



DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE GLOBAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE CARGA

Isolina Cruz

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Rio de Janeiro
Março de 2011

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE GLOBAL PARA A AVALIAÇÃO DO
DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE CARGA

Isolina Cruz

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

Examinada por:

Prof. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof. Vânia Barcellos Gouvêa Campos, D.Sc.

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Prof. Marcio Peixoto de Sequeira Santos, D.Sc.

Prof. Luis Antonio Lindau, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2011

Cruz, Isolina

Desenvolvimento de um Índice Global para a Avaliação do Desempenho Ambiental de Sistemas de Transporte de Carga/ Isolina Cruz. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XVIII, 173 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 164-173.

1. Transporte Carga. 2. Indicadores. 3. Índices. 4. Lógica Fuzzy. I. Ribeiro, Suzana Kahn II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

A Deus com louvor pela sua infinita misericórdia;
Á minha mãe, Carmen Cruz López e a meu irmão Julio César Cruz,
pelos incansáveis incentivos a meu crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde para lutar por meus objetivos e colocado as pessoas certas em meu caminho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, pelas condições materiais e humanas oferecidas para realização do Curso de Doutorado. Ao IME pelo apoio e as facilidades fornecidas durante todo esse período.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro durante a realização do curso.

A minha orientadora a Professora SUZANA KAHN RIBEIRO pelos conhecimentos transmitidos em sala de aula, pela orientação, paciência e por sempre acreditar na minha capacidade para a realização deste trabalho.

À Professora VÂNIA BARCELLOS GOUVÊA CAMPOS do Instituto Militar de Engenharia (IME) pela amizade e pela participação na banca examinadora.

Ao Professor CARLOS ALBERTO NUNES COSENZA do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ pelos conhecimentos transmitidos em sala de aula e pela participação na banca examinadora.

Aos Professores, MARCIO PEIXOTO DE SEQUEIRA SANTOS do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ e LUIS ANTONIO LINDAU do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS pela participação na banca examinadora.

A meus “Escoteiros” a Professora MARIA CRISTINA FOGLIATTI DE SINAY e o Capitão KARY DE PAIVA pela amizade incondicional e o apoio em tempo real.

Aos amigos GLEICY KAREN ABDON ALVES PAES, BIANCA PEDRONI, HERLANDER COSTA ALEGRE DA GAMA AFONSO e AMILCAR SAMPEDRO TAMAYO pela força nos momentos de maior sufoco.

Aos amigos ERNESTO SABOYA, LUIS FERNANDO GUEDES e SANDRO FILIPPO pela ajuda oportuna.

Ao Ministério do Transporte, em especial o pessoal da biblioteca pelas informações disponibilizadas.

À empresa VALE em especial o Sr. CARLOS AUFFINGER pela ajuda para realizar a visita ao Porto de Itaguaí, ao Engenheiro ORLANDO FANTI e Sr. MARCIO CESAR pelo apoio na visita ao porto.

Aos funcionários da secretaria do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes JANI, HELENA, ALBERTO, REGINALDO e IEDA, por toda colaboração, auxílio e agilidade na realização dos serviços administrativos.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes pelos ensinamentos transmitidos.

À minha família pelo incentivo, carinho e apoio que sempre me proporcionaram

A meus amigos brasileiros e venezuelanos, pela força e pela lembrança no dia-a-dia.

Aos demais que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração desta tese.

Fazendo minhas as palavras de um grande amigo, AMILCAR SAMPEDRO TAMAYO, “Á nação brasileira pela oportunidade para minha superação Profissional e de Espírito” um “MUITO OBRIGADO”.

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

DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE GLOBAL PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE CARGA

Isolina Cruz

Março/2011

Orientadora: Suzana Kahn Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

A operação de um sistema de transporte é fator de desenvolvimento para qualquer região, pois, propicia acesso às atividades essenciais gerando benefícios econômicos.

Porém, esses benefícios geralmente são acompanhados de impactos negativos sobre o meio ambiente, principalmente se a operação não for monitorada, resultando em queda da qualidade de vida da população do entorno da via, assim como prejudicando o ambiente da área de influencia da mesma.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um procedimento para obtenção de um índice global, indicador do desempenho ambiental da operação do transporte de carga de forma a se ter um instrumento de auxílio na tomada de decisão, quanto à escolha de um modo de transporte de carga sustentável.

