	0,2	0,35
Resíduos Perigosos	0,25	0,45

**Tabela 6 – Resultado da aplicação da metodologia para cálculo da Efetividade de 3 projetos de ecoeficiência considerando a preferência das partes interessadas**

	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
ISMS	93,548	89,342	80,508
$f_{ATUAL}$	5,715	6,396	5,631
Efetividade	534,586	571,465	453,355
Stakeholder 1	106,917	314,306	113,339
Stakeholder 2	187,105	114,293	204,010

Para este exemplo, assim como foi considerado para o caso anterior da ação ecoeficiente em reuso de água, não foi considerada interferência à biodiversidade, logo  $f_{BIO}=1$  e, dada a ausência de um parâmetro base para a definição do fator de escala, o mesmo não foi considerado. Sendo assim, a Efetividade será composta pela multiplicação do ISMS pelo fator de atualização e, quando pertinente, pela opinião de dado *stakeholder*.

Observa-se a partir da Tabela 5 que um projeto de ecoeficiência em Recursos Hídricos será melhor avaliado para o *stakeholder* 1 do que outro que invista em Resíduos Perigosos ou Emissões Atmosféricas. Já na opinião do *stakeholder* 2, ele mostra preferência em escolher, dentro de uma carteira de projetos em diferentes iniciativas de SMS, aquele que investe em Resíduos Perigosos do que outro que considere apenas Emissões Atmosféricas ou Recursos Hídricos. Logo, dependendo do peso atribuído pelas partes interessadas a cada um dos objetivos dos projetos ele pode ser melhor ou pior avaliado, opinião que se traduz na Efetividade, corrigida pelo peso<sub>i</sub>. Neste exemplo, para o *stakeholder* 1 o projeto 2 é melhor avaliado (maior Efetividade) enquanto que o *stakeholder* 2 mostra preferência na escolha do projeto 3. Caso fosse analisada a Efetividade técnica, sem considerar a opinião das partes interessadas, o projeto 2 seria melhor avaliado, seguido pelo 1 e pelo 3.

#### **4.3. Avaliação, Seleção e Priorização de Projetos de ecoeficiência**

O custo-efetividade calculado para um projeto de ecoeficiência é igual à razão entre o seu custo total líquido, definido de acordo com a hipótese considerada, e a efetividade total calculada.

Para o projeto de reuso de água, o indicador custo-efetividade será utilizado apenas para avaliar o projeto, segundo os especialistas. Supondo que a hipótese mais provável seja a consideração do ativo específico no custo da empresa, mais a redução de custos dada a redução na captação (reduz o dispêndio para o tratamento preliminar, primário e secundário equivalente à vazão que deixa de ser captada) e que a bacia na qual a empresa se localiza faz uso do mecanismo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos (hipótese IV) e que, para este caso a empresa teve um custo total líquido de R\$10 milhões para a execução do projeto de reuso de água, tem-se:

$$CE = \frac{R\$10.000.000,00}{124,262} = R\$80.474,90$$

A partir deste resultado, infere-se que a empresa tem um custo de R\$80.474,90 para cada unidade de efetividade alcançada quando do investimento em uma unidade de reuso. Esta afirmação permite que a empresa compare este com outros projetos de ecoeficiência que não uma planta de reuso de água como, por exemplo, o investimento no uso de um conversor catalítico para redução de emissões atmosféricas ou numa nova tecnologia para redução na geração de resíduos perigosos. A identificação de um denominador comum é capaz de auxiliar a tomada de decisão com o objetivo de avaliar, selecionar e priorizar projetos de ecoeficiência.

A fim de ilustrar como a metodologia é capaz de auxiliar a tomada de decisão quanto à seleção de projetos de ecoeficiência, a partir de sua avaliação e priorização utilizando a análise custo-efetividade, aplicou-se a metodologia a 3 projetos hipotéticos que abrangem as 3 diferentes ações em SMS. Ainda, para este caso, foi considerada a opinião das partes interessadas quanto ao investimento, e os resultados estão dispostos na Tabela 7.

**Tabela 7 – Custo-efetividade de 3 projetos de ecoeficiência considerando a preferência das partes interessadas**

	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
ISMS	93,548	89,342	80,508
$f_{ATUAL}$	5,715	6,396	5,631
Efetividade	534,586	571,465	453,355
Custo líquido	R\$ 60.000.000,00	R\$ 70.000.000,00	R\$ 50.000.000,00
Custo-Efetividade	R\$ 112.236,46	R\$ 122.492,23	R\$ 110.288,78
Stakeholder 1	R\$ 561.182,28	R\$ 222.713,15	R\$ 441.155,13
Stakeholder 2	R\$ 320.675,59	R\$ 612.461,16	R\$ 245.086,18

A partir da análise custo-efetividade e considerando apenas o conhecimento técnico dos especialistas, tem-se que o projeto 3 é o melhor avaliado, à frente um pouco apenas dos projetos 2 e 3, cujos indicadores custo-efetividade são muito próximos. Entretanto, ao incluir a opinião das partes interessadas consultadas, tem-se que o

*stakeholder* 1 inclina-se à escolha do projeto 2, enquanto o *stakeholder* 2 preferirá investir no projeto 3.

## **5. DISCUSSÃO**

### **5.1. Análise de sensibilidade**

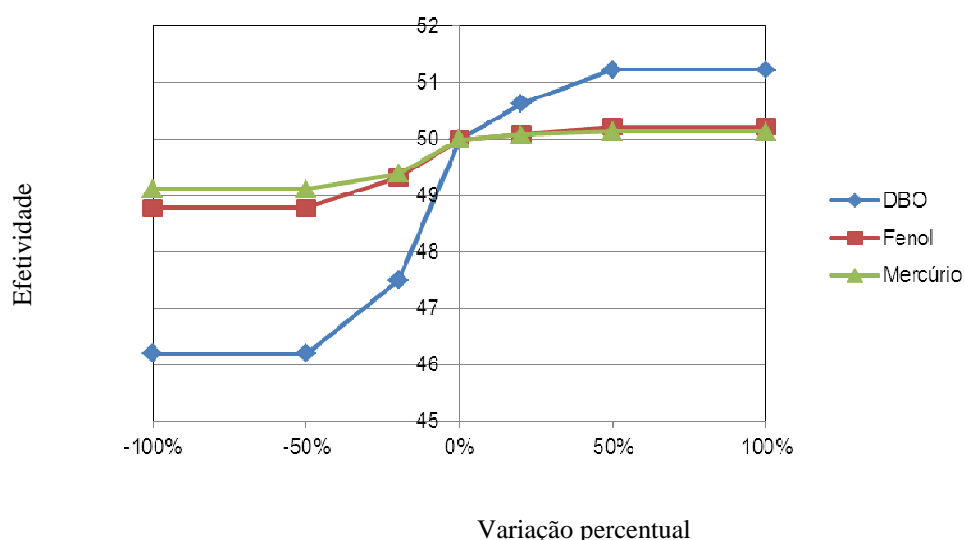
Um importante diferencial da metodologia desenvolvida é a possibilidade de se comparar a efetividade de projetos de ecoeficiência com foco em distintas iniciativas. Isto é, a partir da ferramenta construída com auxílio da Lógica Fuzzy, é possível dizer o quão um projeto que reduz em 20% a geração de resíduos perigosos, em relação a um caso base, é mais efetivo do que outro que reduz em 10% a emissão de material particulado, por exemplo.

Nesta seção apresentar-se-á uma análise de sensibilidade explorando não só como alguns parâmetros são mais ou menos importantes na avaliação dos especialistas em diferentes iniciativas, mas dentro de uma mesma iniciativa de ecoeficiência. A partir de diferentes exemplos de aplicação, variando apenas alguns parâmetros, é possível perceber quanto um projeto é mais efetivo do que outro quando se compara a redução em 20% no lançamento de fenol com a diminuição em 50% no lançamento de DBO, em relação a um caso base, por exemplo.

#### **5.1.1. Lançamento de DBO, fenol e mercúrio**

A Demanda Bioquímica de Oxigênio é um parâmetro importante na avaliação de um projeto em recursos hídricos, pois identifica o nível de lançamento de matéria orgânica no efluente. A DBO reflete a quantidade de matéria orgânica que o corpo hídrico é capaz de absorver, dada a população de microrganismos que realizam digestão aeróbia (que demanda oxigênio). Um efluente com DBO elevada compromete a sobrevivência de outros seres que fazem respiração aeróbia, pois a quantidade de oxigênio dissolvido na água é limitada.

O fenol é um composto químico tóxico e corrosivo. Pode causar efeitos nocivos à saúde, podendo ser fatal se ingerido, inalado ou absorvido pela pele. Já o mercúrio é um metal pesado e pode acarretar em bioacumulação em seres aquáticos que são transferidos ao homem na cadeia alimentar. Optou-se por averiguar a variação do  $ISMS_{RH}$  quando da variação em mais ou menos 100%, 50% e 20% o lançamento destes três parâmetros (Figura 14) – representando os grupos de substâncias não conservativas não tóxicas (DBO), não conservativas tóxicas (fenol) e conservativas tóxicas (mercúrio) – em relação ao caso médio:



**Figura 14: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Recursos Hídricos**

A Figura 14 mostra em 0% o caso médio para um projeto de ecoeficiência em Recursos Hídricos, isto é, quanto ele não interfere na temática proposta e, portanto, tem  $ISMS_{RH}$  igual a 50. As variações positivas e negativas representam, em relação ao caso médio, a redução no lançamento de DBO, fenol e mercúrio. Logo, para uma redução negativa de 100% tem-se o lançamento futuro igual ao dobro do atual; de maneira análoga, a redução em 50% implica no lançamento futuro igual à metade do atual e, a 100%, o lançamento futuro é nulo.

Observa-se que um projeto que cause o aumento no lançamento destas substâncias é avaliado mais negativamente do que outro projeto que cause a redução destes mesmos parâmetros. Ainda, um projeto que reduza a quantidade lançada de DBO na mesma proporção que outro que diminua fenol ou mercúrio é melhor avaliado. Este tipo de resultado permite afirmar que, na opinião do especialista, um projeto de ecoeficiência que reduza o lançamento de DBO é melhor do que a redução de fenol ou mercúrio, na mesma proporção. Infere-se que, pela expertise do sistema especialista, é mais provável que o efluente contenha alta DBO do que o mesmo efluente apresente alto teor de fenol ou mercúrio; por isto a preocupação maior em considerar este poluente, embora os efeitos colaterais na saúde do homem sejam menos graves.



### 5.1.2. Resíduos para Reciclagem e Redução na Geração de Resíduos Perigosos

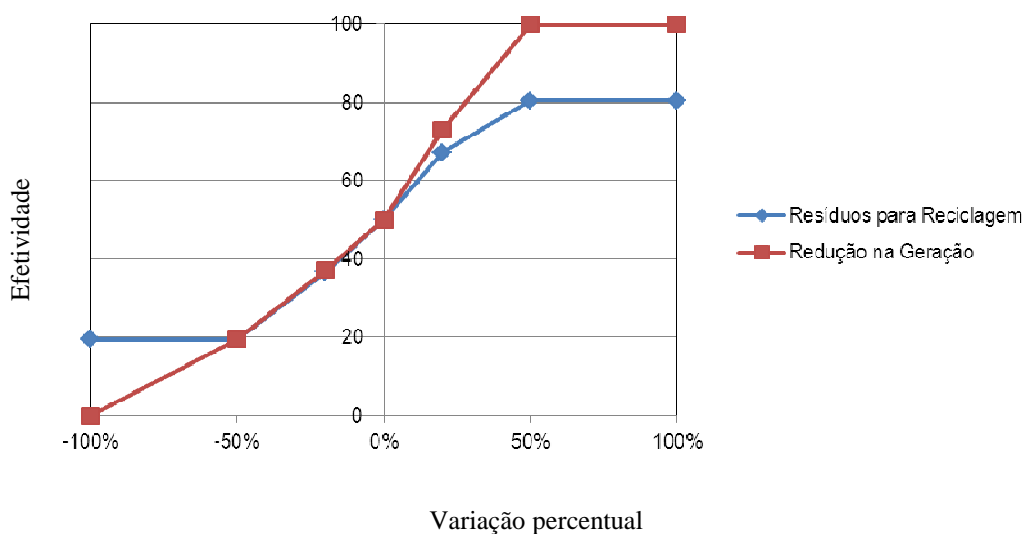
Resíduos de qualquer natureza devem ter disposição adequada, mas um cuidado maior é requerido quando se trata de resíduos considerados perigosos. São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS; L12305/2010), dentre outros:

*“V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;*

*VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;”*

*Capítulo 2, Art.7º*

Aqui optou-se por avaliar como a variação no percentual de resíduos perigosos enviados para reciclagem altera o  $ISMS_{\text{RESÍDUOS}}$  calculado, em relação à redução na geração de resíduos perigosos (Figura 15):



**Figura 15: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Resíduos Perigosos**

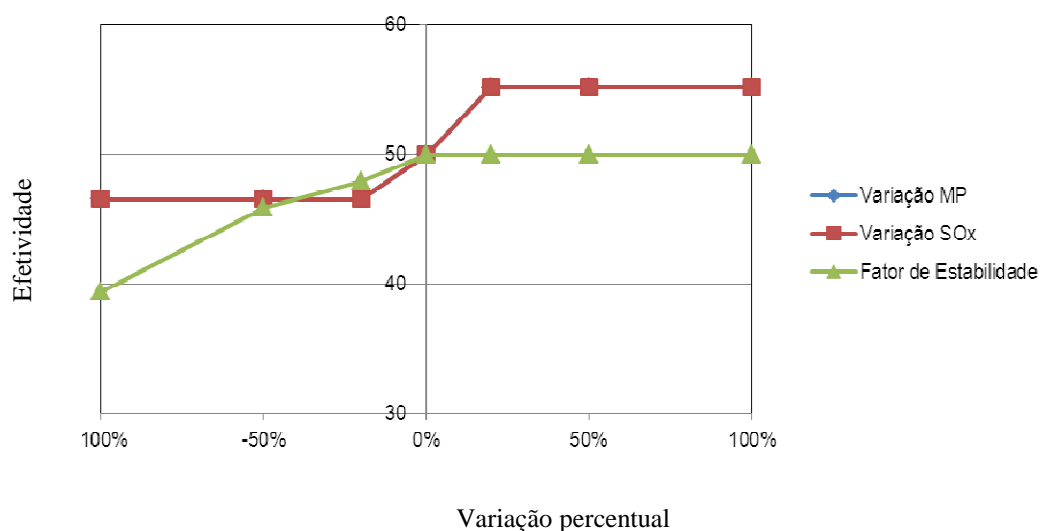
É possível observar que a redução na geração de resíduos perigosos interfere mais fortemente no resultado do  $ISMS_{\text{RESÍDUOS}}$ , quando comparado à reciclagem. Ainda, um projeto que considere o dobro do percentual no aumento da geração, em relação ao caso médio, tem índice nulo, o que também anula a efetividade e o projeto é excluído da carteira. Mesmo que o projeto seja capaz de enviar 100% de seus resíduos perigosos

para reciclagem, mas sem que haja redução na geração, não é considerado interessante pelos especialistas e será descartado. Isto é, para os especialistas da empresa e da academia, um projeto de ecoeficiência em Resíduos Perigosos que não contemple a redução na geração deste tipo de resíduo não deve ser incluído na carteira de possíveis investimentos em SMS.