O índice proposto é obtido a partir da integração de indicadores representativos de possíveis danos ambientais associados às diversas atividades de cada modo na operação do transporte de carga. Esta integração é conseguida empregando a lógica fuzzy que permite tratar variáveis de naturezas qualitativa e quantitativa e que a partir de uma arquitetura de rede vá agregando, de uma camada intermediária para a seguinte, conjuntos de parâmetros até chegar ao Índice almejado.

Este índice auxiliara as empresas de carga no planejamento sustentável deste serviço, aos órgãos ambientais na fiscalização do mesmo e a sociedade com a preservação do meio ambiente lhe assegurando maior qualidade de vida.

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

DEVELOPMENT OF A GLOBAL INDEX FOR THE EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF SYSTEMS OF LOAD TRANSPORT

Isolina Cruz

March/2011

Advisor: Suzana Kahn Ribeiro

Department: Transportation Engineering

The operation of a transportation system is a factor of development for any region, because it provides access to essential activities generating economic benefits. However, these benefits are often accompanied by negative impacts on the environment, especially if the operation is not monitored, resulting in a lower quality of life of people living around the route, as well as harming the environment of the associate area of influence. The present work aims to develop a procedure for obtaining an overall index, an indicator of the environmental performance of the operation of freight transport in order to have an instrument in the decision-making regarding the choice of a sustainable mode of load transport.

The proposed index is derived from the integration of representative indicators of possible environmental damages associated to the diverse activities in the operation of each mode of freight transportation. This integration is achieved using fuzzy logic which can deal with variables of qualitative and quantitative nature and from a network architecture that aggregate tier to reach the desired level. This index will assist enterprise in the planning of sustainable service, environmental agencies in the managements the service and the society preserving the environmental and insuring for it a higher quality of life.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Introdução ao Problema	001
1.2 – Relevância do Trabalho	002
1.3 – Objetivo e Hipóteses da Tese	005
1.4 – Originalidade	006
1.5 – Estrutura do Trabalho.....	006

2 – SISTEMAS DE TRANSPORTE DE CARGA (STC)

2.1 – Evolução Histórica do Desenvolvimento do STC no Brasil.....	008
2.2 – Modais de Transporte para Carga	010
2.2.1 – Transporte Ferroviário.....	010
2.2.2 – Transporte Hidroviário.....	012
2.2.3 – Transporte Rodoviário.....	015
2.2.4 – Transporte Aéreo.....	017
2.2.5 – Transporte Dutoviário.....	018
2.3 – Comparação entre os modos	020
2.3.1 – Características Operacionais.....	020
2.3.2 – Quantidade de Carga Transportada.....	021
2.3.3 – Eficiência Energética.. ..	022
2.4 – Impactos Ambientais associados ao Sistema de Transporte de Carga.....	024
2.4.1 – Atividades associadas à Operação do Transporte Ferroviário.....	027
2.4.2 – Atividades associadas à Operação do Transporte Hidroviário.....	035
2.4.3 – Atividades associadas à Operação do Transporte Rodoviário.....	038
2.4.4 – Atividades associadas à Operação do Transporte Aéreo.....	041
2.4.5 – Atividades associadas à Operação do Transporte Dutoviário.....	043
2.4.6 – Tipo Combustível.....	045
2.5 – Considerações Finais.....	047

3 – ÍNDICE DE DESEMPENHO AMBIENTAL E LÓGICA FUZZY

3.1 – Indicadores Ambientais.....	048
3.1.1 – Síntese Histórica do Desenvolvimento dos Indicadores Ambientais	050
3.1.2 – Modelos para Sistematizar o uso dos Indicadores Ambientais	051

3.1.3 – Indicadores Ambientais associados aos Sistemas de Transporte....	056
3.2 – Índice de Desempenho Ambiental.....	061
3.2.1 – Experiências Internacionais de Índices Ambientais.....	062
3.2.2 – Experiências Nacionais de Índices Ambientais.....	064
3.3 – Modelos de Avaliação de Impactos Ambientais.....	066
3.4 – Lógica Fuzzy.....	067
3.4.1 – Conceitos e Breve Resenha Histórica.....	067
3.4.2 – Lógica Fuzzy versus Lógica Clássica	070
3.4.3 – Sistema de Inferência Fuzzy.....	070
3.4.4 – Tecnologia Neuro-Fuzzy.....	078
3.5 – Considerações Finais	081
 4 – PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE UM ÍNDICE GLOBAL DE DESEMPENHO AMBIENTAL (IGDA) POR MEIO DA LÓGICA FUZZY	
4.1 – Considerações Iniciais	082
4.2 – Procedimento Proposto.....	083
4.2.1 – Etapa 1: Caracterização da OSTC.....	084
4.2.2 – Etapa 2: Definição das Atividades da OSTC e impactos ambientais negativos associados.....	089
4.2.3 – Etapa 3: Definição dos Indicadores.....	089
4.2.4 – Etapa 4: Fuzzificação.....	093
4.2.5 – Etapa 5: Elaboração da Arquitetura da Rede Neurofuzzy.....	096
4.2.6 – Etapa 6: Procedimento de Inferência.....	098
4.2.7 – Etapa 7: Defuzzificação.....	100
4.3 – Considerações Finais	101
 5 – ESTUDO DE CASO HIPOTÉTICO	
5.1 –Considerações Iniciais.....	102
5.2 –Definição do Problema.....	102
5.3 – Trecho e Via para Avaliação.....	103
5.4 – Caracterização do Terminal, do Veículo, da Carga e do Processo de Descarga/Carga	103
5.5 – Atividades e possíveis Impactos Ambientais Negativos.....	107
5.6 – Variáveis de Entrada e Indicadores.....	108

5.7 – Sistema Fuzzy.....	110
5.7.1 – Fuzzificação.....	112
5.7.2 –Procedimento de Inferência.....	117
5.7.3 – Defuzzificação.....	121
5.8 – Considerações Finais.....	123
 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
 APÊNDICES	
I – Exemplos de Questionários.....	129
II – Construção Conjuntos Fuzzy.....	132
III – Bases de Regras.....	151
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	164

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 : Participação do modo rodoviário na matriz de carga (tku)	009
Figura 2.2 : Mapa da malha ferroviária Brasileira	010
Figura 2.3 : Malhas regionais	011
Figura 2.4 : Principais hidrovias Brasileiras	013
Figura 2.5 : Principais portos Brasileiros	014
Figura 2.6 : Evolução da movimentação de cargas por natureza	015
Figura 2.7 : Malha rodoviária do Brasil	015
Figura 2.8 : Estado da malha rodoviária	016
Figura 2.9 : Aeroportos com Terminais de Carga (TECA)	017
Figura 2.10 : Mapa das dutovias	019
Figura 2.11 : Participação por modo na matriz de transporte de cargas no Brasil ...	022
Figura 2.12 : Matriz de transporte de cargas atual e futura no Brasil	022
Figura 2.13 : Matriz Energética Setor Transporte de Carga	024
Figura 2.14 : Passagens de Via	031
Figura 2.15 : Terminais de Carga	033
Figura 2.16 : Percentual de contribuição por tipo de ocorrência 1998 - 2007	043
Figura 2.17 : Quantidade de Acidentes (1987 – junho 2008)	045
Figura 3.1 : Estrutura PER para Organização e Apresentação de Informação Ambiental	053
Figura 3.2 : Estrutura Conceptual do Modelo Pressão-Estado-Resposta-Efeitos	054
Figura 3.3 : Estrutura Conceptual do Modelo DPSIR	055
Figura 3.4 : Relação entre Indicadores Operacionais, de Condição e de Gestão	056
Figura 3.5 : Modelo PER ajustado para a elaboração de indicadores ambientais setoriais	057
Figura 3.6 : Modelo PER ajustado para indicadores ambientais para o transporte ..	058
Figura 3.7 : Modelo PER ajustado da EPA para indicadores dos impactos ambientais do transporte	059
Figura 3.8 : Pirâmide de Informação.....	061
Figura 3.9 : Estrutura geral de um sistema de inferência fuzzy	071
Figura 3.10 : Função de pertinência triangular	073
Figura 3.11 : Função de pertinência trapezoidal	074
Figura 3.12 : Complemento Fuzzy	075