### 5.1.3. Variação de Material Particulado, SOx e Fator de Estabilidade

As partículas sólidas ou líquidas emitidas por fontes de poluição do ar ou mesmo aquelas formadas na atmosfera são denominadas de material particulado (ALMEIDA, 1999), que podem causar danos às vias respiratórias, inclusive carreando gases adsorvidos em sua superfície (BRAGA *et al.*, n.d.). Óxidos de enxofre são compostos corrosivos e podem também causar irritação nas vias respiratórias, além de danos a equipamentos.

O Fator de Estabilidade, conforme descrito no item B ANEXO I, corresponde ao nível de dispersão dos poluentes na atmosfera e, por sua vez, depende das características do local. A Figura 16 ilustra como estes três fatores variam<sup>9</sup>, mantidos os demais constantes:



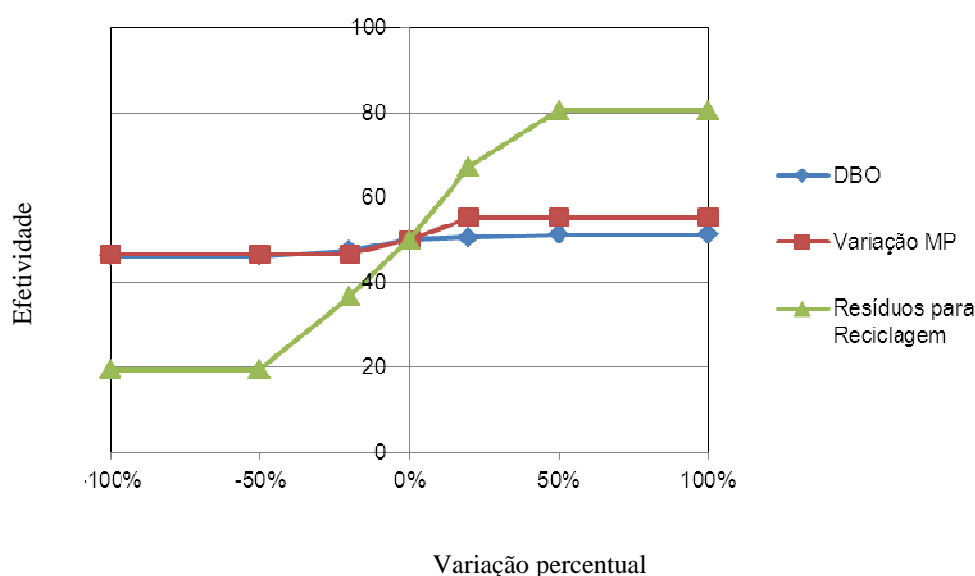
**Figura 16: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em Emissões Atmosféricas**

<sup>9</sup> Para este exemplo as curvas de *Variação de SOx* e *Variação de MP* coincidiram, por isto apenas uma delas aparece no gráfico.

Assim como realizado nos demais casos, as variações foram feitas sobre o caso médio para cada uma das iniciativas. Para variações (positivas ou negativas) acima de 20% tanto para MP quanto para SOx, o  $ISMS_{EMISSIONES}$  não se altera, diferentemente do que ocorre para o Fator de Estabilidade. Quanto menor o fator, menor o  $ISMS_{EMISSIONES}$  e pior será o projeto em sua avaliação. Entretanto, mantidos os valores médios e para locais com Fator de Estabilidade maior do que 5, o  $ISMS_{EMISSIONES}$  não se altera e a efetividade será a mesma para estes projetos.

#### 5.1.4. DBO, Resíduos para Reciclagem e Variação de MP: comparando diversas iniciativas em ecoeficiência

A Figura 17 mostra como a variação de diversos parâmetros de SMS alteram o ISMS, na mesma proporção:



**Figura 17: Análise de sensibilidade para efetividade de projetos de ecoeficiência em diferentes iniciativas**

Nota-se que, de acordo com os especialistas, um projeto que aumenta em 50% a quantidade de resíduos perigosos enviados para reciclagem é muito melhor avaliado do que outro que reduz a emissão de MP na mesma proporção, ou ainda outro que reduz o lançamento de DBO em 50%. Da mesma forma, um projeto que reduza à metade o envio de resíduos para reciclagem é considerado pior do que outro que aumenta em 50% a variação de MP ou o lançamento de DBO.

A partir destas afirmações é possível inferir que a questão da disposição adequada de resíduos perigosos é mais relevante do que a emissão de poluentes atmosféricos ou o lançamento de matéria orgânica. Contudo, ressalta-se que a efetividade total dos projetos avaliados ainda leva em consideração outros parâmetros, como dados de projeto e a opinião de *stakeholders*, o que pode modificar esta posição.

## **5.2. Validade da metodologia**

A presente metodologia foi construída com base no conhecimento de especialistas da empresa e do LIMA/COPPE, considerando padrões e demais requisitos exigidos na legislação brasileira, quando aplicável. É importante ressaltar que a base de informação utilizada foi fornecida por meio da experiência adquirida por seres humanos, de modo que há aspectos intrínsecos de juízo de valor associado ao que é considerado mais ou menos importante, e em que grau. Entretanto, para o interesse da empresa, a metodologia foi considerada suficiente para se avaliar os projetos de ecoeficiência aos quais ela se propõe a investir.

A partir dos dados utilizados no desenvolvimento da metodologia e a avaliação do contexto na qual está inserida, a metodologia é válida para verificar o desempenho de projetos de ecoeficiência que considerem:

- ✓ Diversas substâncias químicas geralmente encontradas em efluentes industriais, dentre substâncias não conservativas não tóxicas, não conservativas tóxicas e conservativas tóxicas;
- ✓ Poluentes atmosféricos comuns e com efeito conhecido sobre a saúde humana;
- ✓ Condições de dispersão de poluentes na atmosfera e população atingida;
- ✓ Tratamento e disposição de resíduos perigosos;
- ✓ A preferência de diversas partes interessadas em relação ao investimento nas 3 ações de SMS contempladas nesta metodologia.

A Lógica Fuzzy permite a transposição de variáveis linguísticas em numéricas, tornando possível avaliar quantitativamente alterações qualitativas proporcionadas pelo investimento em um projeto ecoeficiente. Em outras palavras, admite que aspectos de difícil mensuração, como o conhecimento de especialistas, sejam capturados e

transformados em números, na forma de graus de pertinência associados a diversos conjuntos linguísticos. Este tipo de processo contribui para a sistematização da informação, tanto proveniente dos especialistas quanto relativas ao contexto no qual a empresa está inserida.

Além dos aspectos técnicos considerados para o cálculo do ISMS, a metodologia proposta permite incluir o porte do projeto, sendo que o valor absoluto de uma variável representativa da iniciativa contemplada pelo projeto é capaz de interferir na sua efetividade. A avaliação puramente técnica dos parâmetros é realizada de modo comparativo, utilizando variações percentuais. A consideração de um fator de escala possibilita a visão mais próxima da realidade dos benefícios do projeto. Ainda, a inclusão da opinião de partes interessadas auxilia a tomada de decisão de acordo com a preferência dos *stakeholders* em conformidade com a estratégia da empresa.

### **5.3. Limitações**

Um resultado importante da pesquisa concerne às limitações da metodologia proposta, pois permite que ela seja futuramente aprimorada e a identificação de eventuais falhas evita que projetos de ecoeficiência sejam mal avaliados. Observa-se que, por exemplo, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), como o CO<sub>2</sub>, apesar de serem considerados parâmetros importantes pelos especialistas, não foram incluídos no algoritmo da metodologia devido à dificuldade de se obter a informação que alimentaria o cálculo do ISMS<sub>EMISSIONES</sub>. De forma similar foi apenas considerada a gestão de resíduos perigosos para o cálculo do ISMS<sub>RESIDUOS</sub>, evidenciando a necessidade de se dispor de um banco de dados confiável e unificado em todas as unidades da empresa.

Outra limitação levantada nesta metodologia se refere à preocupação com a interferência das diversas atividades associadas aos projetos de ecoeficiência na biodiversidade. Desta forma, a inserção de um fator de biodiversidade ao cálculo da efetividade foi apenas sinalizada, dada a dificuldade de valoração, subjetividade envolvida, ausência de métrica e falta de informação (bancos de dados sobre a diversidade biológica), porém sem esquecer a importância de se avaliar o efeito – negativo ou positivo – de projetos de ecoeficiência sobre a biodiversidade. Atualmente dispõe-se de diversos métodos para valoração econômica de recursos naturais, dadas determinadas considerações, mas não para a valoração econômica da biodiversidade. O

maior estudo sobre o assunto, o TEEB, busca uma forma de atribuir valor à diversidade biológica, dado o grau de comprometimento das espécies e a sobrevivência no planeta Terra, dependente do equilíbrio ecológico. Mesmo com diversas metodologias, algumas consolidadas em lei (como o D6848/09), possuem suas limitações e dificuldades, de modo que a procura por uma moeda de troca pela conservação da biodiversidade se mantém, e cada vez mais urgente.

É importante ressaltar que o objetivo inicial da metodologia consistia na valoração dos custos e benefícios tangíveis e intangíveis proporcionados por meio do investimento em projetos de ecoeficiência. Entretanto, verificou-se que a atribuição de valor monetário aos aspectos intangíveis não é trivial e, portanto, optou-se por mensurar o desempenho de tais projetos mantendo a tentativa de incorporar benefícios intangíveis que se pode atingir com este tipo de investimento. O alto nível de subjetividade e incerteza associados à mensuração do intangível implica em limitações à metodologia proposta, a qual deve ser constantemente atualizada conforme os interesses da empresa e dos *stakeholders*, o conhecimento acumulado de especialistas e a conjuntura na qual a empresa está inserida.

A incorporação de aspectos intangíveis na avaliação de projetos de ecoeficiência encontrou uma gama diversa e extensa de dificuldades atreladas à atribuição de valor monetário aos ganhos (ou perdas) que a empresa poderia atingir a partir da execução de projetos desta natureza. A questão da imagem e reputação da empresa, além do capital intelectual adquirido e aperfeiçoado quando da iniciativa de se investir em SMS, são pontos sobre os quais atualmente o mercado detém forte interesse. Na era da informação, são estes aspectos intangíveis que mais agregam valor à empresa e sua marca.

#### **5.4. Potencial e Perspectivas**

Um ganho importante observado com esta metodologia é em relação à sistematização do conhecimento de especialistas em aspectos de SMS. A consulta a bancos de dados, padrões definidos em lei para gestão de recursos naturais, normas e diretrizes de sustentabilidade, histórico da empresa e expertise de funcionários e comunidade acadêmica pode ser inserido num sistema especialista, como a Lógica Fuzzy, construindo um sistema de informação unificado para a empresa.

A utilização da Lógica Fuzzy se configura como um instrumento capaz de capturar a expertise de especialistas (capital intelectual) e o emprego do indicador custo-efetividade, conforme proposto nesta metodologia, permite considerar a opinião de *stakeholders* (que reflete na imagem e reputação da empresa, auxiliando a tomada de decisão). Entretanto, para a inclusão deste último fator, ainda não se dispõe de procedimento sistematizado para deter este tipo de informação e incorporá-la a um indicador. A proposição de se utilizar um questionário para obtenção da preferência das partes interessadas sobre as opções de projetos de ecoeficiência em uma carteira pode ser eficiente na medida em que evidencia a hierarquização entre eles, embora não fique claro em que grau. A partir de um questionário mais elaborado, ou mesmo aplicando-se a Lógica Fuzzy para as respostas obtidas (como mensurar a afirmação de que “investir num projeto para a redução da emissão de SO<sub>x</sub> é muito importante”? E quão mais ou menos importante seria investir em recursos hídricos?), é possível chegar a um valor mais próximo à realidade, de acordo com os *stakeholders* consultados.