Figura 3.13 : Interseção Fuzzy	075
Figura 3.14 : União Fuzzy	075
Figura 3.15 : Arquitetura das Redes Neurais Artificiais	079
Figura 3.16 : Modelo Simplificado de Neurônio Artificial com pesos	079
Figura 3.17 : Exemplo de um sistema Neuro-Fuzzy	080
Figura 4.1 : Estrutura das etapas do Procedimento	084
Figura 4.2 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMF	090
Figura 4.3 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMB	091
Figura 4.4 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMA	092
Figura 4.5 : Exemplo do Diagrama estrutural do ITC	093
Figura 4.6 : Exemplo de conjuntos fuzzy para a variável de entrada Queda da carga na via	095
Figura 4.7 : Conjuntos fuzzy genéricos para as variáveis qualitativas	095
Figura 4.8 : Exemplo de Arquitetura da Rede Neurofuzzy	097
Figura 4.9 : Conjuntos fuzzy da variável de saída, IGDA	101
Figura 5.1 : Percurso Mina/Terminal	103
Figura 5.2 : Empilhadeira/Recuperadora	104
Figura 5.3 : Carregador de Navio	104
Figura 5.4 : Virador de Vagões	105
Figura 5.5 : Cabine do operador	106
Figura 5.6 : Diagrama estrutural do IQMF	108
Figura 5.7 : Diagrama estrutural do IQMB	109
Figura 5.8 : Diagrama estrutural do IQMA	109
Figura 5.9 : Diagrama estrutural do ITC	109
Figura 5.10 : Conjuntos fuzzy variável Poeira do minério de ferro	114
Figura 5.11 : Conjuntos fuzzy variável Interferência atividades	115
Figura 5.12 : Arquitetura da Rede Neurofuzzy	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 : Principais Produtos Transportados por Concessionária	012
Tabela 2.2 : Carga Transportada em Toneladas	019
Tabela 2.3 : Carga Transportada por Modo	021
Tabela 2.4 : Consumo de Energia por Setor (%)	023
Tabela 2.5 : Consumo Energético por Modalidade	023
Tabela 2.6 : Níveis de Ruídos e suas Conseqüências	029
Tabela 2.7 : Limites de Vibração em dB(V)	029
Tabela 2.8 : Número de Acidentes Ocorridos com Trens de Carga por Causa 2004- 2008	031
Tabela 2.9 : Origem dos Ruídos	040
Tabela 2.10 : Número de Acidentes Ocorridos nas Rodovias Federais Policiadas por Região 2004 – 2008	041
Tabela 2.11 : Distribuição das causas dos acidentes com dutos (1980 a 2006)	044
Tabela 2.12 : Consumo de Óleo Diesel por Modo de Transporte	046
Tabela 2.13 : Emissões de CO2 por Modo de Transporte	046
Tabela 4.1 : Equipamentos	088
Tabela 4.2 : Variáveis de entrada e suas características	093
Tabela 4.3: Exemplo Hipotético de Base de Regras	098
Tabela 5.1 : Composição química (%) do Sinter Feed	105
Tabela 5.2 : Variáveis de entrada	110
Tabela 5.3 : Valores atribuídos às variáveis de entrada quantitativas	111
Tabela 5.4 : Graus atribuídos às variáveis de entrada qualitativas	112
Tabela 5.5 : Vetores lingüísticos variável Poeira mineiro de ferro	112
Tabela 5.6 : Vetores lingüísticos variável Interferência atividades de recreação e lazer	114
Tabela 5.7 : Vetores Lingüísticos das variáveis de entrada quantitativas	116
Tabela 5.8 : Vetores Lingüísticos das variáveis de entrada qualitativas	117
Tabela 5.9: Base de regras do BI-3	119
Tabela 5.10 : Vetores lingüísticos da primeira camada	120
Tabela 5.11: Vetores lingüísticos da segunda camada	121
Tabela 5.12 : Vetores lingüísticos da terceira camada	121
Tabela 5.13 : Resultado Defuzzificação	122

Tabela 5.14 : Interpretação da escala do Desempenho Ambiental	123
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