Embora tenha sido levantada a preocupação e evidenciada a necessidade de se verificar o impacto de distintos projetos de ecoeficiência sobre a biodiversidade, no escopo desta pesquisa não houve a proposição de um índice para sua mensuração. Sugere-se, portanto, que seja feito um estudo mais intensivo com relação à valoração da biodiversidade ou outros procedimentos de avaliação de impacto à diversidade biológica, considerando a informação disponível e buscando a unificação e expansão das bases de dados nacionais.

Como recomendações futuras, sugere-se o desenvolvimento de um programa computacional integrado a um banco de dados e com uma interface amigável. Este programa se tornaria uma poderosa ferramenta no auxílio à tomada de decisões. A metodologia em si e os cálculos matemáticos necessários seriam totalmente invisíveis aos usuários, porém permitindo a edição, por usuários devidamente autorizados para tal.

Ademais, após o desenvolvimento do programa computacional, é possível e indicada a introdução de outros critérios que não puderam ser incorporados neste estudo, por diferentes motivos, visando aumentar a robustez da mensuração do custo-efetividade dos projetos analisados por meio desta metodologia. A ferramenta que se constrói a partir da metodologia proposta é continuamente dinâmica, já que é possível incorporar às redes outras variáveis, assim como incluir outras iniciativas em SMS além

da ecoeficiência (saúde, segurança, eficiência energética), desde que seja possível mensurá-las e relacioná-las com o objetivo pretendido.



## 6. CONCLUSÃO

A metodologia de valoração para avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência aqui apresentada permite visualizar benefícios econômicos tangíveis e intangíveis oriundos desses projetos, além de melhorias ambientais.

A valoração dos custos e benefícios tangíveis segue os princípios de análise custo-benefício de projeto, na qual hipóteses são formuladas considerando custos e benefícios esperados reais e potenciais. A metodologia também propõe que seja realizada uma avaliação do fluxo de entradas e saídas planejadas para o projeto, de modo que seja possível analisar os custos evitados efetivos (tais como economia de energia, mão de obra e outros, que não são normalmente considerados ao longo do mesmo), custos evitados potenciais (como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos que deixaria de ocorrer, caso aplicável) e benefícios potenciais (como a receita provinda da venda de um excedente de água).

O procedimento para mensuração da efetividade busca ampliar a visão do tomador de decisão em relação ao retorno dos investimentos em projetos de ecoeficiência, uma vez que gera resultados não captados na valoração dos custos e benefícios tangíveis e que podem ser decisivos na realização ou não de um investimento.

A valoração dos benefícios provenientes de ações empresariais em ecoeficiência, traduzidos pela efetividade de tais projetos, é um processo bastante subjetivo, e envolve variáveis qualitativas e quantitativas, imprecisas, cujas técnicas tradicionais normalmente não conseguem captar com precisão. Desse modo, a Lógica Fuzzy apresenta-se como ferramental matemático adequado para lidar com estas variáveis, permitindo a captura de benefícios intangíveis de ações em SMS.

A Lógica Fuzzy permite lidar com informações complexas e com certo grau de incerteza, dado o juízo de valor humano e suas diferentes interpretações. Ela permite a tradução de conceitos difusos em indicadores mais facilmente perceptíveis aos tomadores de decisão, aos *stakeholders* e ao público em geral, dado que contribui para a elaboração de um índice que permite a mensuração do desempenho de projetos de ecoeficiência e, desta forma, auxiliar a tomada de decisão.

Desta forma, foi construído um índice para cada uma das três iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência ( $ISMS_{RH}$ ,  $ISMS_{RESÍDUOS}$ ,  $ISMS_{EMISSIONES}$ ). Este índice reflete o conhecimento e a opinião dos especialistas consultados na criação desse modelo, contribuindo para a hierarquização e sistematização da informação e do conhecimento a nível empresarial, que será importante para priorizar ações em SMS.

Também é importante levar em consideração o porte do projeto, para que seja possível comparar projetos de diferentes dimensões. Para tanto, faz-se necessária a utilização de um fator de escala, baseado também na opinião dos especialistas de cada área.

Adicionalmente, observou-se a importância de avaliar o tempo no qual os benefícios do projeto são atingidos, de modo a corrigir o valor calculado pelo programa desenvolvido. Esta correção é feita com base no valor presente do investimento, levando em consideração o tempo de vida útil do projeto e o tempo em que se inicia o retorno dos benefícios do mesmo.

Em resumo, para que seja possível essa comparação entre projetos de ecoeficiência, a metodologia prevê a determinação de dois fatores referentes a cada uma das iniciativas: um de escala e outro de atualização para tempo presente. Ainda, optou-se pela determinação de um terceiro fator (de biodiversidade) para avaliar a efetividade, devido à impossibilidade de se medir o desempenho de projetos de ecoeficiência em relação à diversidade biológica. Esses fatores operam sobre o índice técnico (ISMS), obtendo-se então um índice que reflete a efetividade do projeto como um todo.

Ademais, propõe-se que este índice deve incorporar, além da informação técnica (a partir do ISMS e os três fatores supracitados), a opinião comparativa das partes interessadas sobre as iniciativas consideradas por meio da aplicação de questionários. Sendo assim, esta metodologia incorpora a preferência de partes interessadas em relação às iniciativas contempladas pela metodologia, fornecendo um índice de efetividade referente a cada parte interessada. Esta informação adicional, em conjunto com o custo-efetividade, permite que melhores decisões sejam tomadas.

A partir dos itens que se propõe considerar no indicador custo-efetividade, é possível traçar estratégias corporativas ao inserir a referida análise no procedimento de SGA da empresa. Este tipo de análise pode contribuir para a melhoria da gestão

ambiental empresarial e adoção de políticas de ecoeficiência, auxiliando a decisão de se investir em projetos desta natureza por meio da avaliação, seleção e priorização de projetos de ecoeficiência dentro de uma carteira.

Trata-se de uma ferramenta que permite avaliar custos e benefícios econômicos tangíveis e intangíveis de projetos de ecoeficiência, considerando os impactos que ações empresariais em SMS são capazes de ocasionar ao meio ambiente. Adicionalmente, ela contribui para que diferentes tipos de iniciativas de SMS com foco em ecoeficiência sejam comparáveis por meio de índices pré-definidos. Apresenta o resultado monetário (custos e benefícios do empreendimento), que é o índice de custo/benefício tangível, o índice de mensuração da efetividade, cujo resultado não corresponde a um valor monetário e o índice de custo-efetividade, que fornece um resultado a partir da relação entre os dois anteriores e pode contribuir, portanto, para a hierarquização de projetos de ecoeficiência dentre diversas opções e, desta forma orientar o tomador de decisão pela realização ou não do investimento.

No entanto, a seleção de projetos será aplicada segundo critérios definidos pela própria empresa. Convém ressaltar ainda que os resultados da aplicação desta metodologia não devem ser tratados como parâmetro exclusivo de seleção. Devem, portanto, ser analisados em conjunto com os demais critérios estabelecidos pela empresa.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Ivo Torres de. 1999. *A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Minas. São Paulo, SP: USP.
- ALMEIDA FILHO, A., 2003. *Priorização de investimentos em sistemas de distribuição de energia elétrica em baixa tensão*. Dissertação de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia. Salvador, BA: UNIFACS.
- AMARAL, Sergio Pinto, 2003. *Estabelecimento de Indicadores e Modelo de Relatório de Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica: Uma Proposta para a Indústria de Petróleo Brasileira*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/PPE.
- ANGULO, Cecilio *et al.*, 2012. “Fuzzy expert system for the detection of episodes of poor water quality through continuous measurement”. *Expert Systems with Applications* 39, pp. 1011-1020.
- ASSUNÇÃO, Amanda Borges de Albuquerque, SOUSA E SILVA, Geiza, MELO E SILVA, Neuza de Lima Raimundo de, LIMA, Clenilson Siqueira Felinto de. “Ativo Intangível: Goodwill ou Capital Intelectual”. *2º Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade*, 2005.
- AZADEH, A., FAM, I.M., KHOHNOUD, M. NIKAFROUZ, M., 2008. “Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery”. *Information Sciences* 178, pp. 4280–4300.
- BARATA, Martha Macedo de Lima, 2001. *Um roteiro para apropriação de custos ambientais na avaliação do desempenho econômico das empresas*. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/PPE.
- BCSD, 1993. *Internalizing Environmental Costs to Promote Eco-Efficiency – Draft Task Force Report*.

BRAGA, A., PEREIRA, L.A.A., SALDIVA, P.H.N. “Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana” Faculdade de Medicina da USP.

BRASIL, Lei nº8.617, de 4 de janeiro de 1993. Dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros, e dá outras providências.

BRASIL, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL, Lei nº9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRASIL, Decreto nº4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e dá outras providências.

BRASIL, Decreto nº 6.848, de 14 de maio de 2009. Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, para regulamentar a compensação ambiental.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CAMARGOS, Fernando Laudares, 2002. “Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada”. *Departamento de Informática e Estatística (UFSC)*.

CANTARINO, A.A.A., BARATA, M.M.L., LA ROVERE, E.L., 2007. “Indicadores de Sustentabilidade Empresarial e Gestão Estratégica”. *Pensamento Contemporâneo em Administração (RPCA)* Rio de Janeiro, v.1, nº1, set/dez. pp. 87-98.

- CARR, Chris, KOLEHMAINEN, Katja, MITCHELL, Falconer, 2010. “Strategic investment decision making practices: A contextual approach”. *Management Accounting Research* 21, pp. 167-184.
- CNTL. 1998. *Centro Nacional de Tecnologias Limpas: Resultados do Programa*. RS.
- CONAMA, 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.
- CONAMA, Resolução nº 393, de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.
- CONAMA, Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.
- DUIJM, Nijs Jan *et al.*, 2008. “Management of health, safety and environment in process industry”. *Safety Science* 46, pp. 908-920.
- EPA, 1996. *Environmental Accounting Case Studies: Full Cost Accounting for Decision Making at Ontario Hidro*. EPA742-R-95-004, Washington, EUA.
- EPA, 1997. *Environmental Cost Accounting for Chemical & Oil Companies: A Benchmarking Study*. EPA742-R-97-004, Washington, EUA.
- EPA, 2000. *The Lean and Green Supply Chain: A Practical Guide for Materials Managers and Supply Chain Managers to Reduce Costs and Improve Environmental Performance*. EUA (jan).
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. 2012. *Balanço Energético Nacional 2012 – Resultados Preliminares ano base 2011*.
- GARCIA, K.C. & LA ROVERE, E.L., 2011. *Petróleo: acidentes ambientais e riscos à Biodiversidade*. Rio de Janeiro: Interciência.

- GARCIA, K.C. & TEIXEIRA, M.G., 2005. “Lógica Nebulosa como ferramenta de modelagem do processo de tomada de decisão do nível de resposta aos acidentes de E&P offshore de petróleo no Brasil” In: *Anais do 5º Seminário Sobre Meio Ambiente Marinho – SOBENA* – Rio de Janeiro, RJ.
- GARCIA, K.C., TEIXEIRA, M.G., ALVES, C.C., ALVES, R.N., 2007. “Concepção de um modelo matemático de avaliação de projetos de responsabilidade social empresarial (RSE)”, *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 14, n. 3, set/dez., pp. 535-544.
- HELMINEN, R. may-june/2000. “Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of Finnish and Swedish pulp and paper industry”. *Business strategy and the environment*, ABI/INFORM Global, v. 9, n. 3, p. 196.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2002. *Modelo de Valoração Econômica dos Impactos Ambientais em Unidades de Conservação: Empreendimentos de Comunicação, Rede Elétrica e Dutos. Estudo Preliminar*. Brasil.
- IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2005. *Metodologia de cálculo do grau de impacto ambiental de empreendimentos terrestres*. Relatório Final do Grupo de Trabalho (Junho).
- ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2011. *Atlas da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção em Unidades de Conservação Federais*. Brasília.
- KAYO, Eduardo Kazuo, 2002. *A Estrutura de Capital e o Risco das Empresas Tangível e Intangível-Intensivas: uma contribuição ao estudo da Valoração de Empresas*. Tese de Doutorado. São Paulo: FEA/USP.
- LA ROVERE, E.L. *et al.*, 2010. “Sustainable expansion of electricity sector: Sustainability indicators as an instrument to support decision making”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, pp. 422-429.
- LAURANS, Yann, LEMÉNAGER, Tiphaine, AOUBID, Schéhérazade, 2011. “Les paiements pour services environnementaux: De la théorie à la mise en œuvre, quelles perspectives dans les pays en développement?” *À savoir* n°7.