AEA	Agência Européia do Ambiente
AETT	Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres
ALL	América Latina Logística do Brasil S. A.
ANA	Associação Nacional das Águas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTF	Associação Brasileira de Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BI	Bloco de Inferência
CADEQ/SP	Cadastro de Emergências Químicas do São Paulo
CCO	Centro de Comunicação e Operação
CENIPA	Centro de Investigação de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CENTRAN	Centro de Excelência em Engenharia de Transportes
CEPA/USP	Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada do Instituto de Física da Universidade de São Paulo
CETESB/SP	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONESAM	Conselho Estadual de Saneamento Ambiental
CPIF	Corredores Prioritários para a Interligação de Fragmentos Florestais
DAC	Departamento de Aviação Civil
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura em Transporte
DJSI	Índice <i>Dow Jones</i> de Sustentabilidade
DPRF	Departamento de Polícia Rodoviária Federal
DPSIR	<i>Driving Pressures State Impacts Responses</i>
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EFJ	Estrada de Ferro do Jari
EFMRN	Estrada de Ferro da Mineração Rio do Norte
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
FCA	Ferrovia Centro Atlântica
FC	Fator de Certeza

FC _n	Fator de Certeza da regra n correspondente
FDIS	<i>Field Data Information System</i>
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FERROBAN	Ferrovia Bandeirantes
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
FTC	Ferrovia Tereza Cristina
GdC	Graus de Certeza
GdC _n	Graus de Certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final
GdCPS	Grau de Certeza do parâmetro de saída
GdCPE _i	Grau de Certeza do parâmetro de entrada i; i = 1,2,3
GEE	Gases Efeito Estufa
IAC	Instituto de Aviação Civil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAF	Instituto de Ciências da Atividade Física da Aeronáutica
IDA	Índice de Desempenho Ambiental
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDIG	Índice de Desenvolvimento Humano ajustado ao Gênero
IDPA	Índice para Avaliação de Desempenho da Política Pública de Meio Ambiente
IFI	Instituto de Fomento e Coordenação Industrial
IGDA	Índice Global de Desempenho Ambiental
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima
IPH	Índice de Pobreza Humana
IQMA	Indicador da Qualidade do Meio Antrópico
IQMB	Indicador da Qualidade do Meio Biótico
IQMF	Indicador da Qualidade do Meio Físico
IQM-Verde	Índice de Qualidade Municipal – Verde
IQUS	Índice de Qualidade de Uso do Solo e da Cobertura Vegetal
ISA	Índice de Salubridade Ambiental
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO	Organização Internacional para a Normalização

ITC	Indicador dos Transtornos no Clima
MME	Ministério de Minas e Energia
NEPA	Política Ambiental Americana
NEPP	Plano de Política Ambiental Nacional Holandesa
OECD	Organização para a Cooperação do Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
OSTC	Operação do Sistema do Transporte de Carga
PER	Pressão-Estado-Resposta
PIB	Produto Interno Bruto
PNLT	Plano Nacional de Logística e Transporte
PNMC	Plano Nacional sobre Mudança do Clima
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROCONVE	Programa de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PUC	Pontifícia Universidade Católica
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S. A.
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente
SERAC	Serviços Regionais de Aviação Civil
STC	Sistema de Transporte de Carga
TECAS	Terminais de Carga
TKU	Toneladas Quilômetros Úteis
TRANSPETRO	Petrobras Transporte S.A.
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
USEPA	Agência de Proteção do Ambiente Norte Americana
WRI	<i>World Resources Institute</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – Introdução ao Problema

O sistema de transporte de carga é essencial para a movimentação da economia de um país. Sem este sistema os produtos não chegariam até seus consumidores, as indústrias não teriam acesso as matérias-primas e nem teriam condições de escoar sua produção (ERHART *et al.*, 2006).

Contudo, enquanto os sistemas de transportes são essenciais à sociedade moderna, com benefícios econômicos significativos para a mesma, nas diferentes etapas de um projeto de transporte, quais sejam: planejamento, projeto, construção e operação, os diferentes constituintes do meio ambiente são impactados negativamente em maior ou menor grau, em função do tipo e do porte do projeto de transporte que se deseja implementar, bem como em função das características ambientais da região na qual o mesmo será inserido (FOGLIATTI *et al.*, 2004).

Vale destacar que na entrada em operação de um sistema de transporte poderão ocorrer tanto impactos negativos que foram previstos nas fases de planejamento e projeto, como impactos imprevistos sendo que estes últimos podem ser diferentes segundo as características particulares das atividades desenvolvidas na operação, cabendo, então o monitoramento e o controle de todos os impactos (previstos e imprevistos).

A preservação do meio ambiente é uma das diretrizes a ser seguida por todo setor produtivo preocupado com sua manutenção sustentável no mercado. A legislação ambiental nesta direção é extensa e rigorosa na maioria dos países não sendo exceção no Brasil, cuja Constituição dedica um capítulo inteiro ao tema.