- LIMA/COPPE. Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente, PPE/COPPE/UFRJ. Relatório confidencial. Não disponível para consulta pública
- LINHARD, J.B., 2005 . “Understanding the return on health, safety and environmental investments”. *Journal of Safety Research - ECON proceedings* 36, pp. 257 – 260.
- MAMDANI, Ebrahim H. 1977. “Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis” *IEEE Transactions in Computers* Vol. C26, n°12, pp 1182-1191.
- MARTIN-ORTEGA, J. & BALANA, B.B., 2012. “Cost-effectiveness analysis in the implementation of the Water Framework Directive: A comparative analysis of the United Kingdom and Spain”. *European Water* 37, pp. 15-25.
- MARTINS, F. G.; COELHO, L. S. jan-mar/2012. “Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias”. *GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, Ano 7, n° 1, pp. 65-80.
- MIRI LAVASANI, M.R., WANG, J., YANG, Z., FINLAY, J., 2011. “Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines” *Int. J. Mar. Sci. Eng.*, 1(1), pp. 29-42.
- MOHAMED, A. M. O.; CÔTÉ, K., 1999. “Decision analysis of polluted sites – a Fuzzy set approach”. *Waste Management*. United Kingdom: Pergamon, v. 19, n. 7, pp. 519-533.
- NEVES, C.; NEVES, M. S. 2003. “Proposta Metodológica para Seleção e Hierarquização de Projetos de Saneamento”. In: *X SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, Bauru: UNESP, p. 1-10.
- OLIVEIRA JR, H.A., 1999. *Lógica Difusa – Aspectos práticos e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência.
- ORBACH, Thomas, LIEDTKE, Christa. 1998. “Eco-management Accounting in Germany – Concepts and Practical Implementation”, *final Report for the Project*



*Management Accounting and Environmental Management: Towards the Sustainable Enterprise, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.*

PEREIRA, Luiz Felipe Ramos, 2005. *Aspectos Conceituais da Ecoeficiência no contexto do Desenvolvimento Sustentável*. Dissertação de mestrado profissional em Sistemas de Gestão. Niterói: UFF.

PEREIRA, Adriane Alice, 2007. “O tripé da sustentabilidade”. *Revista LOCUS*, (setembro) pp. 38-41.

SAATY, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.

SAATY, T.L., 1988. *Multicriteria Decision-Making: The Analytic Hierarchy Process*, University of Pittsburgh (Pittsburgh, PA).

SADIQ, R., 2001. *Drilling waste discharges in the marine environment: a risk based decision methodology*. Ph.D. Thesis. Memorial University of Newfoundland (Newfoundland, Canada).

SALGADO, Vivian Gullo. 2004. *Proposta de Indicadores de Ecoeficiência para o Transporte de Gás Natural*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

SALIBA, Gustavo Coutinho, 2009. *Priorização de Projetos em Petroquímica: Análise Multicritério pelo Método Todim*. Dissertação de mestrado profissionalizante em Administração. Rio de Janeiro: IBMEC.

SANTOS, R. S., 2005. *A gestão ambiental em posto revendedor de combustível – um instrumento para prevenção de passivo ambiental*. Rio de Janeiro: LATEC/UFF.

SANTOS, J. L., 2002. “Ativos intangíveis”. *ConTexto*, Porto Alegre, v. 2, n. 2, 1º semestre. ISSN (Online): 2175-8751.

SCHMIDHEINY, S. jul/1996. “Eco-efficiency and sustainable development”. *Risk Management*, ABI/INFORM Global, v. 43, n. 7, p. 51.

- SCHMIDT-BLEEK, Friedrich, LIEDTKLE, Christa, 1995. *Key Words in Environmental Policy*. Wuppertal Institut.
- SICOLY, Fiore, 1989. “Computer-Aided Decisions in Human Services: Expert Systems and Multivariate Models”. *Computers in Human Behaviour*, vol. 5, pp. 47-60.
- SILVA, N. V. S.; NASCIMENTO, R. Q.; SILVA, T. C., 2008. “Modelo de Priorização de Investimentos em Saneamento Básico utilizando Programação Linear com base em Indicadores Ambientais”. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol.13 - Nº 2 (abr/jun), pp. 171-180.
- SILVERMAN, Barry G. 1991. “Expert critics: operationalizing the judgement/decisionmaking literature as a theory of ‘bugs’ and repair strategies”. *Knowledge Acquisition* 3, pp. 175-214.
- TEEB, A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade. *Relatório para o Setor de Negócios – Sumário Executivo* 01-07-2010.
- TOLMASQUIM, M.T., SEROA DA MOTTA, R., LA ROVERE E. L., MONTEIRO, A.G., BARATA, M.M.L. 2000. *Metodologias de Valoração de Danos Ambientais Causados pelo Setor Elétrico*. Rio de Janeiro: PPE/COPPE/UFRJ.
- UNCTAD, 2000. *Environmental Accounting and Financial Reporting Training Manual*, Rio de Janeiro.
- VELLANI, C. L., RIBEIRO, M. S., jan/2009. “Sistema contábil para gestão da ecoeficiência empresarial”. *Revista Contabilidade & Finanças* v. 20, n. 49, p. 25-43.
- VIEIRA, Cynthia Wanick. 2010. *Tratamento de água para reuso em refinaria: eletrodíálise reversa e osmose inversa*. Projeto de Final de Curso em Engenharia Química. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ/EQ.
- VINHA, Valéria Gonçalves da. 2002. “Estratégias Empresariais e a Gestão do Social: o diálogo com os Grupos de Interesse (Stakeholder)”. In: *IX Congresso Brasileiro de Energia*.

- WANICK, C.V., CARVALHO, P.N., SOUSA, D.S., TEIXEIRA, M.G., BARATA, M.M.L., LA ROVERE, E.L. 2012. “Análise econômica e ambiental de projetos de ecoeficiência” In: *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Energia*, v.2, pp. 431-442, Rio de Janeiro, Out.
- WBCSD, The World Business Council for Sustainable Development. 1996. *Eco-efficiency Leadership for Improved Economic and Environmental Performance*. Geneva: WBCSD.
- YANG, Ming, KHAN, Faisal I., SADIQ, Rehan. 2011. “Prioritization of environmental issues in offshore oil and gas operations: A hybrid approach using fuzzy inference system and fuzzy analytic hierarchy process” *Process Safety and Environmental Protection* 89, pp. 22-34.
- YEN, John, 1998. *Fuzzy Logic – Intelligence, Control and Information*. Prentice Hall.
- ZADEH, L. A., 1965. “Fuzzy Sets”. *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353.

## 8. ANEXOS

### ANEXO I – DETERMINAÇÃO DO ISMS

#### A. Determinação do ISMS<sub>RESÍDUOS</sub>

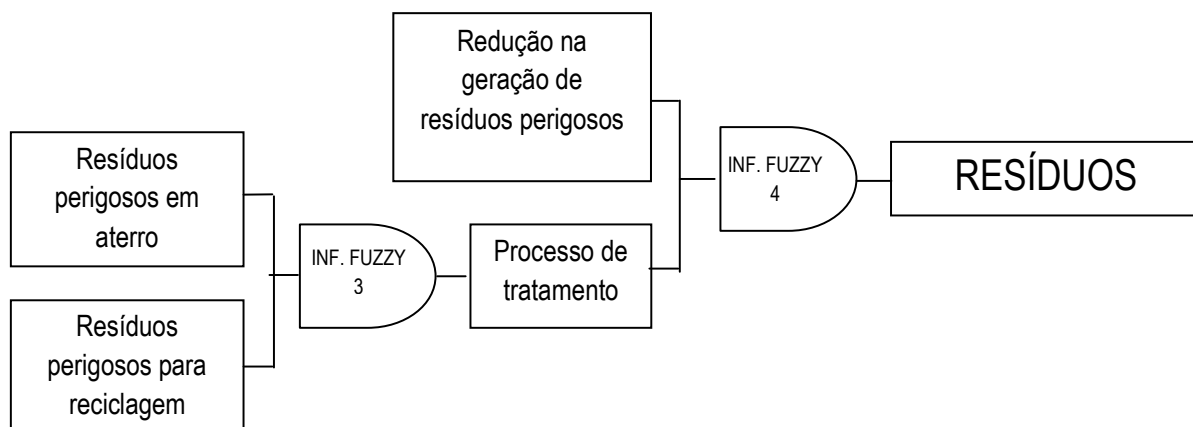
No caso da iniciativa de Resíduos ressalta-se que, à época da construção desta rede e, de acordo com o que foi considerado mais relevante para os especialistas da empresa na iniciativa de Resíduos e dados disponíveis, apenas foi considerada a geração e descarte de resíduos perigosos<sup>10</sup>. Para a definição das variáveis de entrada, ou seja, dos critérios do problema de tomada de decisão, foram efetuadas diversas reuniões do grupo de pesquisa com especialistas na temática de Resíduos. Depois de atingido o consenso, as variáveis foram validadas pelos mesmos e estão representadas na Tabela A. Nesta tabela, a coluna da direita apresenta os parâmetros que definem as funções de pertinência criadas (item B, ANEXO II). A árvore hierárquica de decisão foi definida como mostrado na Figura A.

**Tabela A – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RESÍDUOS**

VARIÁVEL	TIPO	DOMÍNIO	TERMOS LINGÜÍSTICOS	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA	PARÂMETROS
Resíduos perigosos em aterro (%)	Entrada	[0, 100]	Ótimo Bom Médio Ruim Péssimo	Linear (triangular e trapezoidal)	a= -1, b=0, c=5 a=0, b=5, c=10 a=5, b=10, c=15 a=10, b=15, c=20 a=15, b=20, c=100, d=101
Resíduos perigosos para reciclagem (%)	Entrada	[0, 100]	Péssimo Ruim Médio Bom Ótimo	Linear (triangular e trapezoidal)	a= -1, b=0, c=15 a=0, b=15, c=30 a=15, b=30, c=40 a=30, b=40, c=50 a=40, b=50, c=100, d=101
Processo de tratamento	Auxiliar	[0, 100]	Péssimo Ruim Médio Bom Ótimo		
Redução da geração de resíduos perigosos (%)	Entrada	[0, 100]	Péssimo Ruim Médio Bom Ótimo	Linear (triangular e trapezoidal)	a= -1, b=0, c=1 a=0, b=1, c=2 a=1, b=2, c=2.5 a=2, b=2.5, c=3 a=2.5, b=3, c=100, d=101

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

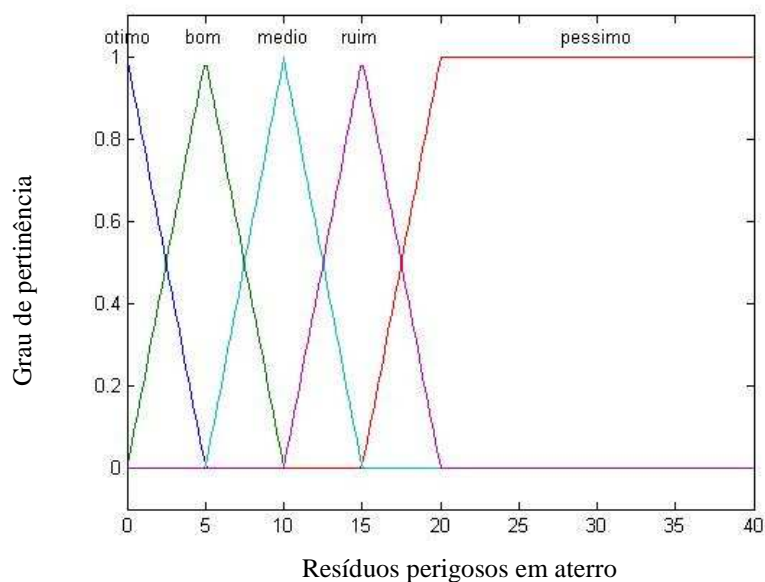
<sup>10</sup> “(...) aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica” (L12305/10).



**Figura A – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice RESÍDUOS**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Os conjuntos fuzzy para a variável *Resíduos perigosos em aterro* foram definidos, baseando-se no conhecimento de especialistas da empresa, como Péssimo, Ruim, Médio, Bom e Ótimo, cujas funções são mostradas na Figura B.

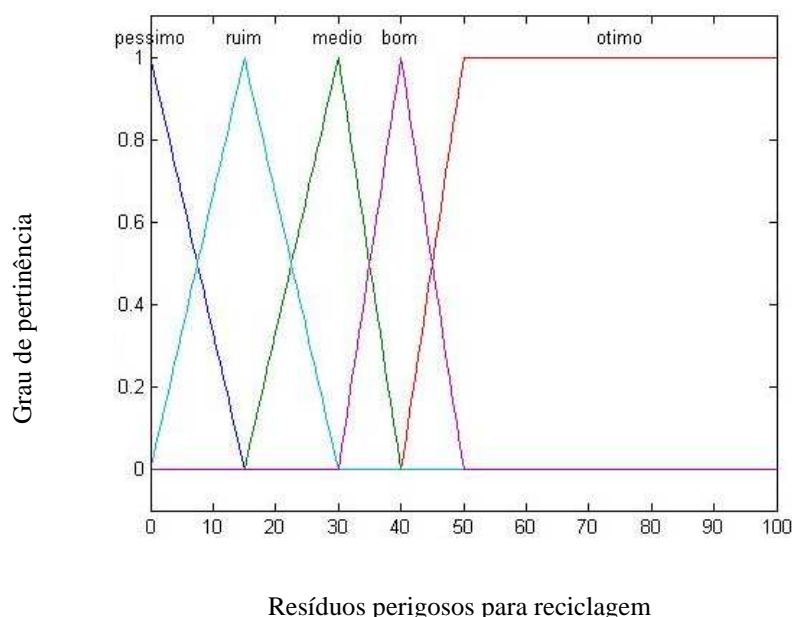


**Figura B – Funções de pertinência para a variável *Resíduos perigosos em aterro*<sup>11</sup>**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

<sup>11</sup> Esta figura exhibe apenas o intervalo de 0 a 40, dado que a função de pertinência no intervalo de 40 a 100 se mantém constante em Péssimo.

Os conjuntos fuzzy para a variável *Resíduos perigosos para reciclagem* foram definidos como Pêssimo, Ruim, Médio, Bom e Ótimo, cujas funções são representadas na Figura C.



**Figura C – Funções de pertinência para a variável *Resíduos perigosos para reciclagem***

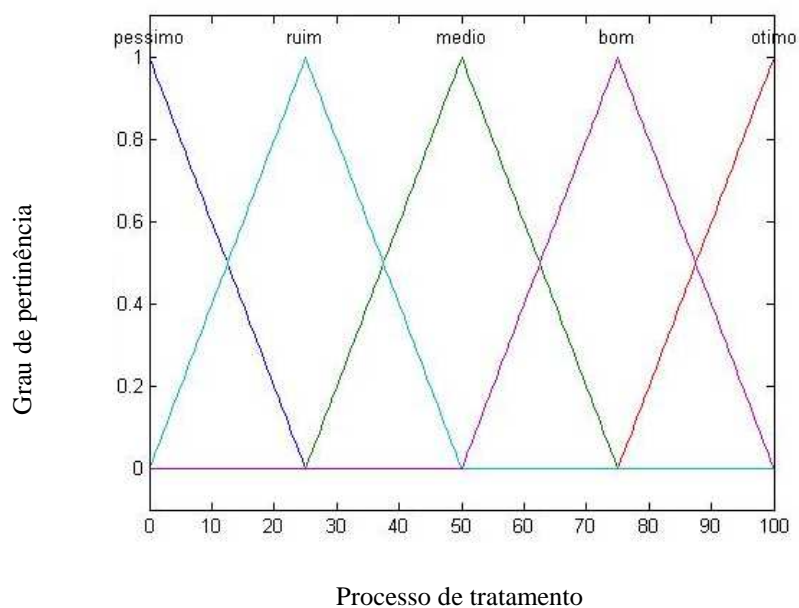
Fonte: Equipe LIMA/COPPE

As variáveis acima definidas são entradas da Inferência Fuzzy 3, que define a variável auxiliar *Processo de tratamento*. A base de regras dessa inferência, formada por 25 regras, encontra-se no Quadro A e os conjuntos fuzzy para a variável auxiliar estão representados na Figura D.

**Quadro A – Base de regras que define a variável auxiliar *Processo de tratamento***

1. If (reciclagem is pessimo) and (aterro is otimo) then (processo-tratamento is ruim) (1)
2. If (reciclagem is pessimo) and (aterro is bom) then (processo-tratamento is ruim) (1)
3. If (reciclagem is pessimo) and (aterro is medio) then (processo-tratamento is pessimo) (1)
4. If (reciclagem is pessimo) and (aterro is ruim) then (processo-tratamento is pessimo) (1)
5. If (reciclagem is pessimo) and (aterro is pessimo) then (processo-tratamento is pessimo) (1)
6. If (reciclagem is ruim) and (aterro is otimo) then (processo-tratamento is medio) (1)
7. If (reciclagem is ruim) and (aterro is bom) then (processo-tratamento is medio) (1)
8. If (reciclagem is ruim) and (aterro is medio) then (processo-tratamento is ruim) (1)
9. If (reciclagem is ruim) and (aterro is ruim) then (processo-tratamento is ruim) (1)
10. If (reciclagem is ruim) and (aterro is pessimo) then (processo-tratamento is pessimo) (1)
11. If (reciclagem is medio) and (aterro is otimo) then (processo-tratamento is bom) (1)
12. If (reciclagem is medio) and (aterro is bom) then (processo-tratamento is bom) (1)
13. If (reciclagem is medio) and (aterro is medio) then (processo-tratamento is medio) (1)
14. If (reciclagem is medio) and (aterro is ruim) then (processo-tratamento is ruim) (1)
15. If (reciclagem is medio) and (aterro is pessimo) then (processo-tratamento is ruim) (1)
16. If (reciclagem is bom) and (aterro is otimo) then (processo-tratamento is otimo) (1)
17. If (reciclagem is bom) and (aterro is bom) then (processo-tratamento is bom) (1)
18. If (reciclagem is bom) and (aterro is medio) then (processo-tratamento is bom) (1)
19. If (reciclagem is bom) and (aterro is ruim) then (processo-tratamento is medio) (1)
20. If (reciclagem is bom) and (aterro is pessimo) then (processo-tratamento is medio) (1)
21. If (reciclagem is otimo) and (aterro is otimo) then (processo-tratamento is otimo) (1)
22. If (reciclagem is otimo) and (aterro is bom) then (processo-tratamento is otimo) (1)
23. If (reciclagem is otimo) and (aterro is medio) then (processo-tratamento is otimo) (1)
24. If (reciclagem is otimo) and (aterro is ruim) then (processo-tratamento is bom) (1)
25. If (reciclagem is otimo) and (aterro is pessimo) then (processo-tratamento is bom) (1)

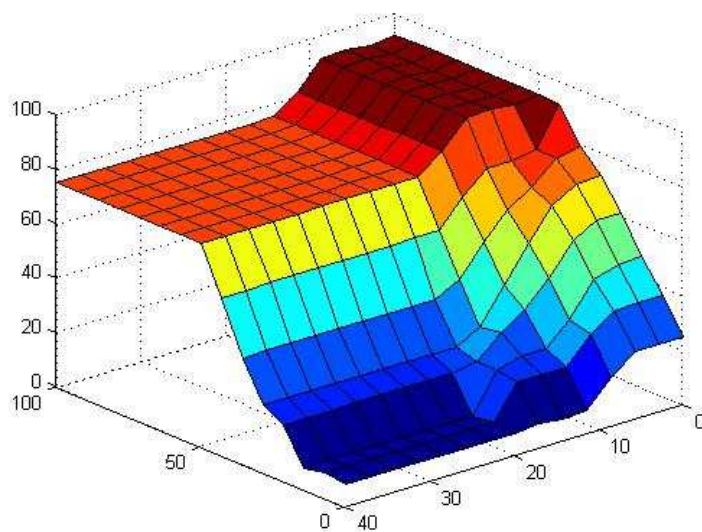
Fonte: Equipe LIMA/COPPE



**Figura D – Funções de pertinência para a variável auxiliar *Processo de tratamento***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

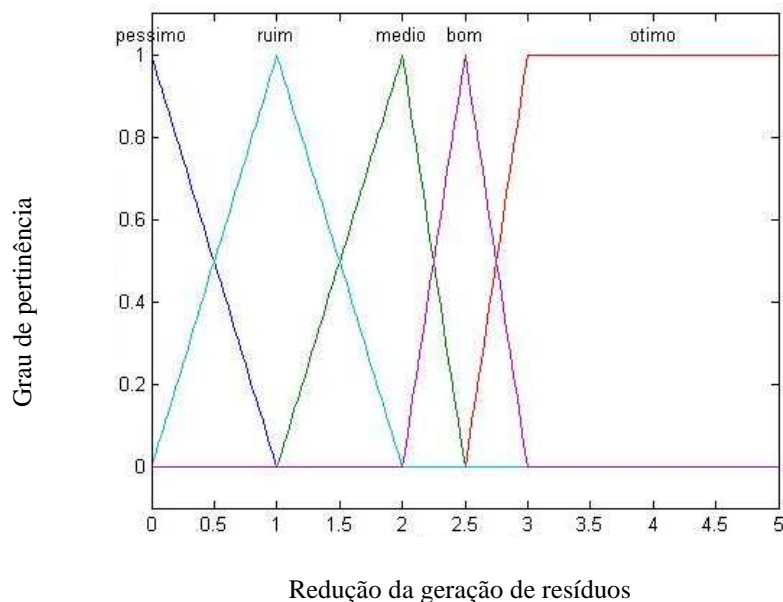
A Figura E apresenta a superfície obtida, antes da normalização, com a variação das variáveis *Resíduos perigosos em aterro* e *Resíduos perigosos para reciclagem*, ilustrando a interferência das diferentes variáveis de entrada no resultado da variável auxiliar.



**Figura E – Variação do *Processo de tratamento* em relação às variáveis *Resíduos perigosos em aterro* e *Resíduos perigosos para reciclagem***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Os conjuntos fuzzy para a variável *Redução da geração de resíduos* foram definidos também como Péssimo, Ruim, Médio, Bom e Ótimo, cujas funções estão representadas na Figura F.



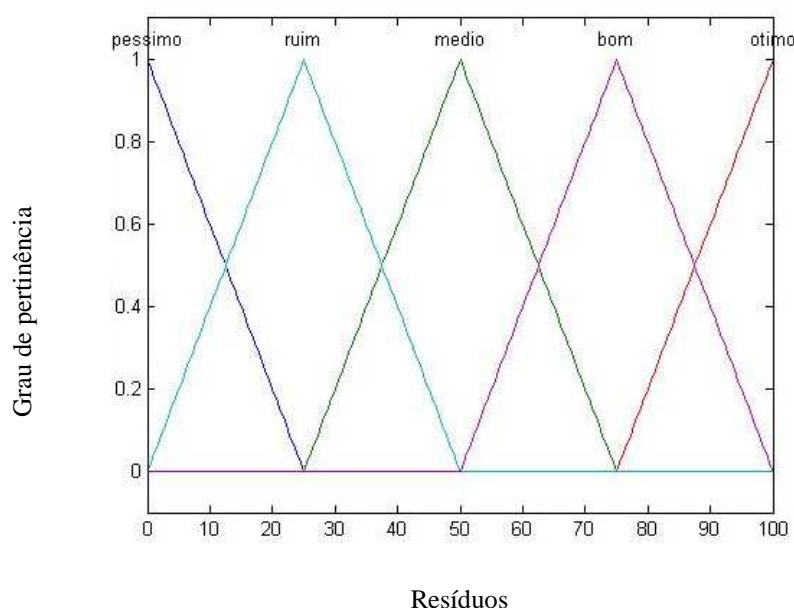
**Figura F – Funções de pertinência para a variável *Redução da geração de resíduos*<sup>12</sup>**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Por fim, a variável de saída, resultado da iniciativa de SMS em Resíduos, tem como funções de pertinência Péssimo, Ruim, Médio, Bom e Ótimo, apresentadas na Figura G.

<sup>12</sup> Esta figura exhibe apenas o intervalo de 0 a 5, dado que a função de pertinência no intervalo de 5 a 100 se mantém constante em Ótimo.





**Figura G – Funções de pertinência para a variável de saída RESÍDUOS**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A base de regras da Inferência Fuzzy 4 que determina a variável de saída está descrita no Quadro B.

**Quadro B – Base de regras que define a variável de saída RESÍDUOS**

1. If (redução-geração is pessimo) and (tratamento is pessimo) then (residuo is pessimo) (1)
2. If (redução-geração is pessimo) and (tratamento is ruim) then (residuo is pessimo) (1)
3. If (redução-geração is pessimo) and (tratamento is medio) then (residuo is pessimo) (1)
4. If (redução-geração is pessimo) and (tratamento is bom) then (residuo is ruim) (1)
5. If (redução-geração is pessimo) and (tratamento is otimo) then (residuo is ruim) (1)
6. If (redução-geração is ruim) and (tratamento is pessimo) then (residuo is pessimo) (1)
7. If (redução-geração is ruim) and (tratamento is ruim) then (residuo is ruim) (1)
8. If (redução-geração is ruim) and (tratamento is medio) then (residuo is ruim) (1)
9. If (redução-geração is ruim) and (tratamento is bom) then (residuo is medio) (1)
10. If (redução-geração is ruim) and (tratamento is otimo) then (residuo is medio) (1)
11. If (redução-geração is medio) and (tratamento is pessimo) then (residuo is ruim) (1)
12. If (redução-geração is medio) and (tratamento is ruim) then (residuo is ruim) (1)
13. If (redução-geração is medio) and (tratamento is medio) then (residuo is medio) (1)
14. If (redução-geração is medio) and (tratamento is bom) then (residuo is bom) (1)
15. If (redução-geração is medio) and (tratamento is otimo) then (residuo is bom) (1)
16. If (redução-geração is bom) and (tratamento is pessimo) then (residuo is medio) (1)
17. If (redução-geração is bom) and (tratamento is ruim) then (residuo is medio) (1)
18. If (redução-geração is bom) and (tratamento is medio) then (residuo is bom) (1)
19. If (redução-geração is bom) and (tratamento is bom) then (residuo is bom) (1)
20. If (redução-geração is bom) and (tratamento is otimo) then (residuo is otimo) (1)
21. If (redução-geração is otimo) and (tratamento is pessimo) then (residuo is bom) (1)
22. If (redução-geração is otimo) and (tratamento is ruim) then (residuo is bom) (1)
23. If (redução-geração is otimo) and (tratamento is medio) then (residuo is otimo) (1)
24. If (redução-geração is otimo) and (tratamento is bom) then (residuo is otimo) (1)
25. If (redução-geração is otimo) and (tratamento is otimo) then (residuo is otimo) (1)