Nos dias atuais, com os processos de desestatização e concessão (principalmente para os modos ferroviário e rodoviário e em menos escala para o hidroviário) e a posição do governo brasileiro quanto a sua intenção declarada na Constituição Federal de atuação no controle dos passivos ambientais criados pela operação de qualquer atividade com potencial poluidor, a inclusão das variáveis ambientais no planejamento e operação é um requisito básico.

Por conta disto, verifica-se a necessidade da elaboração de um procedimento para desenvolver um índice visando a avaliação do desempenho ambiental da operação de transportes de carga. Este índice auxiliaria as empresas de carga no planejamento

sustentável deste serviço, aos órgãos ambientais na fiscalização desses e a sociedade com a preservação do meio ambiente lhe assegurando maior qualidade de vida.

1.2 – Relevância do Trabalho

No funcionamento do sistema econômico, o setor de transportes desempenha papel fundamental na prestação de serviços que são utilizados, praticamente, por todas as unidades produtivas. Além disto, o setor de transporte é também responsável por suprir as demandas dos setores de matérias-primas, por apoiar o deslocamento da mão-de-obra, bem como por viabilizar a distribuição da produção final. (BARAT, 1978, *apud* PAIVA, 2004)

Um “Sistema de Transporte” é definido como o conjunto formado pelos seguintes elementos: meio de transporte (veículos/equipamentos), via de transporte (percurso), instalações (terminais para carga, descarga e armazenagem) e atividades de controle. Dependendo destes elementos, tem-se os diferentes modais (rodo, ferro, aéreo, hidroviário e dutoviário) que podem ser utilizados separados ou combinados, neste último caso tem-se a multimodalidade.

A eficiência e a integração entre os diversos modais de transportes são fatores fundamentais para o crescimento econômico de uma nação, pois permitem o deslocamento das pessoas, a acessibilidade a educação, a informação, a saúde, a comercialização de bens, a integração social e a criação de pólos comerciais, industriais e de lazer. Além de representar um fator positivo para a vida econômica dos países, a existência de sistemas de transportes eficientes significa uma contribuição para o bem-estar da vida diária dos cidadãos.

Podem-se distinguir quatro fases relacionadas a um projeto de transporte: planejamento, projeto, construção e operação.

A etapa de planejamento abrange estudos de localização e de mercado, análise de viabilidade técnica e econômica e avaliações políticas e sociais que geram expectativas principalmente no meio sócio-econômico, pois pode induzir o desenvolvimento de movimentos migratórios, alterações do mercado imobiliário e reações de grupos e entidades organizadas da sociedade civil.

Na etapa de projeto são fortalecidas algumas expectativas criadas na fase de planejamento, acelerando as suas implicações e causando impactos no meio sócio-econômico.

A etapa de construção é considerada como a que mais impacta diretamente o meio físico. Na realização de obras em geral, são exigidas sempre maiores áreas que as da própria obra, acarretando alterações da paisagem natural e eventuais bloqueios a passagens, em áreas urbanizadas por exemplo. O meio biótico pode ser impactado devido a algumas técnicas construtivas, por vezes agressivas a certos ecossistemas. E o meio antrópico é colocado em situações de risco podendo sofrer acidentes e perdas de produtividade.

Na entrada em operação de um sistema de transporte irão ocorrer os efeitos decorrentes da utilização do mesmo, da redistribuição da acessibilidade e das movimentações na área de influência prevista. Poderão ocorrer tanto impactos que foram previstos nas fases de planejamento e projeto, como impactos imprevistos, cabendo a partir daí o monitoramento e o controle dos mesmos.

No Brasil, os diferentes modos de transporte foram construídos e instalados há muitos anos. Assim, sua operação e manutenção adotaram procedimentos estabelecidos em uma época em que as variáveis ambientais não eram consideradas na forma como o são hoje em dia.

Entretanto nos dias atuais e não diferente aos demais países do mundo, Brasil exige a valoração e o cuidado com as questões ambientais por todos os setores.

É possível identificar cinco eventos que marcaram de forma direta a trajetória da Política Ambiental no mundo: a promulgação da Política Ambiental Americana, em 1969 (NEPA), a realização da Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, em 1972, o trabalho realizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que resultou na publicação do relatório “Nosso Futuro Comum” em 1987 e a realização da Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro, em 1992.