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

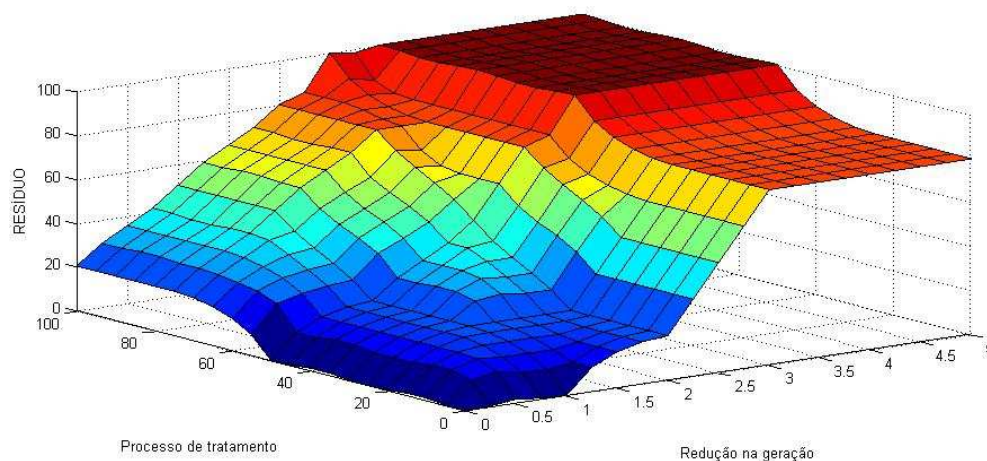
Tomando-se os valores mínimo e máximo para a variável de saída RESÍDUOS (RESÍDUOS<sub>MÍN</sub> e RESÍDUOS<sub>MÁX</sub> respectivamente), é possível normalizar esta variável no intervalo [0, 100], segundo a fórmula a seguir, resultando no índice ISMS<sub>RESÍDUOS</sub>.

$$ISMS_{RESÍDUOS} = \begin{cases} 50 \frac{RESÍDUOS - RESÍDUOS_{MIN}}{RESÍDUOS_M - RESÍDUOS_{MIN}} & se \quad RESÍDUOS \leq RESÍDUOS_M \\ 50 + 50 \frac{RESÍDUOS - RESÍDUOS_M}{RESÍDUOS_{MAX} - RESÍDUOS_M} & se \quad RESÍDUOS > RESÍDUOS_M \end{cases}$$

Nesta fórmula, tem-se que RESÍDUOS<sub>M</sub> é o valor médio para o índice RESÍDUOS, obtido quando os dados de entrada são definidos de modo que seus graus de pertinência em relação ao conjunto médio (ou equivalente) são iguais a um, ou seja, resíduos perigosos em aterro 10%, reciclagem de resíduos perigosos 30% e redução da geração de resíduos perigosos 2%.

Isto significa que, ao inserir estes dados de entrada no programa, o ISMS<sub>RESÍDUOS</sub> calculado será igual a 50, que é o valor médio do intervalo [0,100] e, neste caso, pode-se afirmar que o projeto não interfere na temática proposta, de modo que não agrega melhorias nem pioras à empresa, quando considerado apenas critérios técnicos dos especialistas.

A Figura H apresenta a variação do valor do ISMS<sub>RESÍDUO</sub> em relação às variáveis *Redução da geração de resíduos* e *Processo de tratamento*.



**Figura H – Variação do  $ISMS_{RESÍDUO}$  em relação às variáveis *Redução da geração de resíduos* e *Processo de tratamento***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

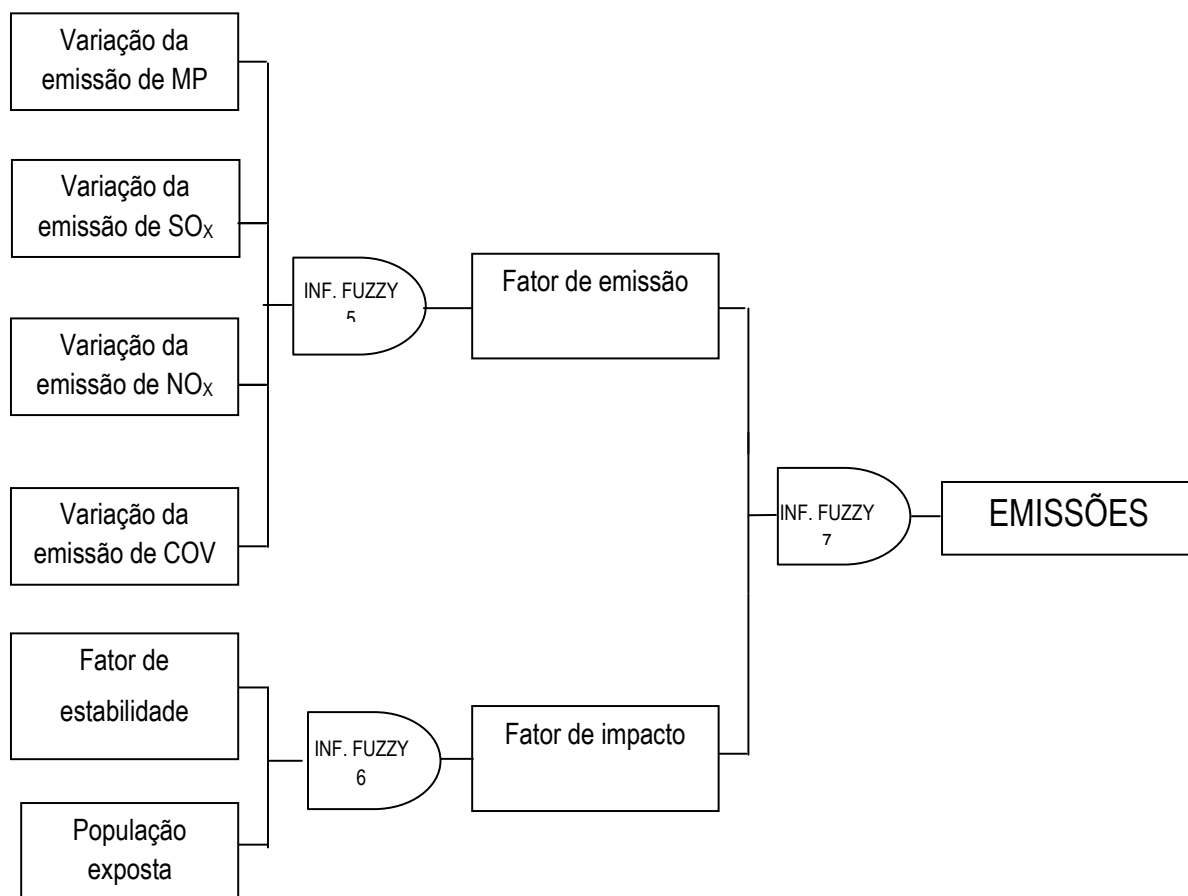
## **B. Determinação do $ISMS_{EMISSIONES}$**

Para a definição das variáveis de entrada, ou seja, dos critérios do problema de tomada de decisão, foram efetuadas reuniões do grupo de pesquisa com especialistas na temática de Emissões. Depois de atingido o consenso, as variáveis foram validadas pelos mesmos e estão representadas na Tabela B. Nessa tabela, a coluna da direita apresenta os parâmetros que definem as funções de pertinência criadas (item B, ANEXO II). A árvore hierárquica de decisão foi definida como mostrado na Figura I. É interessante ressaltar a preocupação com a emissão de gases do efeito estufa (GEE), que seria mais uma variável de entrada da rede em Emissões; porém este item foi excluído devido à grande dificuldade na obtenção de dados e construção das funções de pertinência.

**Tabela B – Variáveis da árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice EMISSÕES**

VARIÁVEL	TIPO	DOMÍNIO	TERMOS LINGÜÍSTICOS	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA	PARÂMETROS
Variação da emissão de Material Particulado (%)	Entrada	[-100, 100]	Diminui muito Diminui pouco Aumenta pouco Aumenta muito	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-101, b=-100, c=-30, d=-10$ $a=-30, b=-10, c=10$ $a=-10, b=10, c=30$ $a=10, b=30, c=100, d=101$
Variação da emissão de NOx (%)	Entrada	[-100, 100]	Diminui muito Diminui pouco Aumenta pouco Aumenta muito	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-101, b=-100, c=-30, d=-10$ $a=-30, b=-10, c=10$ $a=-10, b=10, c=30$ $a=10, b=30, c=100, d=101$
Variação da emissão de SOx (%)	Entrada	[-100, 100]	Diminui muito Diminui pouco Aumenta pouco Aumenta muito	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-101, b=-100, c=-30, d=-10$ $a=-30, b=-10, c=10$ $a=-10, b=10, c=30$ $a=10, b=30, c=100, d=101$
Variação da emissão de COV (%)	Entrada	[-100, 100]	Diminui muito Diminui pouco Aumenta pouco Aumenta muito	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-101, b=-100, c=-80, d=-20$ $a=-80, b=-20, c=20$ $a=-20, b=20, c=80$ $a=20, b=80, c=100, d=101$
Fator de emissão (%)	Auxiliar	[-100, 100]	Diminui muito Diminui pouco Aumenta pouco Aumenta muito	---	
Fator de estabilidade	Entrada	[0, 10]	Ruim Média Boa	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-1, b=0, c=6$ $a=0, b=4, c=6, d=10$ $a=4, b=10, c=11$
População exposta	Entrada	[0, ∞)	Pequena Média Grande	Não-linear (forma-z, gaussiana e formas)	$a=10000, b=30000$ $c=25100, \sigma=7770$ $a=20000, b=40000$
Fator de impacto	Auxiliar	[0, 10]	Baixo Médio Grande		
EMISSÕES	Saída	[0, 100]	Péssimo Ruim Médio Bom Ótimo	Linear (triangular e trapezoidal)	$a=-1, b=0, c=25$ $a=0, b=25, c=50$ $a=25, b=50, c=75$ $a=50, b=75, c=100$ $a=75, b=100, c=101$

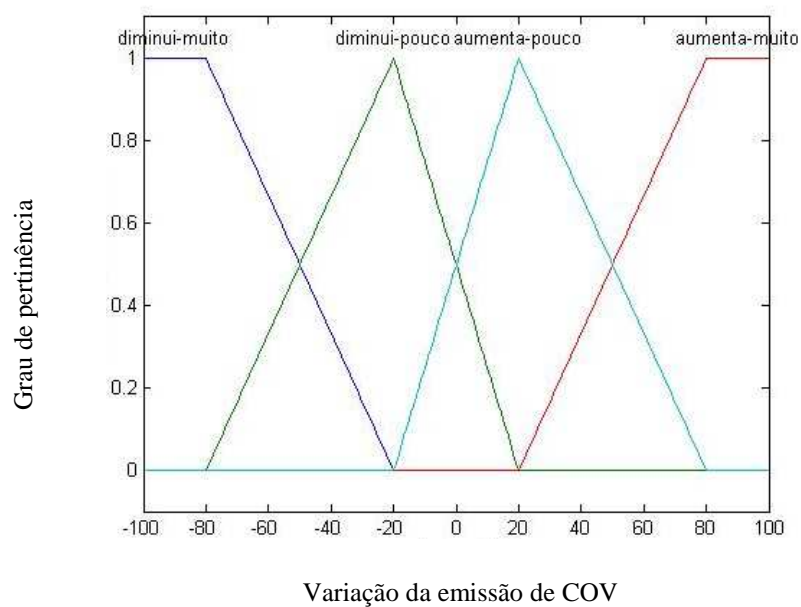
Fonte: Equipe LIMA/COPPE



**Figura I – Árvore hierárquica de decisão fuzzy para o índice EMISSÕES**

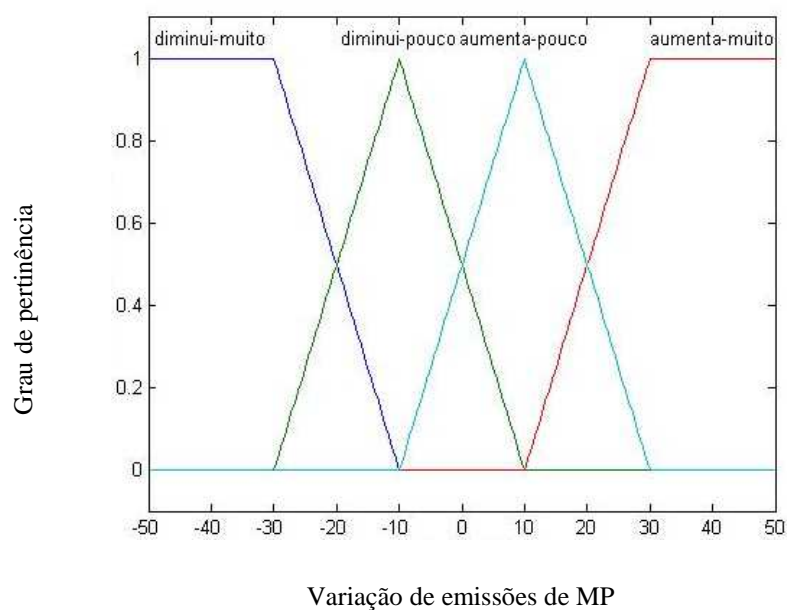
Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Os conjuntos fuzzy para as variáveis *Variação de emissão* foram definidos como Péssimo, Ruim, Médio, Bom e Ótimo, cujas funções são dadas nas Figuras J e K (as funções de pertinência para variação da emissão de MP, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> são iguais).



**Figura J – Funções de pertinência para a variável de *Variação da emissão de COV***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE



**Figura K – Funções de pertinência para as variáveis *Variação da emissão de MP, Variação da emissão de NOx e Variação da emissão de SOx*<sup>13</sup>**

<sup>13</sup> Esta figura exhibe apenas o intervalo de -50 a 50, dado que a função de pertinência no intervalo de -100 a -50 se mantém constante em Diminui muito e no intervalo de 50 a 100 se mantém constante em Aumenta muito.

Para a determinação da variável auxiliar *Fator de emissão* optou-se pela utilização da Análise Comparativa Sintética Fuzzy. Inicialmente, consideram-se todos os pesos comparativos iguais a um, ou seja, todas as quatro variáveis de entrada dessa inferência têm o mesmo grau de importância comparativa na determinação do *Fator de emissão*. Porém, é possível consultar as partes interessadas para determinar prioridades em relação às quatro emissões consideradas. A definição apropriada de perguntas de um questionário, neste caso com perguntas sobre o efeito dos poluentes, bem como a utilização da Análise Comparativa Sintética, facilita a obtenção da opinião das mesmas.

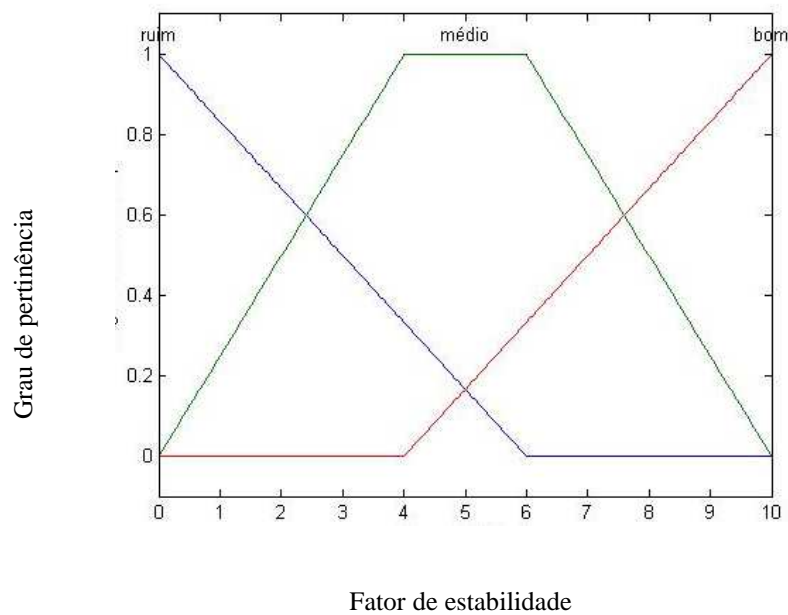
Desta forma, com todos os pesos comparativos iguais a um, a saída da Inferência Fuzzy 5 é equivalente ao resultado da média aritmética entre os graus de pertinência em relação a uma determinada função de pertinência fuzzy, ou seja, o grau de pertinência da variável *Fator de emissão* em relação ao conjunto fuzzy  $i$ <sup>14</sup> é dado por

$$\mu_i(\text{fator\_de\_emissão}) = \frac{\mu_i(MP) + \mu_i(SOx) + \mu_i(NOx) + \mu_i(COV)}{4}$$

Os conjuntos fuzzy para a variável *Fator de estabilidade* foram definidos com o auxílio dos especialistas e estão representados na Figura L. Esta variável representa a capacidade do meio de dispersar os poluentes, e é dada por uma nota entre zero e dez ou por um conjunto fuzzy do tipo “próximo de 6” ou “mais ou menos 4”. No caso do dado de entrada ser um conjunto fuzzy, a determinação do grau de pertinência desse conjunto em relação às funções de pertinência da variável é feita tomando-se o maior grau de pertinência das interseções entre o conjunto fuzzy da entrada e as funções de pertinência, como ilustrado na Figura M.

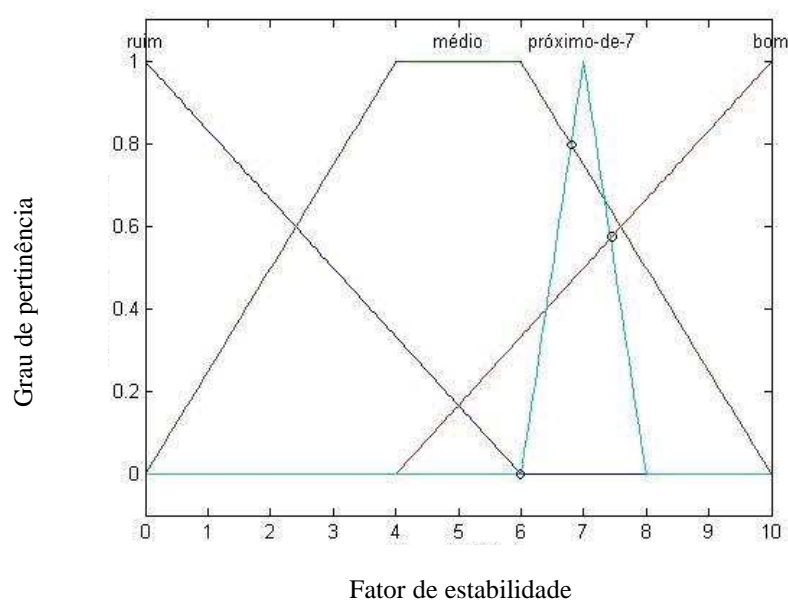
---

<sup>14</sup> Os conjuntos fuzzy  $i$  acima mencionados podem ser “aumenta muito”, “aumenta pouco”, “diminui pouco” ou “diminui muito”.



**Figura L – Funções de pertinência para a variável *Fator de estabilidade***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE



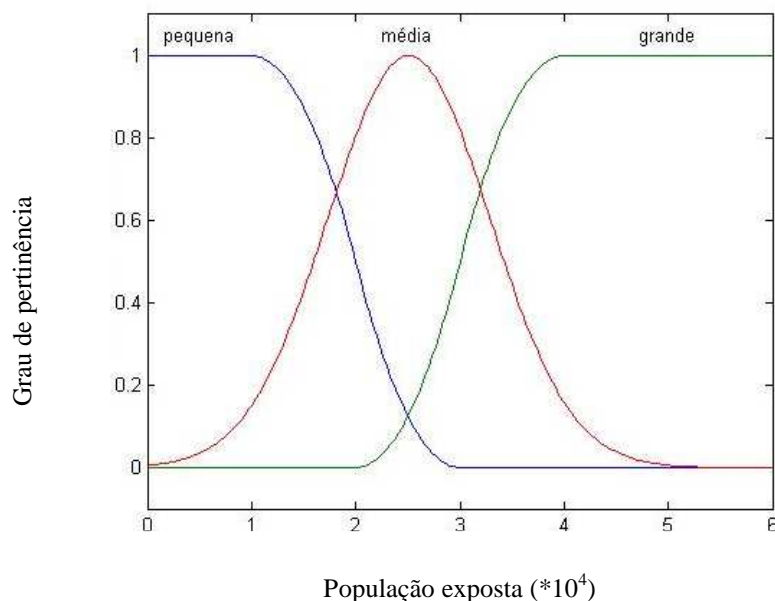
**Figura M – Exemplo de entrada de dado aproximado e determinação de seus graus de pertinência:**  
 $\mu_{\text{ruim}}(x) = 0$ ,  $\mu_{\text{médio}}(x) = 0,8$  e  $\mu_{\text{bom}}(x) = 0,57$

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A variável *População exposta* está aqui representada pelos conjuntos fuzzy “pequena”, “média” e “grande”, na forma de funções não lineares. Usualmente este tipo de função é empregado quando se tem informação estatística disponível, como um banco de dados ou uma série de probabilidades que permite prever o comportamento da variável, para melhor ajuste das funções com base em conhecimento prévio (YEN,



1998). Entretanto, apesar de não ter sido utilizado informação estatística de população exposta por poluentes atmosféricos aqui descritos, foi feita a escolha, por parte dos especialistas, de se utilizar este tipo de função, a título de ilustração conforme Figura N.



**Figura N – Funções de pertinência para a variável *População exposta***

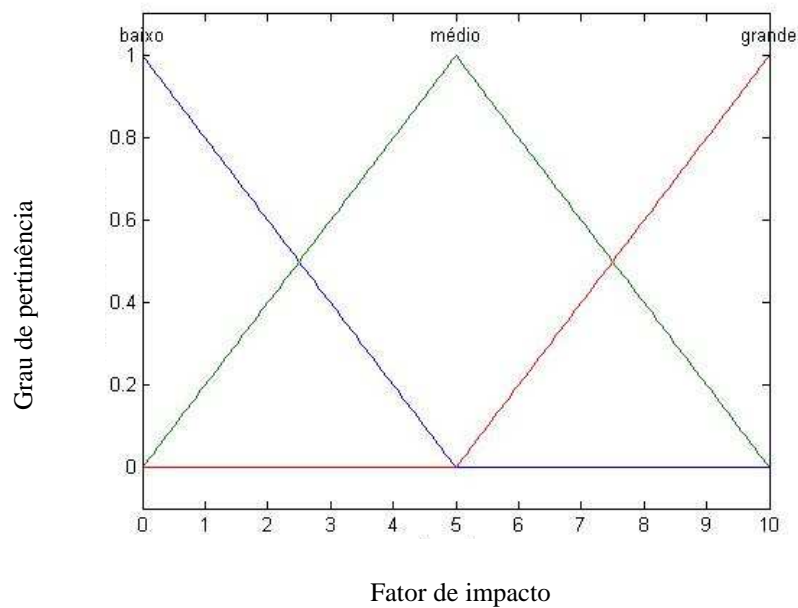
Fonte: Equipe LIMA/COPPE

As duas variáveis anteriormente definidas são entradas da Inferência Fuzzy 6, que define a variável auxiliar *Fator de impacto*. A base de regras dessa inferência, formada por 6 regras, encontra-se no Quadro C e os conjuntos fuzzy para a variável auxiliar estão representados na Figura O.

**Quadro C – Base de regras que define a variável auxiliar *Fator de impacto***

1. If (população-exposta is grande) and (fator-estabilidade is ruim) then (impacto is grande) (1)
2. If (população-exposta is grande) and (fator-estabilidade is médio) then (impacto is grande) (1)
3. If (população-exposta is grande) and (fator-estabilidade is bom) then (impacto is médio) (1)
4. If (população-exposta is pequena) and (fator-estabilidade is ruim) then (impacto is médio) (1)
5. If (população-exposta is pequena) and (fator-estabilidade is médio) then (impacto is médio) (1)
6. If (população-exposta is pequena) and (fator-estabilidade is bom) then (impacto is baixo) (1)
7. If (população-exposta is média) and (fator-estabilidade is ruim) then (impacto is grande) (1)
8. If (população-exposta is média) and (fator-estabilidade is médio) then (impacto is médio) (1)
9. If (população-exposta is média) and (fator-estabilidade is bom) then (impacto is baixo) (1)

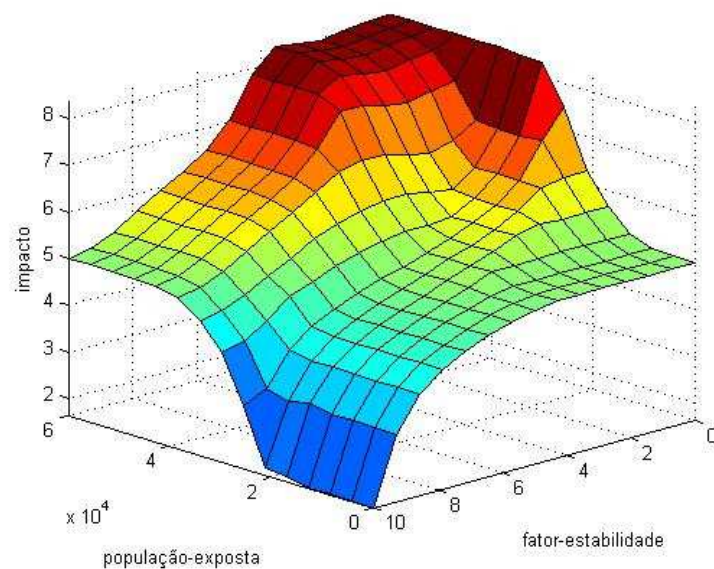
Fonte: Equipe LIMA/COPPE



**Figura O – Funções de pertinência para a variável auxiliar *Fator de impacto***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A Figura P exibe a superfície que representa a variação do *Fator de impacto* em relação às variáveis de entrada da Inferência Fuzzy 6.



**Figura P – Variação do *Fator de impacto* em relação às variáveis *População exposta* e *Fator de estabilidade***

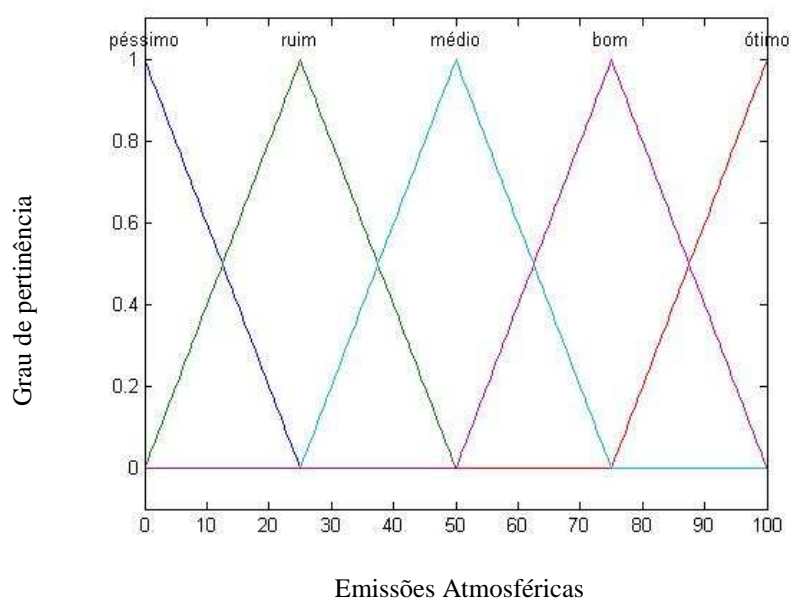
Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Por fim, a determinação do índice EMISSÕES se dá por meio da Inferência Fuzzy 7, cuja base de regras é dada no Quadro D. As funções de pertinência usadas na variável de saída EMISSÕES estão representadas na Figura Q.

**Quadro D – Base de regras que define o índice EMISSÕES**

1. If (fator-de-emissões is aumenta-muito) and (fator-de-impacto is grande) then (EMISSÕES is péssimo) (1)
2. If (fator-de-emissões is aumenta-pouco) and (fator-de-impacto is grande) then (EMISSÕES is ruim) (1)
3. If (fator-de-emissões is diminui-pouco) and (fator-de-impacto is grande) then (EMISSÕES is bom) (1)
4. If (fator-de-emissões is diminui-muito) and (fator-de-impacto is grande) then (EMISSÕES is ótimo) (1)
5. If (fator-de-emissões is aumenta-muito) and (fator-de-impacto is médio) then (EMISSÕES is ruim) (1)
6. If (fator-de-emissões is aumenta-pouco) and (fator-de-impacto is médio) then (EMISSÕES is médio) (1)
7. If (fator-de-emissões is diminui-pouco) and (fator-de-impacto is médio) then (EMISSÕES is bom) (1)
8. If (fator-de-emissões is diminui-muito) and (fator-de-impacto is médio) then (EMISSÕES is ótimo) (1)
9. If (fator-de-emissões is aumenta-muito) and (fator-de-impacto is pequeno) then (EMISSÕES is ruim) (1)
10. If (fator-de-emissões is aumenta-pouco) and (fator-de-impacto is pequeno) then (EMISSÕES is bom) (1)
11. If (fator-de-emissões is diminui-pouco) and (fator-de-impacto is pequeno) then (EMISSÕES is bom) (1)
12. If (fator-de-emissões is diminui-muito) and (fator-de-impacto is pequeno) then (EMISSÕES is ótimo) (1)

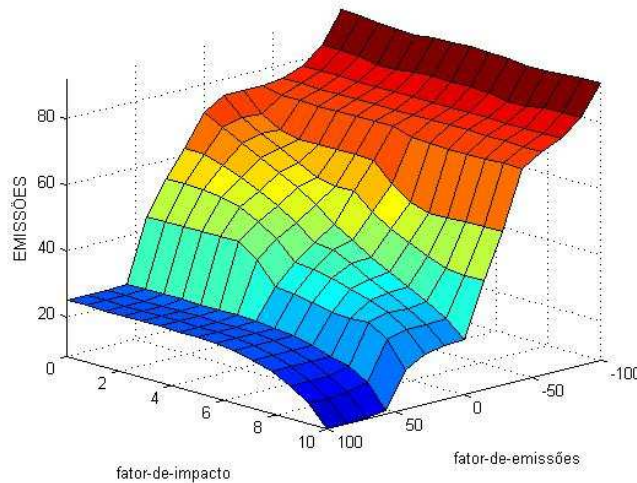
Fonte: Equipe LIMA/COPPE



**Figura Q – Funções de pertinência para a variável de saída EMISSÕES**

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

A variação do índice EMISSÕES em relação às variáveis de entrada da Inferência Fuzzy 7 é mostrada na Figura R.



**Figura R – Variação do índice  $ISMS_{EMISSÕES}$  em relação às variáveis *Fator de impacto* e *Fator de emissões***

Fonte: Equipe LIMA/COPPE

Tomando-se os valores mínimo e máximo para a variável de saída EMISSÕES ( $EMISSÕES_{MÍN}$  e  $EMISSÕES_{MÁX}$  respectivamente), é possível normalizar esta variável no intervalo  $[0, 100]$ , segundo a fórmula a seguir, resultando no índice  $ISMS_{EMISSÕES}$ .

$$ISMS_{EMISSÕES} = \begin{cases} 50 \frac{EMISSÕES - EMISSÕES_{MÍN}}{EMISSÕES_M - EMISSÕES_{MÍN}} & \text{se } EMISSÕES \leq EMISSÕES_M \\ 50 + 50 \frac{EMISSÕES - EMISSÕES_M}{EMISSÕES_{MÁX} - EMISSÕES_M} & \text{se } EMISSÕES > EMISSÕES_M \end{cases}$$

Nesta fórmula, tem-se que  $EMISSÕES_M$  é o valor médio para o índice EMISSÕES, obtido quando os dados de entrada são definidos de modo que seus graus de pertinência em relação ao conjunto médio (ou equivalente) são iguais a um, ou seja, variação de MP, SOx, NOx e COV iguais a 0%, fator de estabilidade 5 e população 25.000 habitantes.

Isto significa que, ao inserir estes dados de entrada no programa, o  $ISMS_{EMISSÕES}$  calculado será igual a 50, que é o valor médio do intervalo  $[0,100]$  e, neste caso, pode-se afirmar que o projeto não interfere na temática proposta.

## **ANEXO II – DETALHAMENTO DAS ETAPAS PARA MENSURAÇÃO DA EFETIVIDADE**

### **A. DADOS DE ENTRADA DO SISTEMA FUZZY**

Dados de entrada para obtenção do índice Recursos Hídricos e ISMS<sub>RH</sub>:

- Padrão de lançamento atual e estimado com a implantação do projeto, das seguintes substâncias:
  - Para plataformas com distância superior a 12 milhas da costa e plataformas com distância inferior a 12 milhas, sujeitas à Resolução CONAMA 393/07:
    - Média mensal de lançamento de óleos e graxas, em mg/L.
    - Média diária de lançamento de óleos e graxas, em mg/L.
  - Para as outras instalações:
    - Padrão de lançamento de substâncias conservativas tóxicas, em mg/L:
      - ✓ Chumbo
      - ✓ Cobre
      - ✓ Níquel
      - ✓ Mercúrio
      - ✓ Vanádio
      - ✓ Benzopireno (ou benzapireno)
    - Padrão de lançamento de substâncias não-conservativas não-tóxicas, em mg/L:
      - ✓ Demanda bioquímica de oxigênio – DBO
    - Padrão de lançamento de substâncias não-conservativas tóxicas, em mg/L:
      - ✓ Fenol
      - ✓ Benzeno
      - ✓ Sulfeto
      - ✓ Amônia
    - Padrão de lançamento de outras substâncias e parâmetros:
      - ✓ Sólidos em suspensão, em mg/L.
      - ✓ Óleos e graxas, em mg/L.

- ✓ Demanda química de oxigênio – DQO, em mg/L.
- ✓ Nitrogênio total, em mg/L.
- Vazão de referência do rio, em m<sup>3</sup>/h.
- Vazão de captação de água, em m<sup>3</sup>/h.
- Vazão de água que deixa de ser captada, em m<sup>3</sup>/h.

Dados de entrada para obtenção do índice Resíduos Perigosos e ISMS<sub>RESÍDUOS</sub>:

- Resíduos perigosos enviados para aterros, relativo ao total gerado pela UGR, em porcentagem.
- Resíduo perigoso gerado enviado para reciclagem, em porcentagem.
- Resíduos perigosos que deixam de ser gerados, relativo ao total gerado pela UGR, em porcentagem.

Dados de entrada para obtenção do índice Emissões Atmosféricas e ISMS<sub>EMISSIONES</sub>:

- Variação da emissão de Material Particulado, em porcentagem.
- Variação da emissão de NO<sub>x</sub>, em porcentagem.
- Variação da emissão de SO<sub>x</sub>, em porcentagem.
- Variação da emissão de COV, em porcentagem.
- Fator de estabilidade: reflete a condição do meio local em dispersar os poluentes emitidos. Pode ser definido de três formas diferentes: uma nota entre zero e dez, uma expressão linguística (ruim, média ou boa) ou informações imprecisas tais como “em torno de sete”.
- População exposta à emissão: número de pessoas expostas aos poluentes atmosféricos na área de influência do empreendimento.

## B. DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

- Funções triangulares:  $f(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$ , onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros que definem os pontos de inflexão da curva.
- Funções trapezoidais:  $f(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$ , onde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são parâmetros que definem os pontos de inflexão da curva.
- Funções gaussianas:  $f(x; \sigma, c) = \exp\left(\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}\right)$ , onde os parâmetros  $\sigma$  e  $c$  são, respectivamente, a média e o desvio padrão.

- Forma-z: 
$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(b - \frac{x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}, \text{ onde } a \text{ e } b \text{ são parâmetros}$$

que delimitam a porção decrescente da curva.

- Forma-s:  $f(x; a, b) = 1 - g(x; a, b)$ , onde  $g$  é uma função da forma-z.

### C. PARÂMETROS PARA AS FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE RECURSOS HÍDRICOS

Os valores a seguir são válidos para *Lançamento atual* e para *Lançamento futuro*. Os valores fora do domínio da variável não influenciam no resultado; basta que sejam definidos em ordem crescente.

- Plataforma acima de 12 milhas da costa ou inferior sujeita à Resolução CONAMA 393/07

Óleos e graxas (mensal):

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=15$ ;  $d=22$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=15$ ;  $b=22$ ;  $c=22$ ;  $d=29$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=22$ ;  $b=29$ ;  $c=400$ ;  $d=401$ ;

Óleos e graxas (diária):

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=21$ ;  $d=31,5$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=21$ ;  $b=31,5$ ;  $c=31,5$ ;  $d=42$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=31,5$ ;  $b=42$ ;  $c=400$ ;  $d=401$ ;

- Outras instalações

Chumbo:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,1$ ;  $d=0,3$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,1$ ;  $b=0,3$ ;  $c=0,3$ ;  $d=0,5$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,3$ ;  $b=0,5$ ;  $c=2,04$ ;  $d=2,36$ ;

Cobre:

Excelente: função trapezoidal,  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,5$ ;  $d=0,75$ ;

Bom: função trapezoidal,  $a=0,5$ ;  $b=0,75$ ;  $c=0,75$ ;  $d=1$ ;

Ruim: função trapezoidal,  $a=0,75$ ;  $b=1$ ;  $c=2,04$ ;  $d=2,36$ ;

Níquel:



Excelente: função trapezoidal,  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,5$ ;  $d=1,25$ ;

Bom: função trapezoidal,  $a=0,5$ ;  $b=1,25$ ;  $c=1,25$ ;  $d=2$ ;

Ruim: função trapezoidal,  $a=1,25$ ;  $b=2$ ;  $c=8,2$ ;  $d=8,36$ ;

Mercúrio:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,01$ ;  $d=0,015$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,01$ ;  $b=0,015$ ;  $c=0,015$ ;  $d=0,02$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,015$ ;  $b=0,02$ ;  $c=0,08$ ;  $d=0,09$ ;

Vanádio:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,5$ ;  $d=0,75$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,5$ ;  $b=0,75$ ;  $c=0,75$ ;  $d=1$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,75$ ;  $b=1$ ;  $c=3,9$ ;  $d=4$ ;

Benzopireno:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,025$ ;  $d=0,2625$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,025$ ;  $b=0,2625$ ;  $c=0,2625$ ;  $d=0,5$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,2625$ ;  $b=0,5$ ;  $c=3,9$ ;  $d=4$ ;

DBO:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=15$ ;  $d=22,5$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=15$ ;  $b=22,5$ ;  $c=22,5$ ;  $d=30$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=22,5$ ;  $b=30$ ;  $c=300$ ;  $d=380$ ;

Fenol:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,2$ ;  $d=0,35$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,2$ ;  $b=0,35$ ;  $c=0,35$ ;  $d=0,5$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,35$ ;  $b=0,5$ ;  $c=51,04$ ;  $d=51,36$ ;

Benzeno:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,025$ ;  $d=0,0375$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,025$ ;  $b=0,0375$ ;  $c=0,0375$ ;  $d=0,05$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,0375$ ;  $b=0,05$ ;  $c=0,2$ ;  $d=0,21$ ;

Sulfeto:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=0,5$ ;  $d=0,75$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=0,5$ ;  $b=0,75$ ;  $c=0,75$ ;  $d=1$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=0,75$ ;  $b=1$ ;  $c=6$ ;  $d=7$ ;

Amônia:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=10$ ;  $d=15$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=10$ ;  $b=15$ ;  $c=15$ ;  $d=20$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=15$ ;  $b=20$ ;  $c=79$ ;  $d=80$ ;

Sólidos:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=15$ ;  $d=22,5$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=15$ ;  $b=22,5$ ;  $c=22,5$ ;  $d=30$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=22,5$ ;  $b=30$ ;  $c=170$ ;  $d=180$ ;

Óleos e graxas:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=10$ ;  $d=15$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=10$ ;  $b=15$ ;  $c=15$ ;  $d=20$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=15$ ;  $b=20$ ;  $c=240$ ;  $d=250$ ;

DQO:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=75$ ;  $d=112,5$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=75$ ;  $b=112,5$ ;  $c=112,5$ ;  $d=150$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=112,5$ ;  $b=150$ ;  $c=1300$ ;  $d=1340$ ;

Nitrogênio:

Excelente, função trapezoidal:  $a=-1$ ;  $b=0$ ;  $c=5$ ;  $d=7,5$ ;

Bom, função trapezoidal:  $a=5$ ;  $b=7,5$ ;  $c=7,5$ ;  $d=10$ ;

Ruim, função trapezoidal:  $a=7,5$ ;  $b=10$ ;  $c=39$ ;  $d=40$ .