A partir destes eventos configuraram-se concepções, modalidades e instrumentos de política ambiental diferenciados no tempo. Os eventos do final da década de 60 e do início da década de 70 desencadearam um processo de estruturação institucional e de formulação de políticas ambientais nos diferentes países. Estas políticas caracterizavam-se pela sua ótica essencialmente corretiva, centrada de forma predominante na introdução de mecanismos de controle da poluição.

Já nos anos 80 as políticas ambientais direcionaram-se para um enfoque de tipo preventivo. Data deste período, em quase todos os países do mundo ocidental, a introdução dos Estudos de Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento de prevenção e de auxílio à tomada de decisão.

A evolução da política e da gestão ambiental no Brasil se deu de forma relativamente consoante com o quadro internacional. Evidentemente este processo foi marcado por especificidades econômicas, políticas e culturais que fizeram com que as diferentes fases observadas a nível internacional se apresentassem por vezes defasadas e por vezes sobrepostas ao caso brasileiro.

A década de 70 representou para o Brasil uma fase de estruturação no campo ambiental, principalmente, do ponto de vista institucional. Datam deste período a criação a nível federal da SEMA (Secretaria de Meio Ambiente) e de alguns órgãos estaduais como a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) no Rio de Janeiro.

Embora alguns estados tenham implementado neste período instrumentos de gestão ambiental e embora a própria federação já possuísse algumas normativas anteriores, como o Código de Águas de 1934, a Lei de Proteção de Florestas de 1965, a Lei de Proteção da Fauna de 1967, dentre outras, uma política ambiental efetiva e orgânica só foi implantada no Brasil em 1981 com a Lei 6938 que instituiu a Política e o Sistema Nacional do Meio Ambiente. Desde sua promulgação, a política ambiental brasileira foca tanto o plano corretivo quanto o preventivo.

Datam igualmente da década de 80 as regulamentações relativas ao estabelecimento de padrões de qualidade da água e de efluentes, o Programa de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (Resoluções CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 020/86 e 018/86 respectivamente) e a relativa ao desenvolvimento de Estudos de Avaliação de Impacto Ambiental por parte de atividades com potencial poluidor (Resolução CONAMA 001/86).

Na década de 90, especificamente em 1997, foi promulgada a regulamentação federal sobre Licenciamento Ambiental de atividades poluidoras (Resolução CONAMA 237/97) enquanto continuaram sendo elaboradas no período, normas para controle de emissões gasosas e ruído dentro de uma ótica de política claramente corretiva.

Também nesta década foi incorporado um novo instrumento discutido na Europa, qual seja, o de Auditoria Ambiental (MAGRINI, 2001), processo de verificação sistemática e documentada que permite obter e avaliar de uma forma objetiva evidências, a fim de determinar se as atividades, eventos, condições, sistemas de gestão relativos ao ambiente ou informações acerca desta matéria, estão em conformidade com os critérios da auditoria.

Destaca-se a publicação pelo Ministério dos Transportes de junho do 2002 das políticas ambientais que tem como diretrizes a viabilidade ambiental dos empreendimentos de transporte, o respeito às necessidades de preservação ambiental e a sustentabilidade ambiental dos transportes, na busca de um gerenciamento ambiental baseado nas Normas ISO 14000.

Um dos principais desafios da construção do desenvolvimento sustentável é o de criar instrumentos de mensuração, instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável (IBGE, 2002).

O uso de indicadores ambientais permite quantificar, analisar e traduzir fenômenos ambientais, de modo a torná-los compreensíveis às partes interessadas. Possibilita também o planejamento e o controle da qualidade de serviços e processos, pelo estabelecimento de padrões, pela comparação com estes e pela apuração de desvios ocorridos, viabilizando a análise da qualidade verificada nos diversos segmentos da organização. Como os diversos indicadores se referem apenas a um elemento do meio ambiente é necessário criar uma forma de tratá-los de forma integrada que permita a avaliação global do desempenho operacional do objeto de estudo. Esta forma integrada é chamada de índice de desempenho ambiental.

Por se tratar de um processo no qual grande parte de seus atributos possuem características de subjetividade, onde a experiência do tomador de decisão é bastante significativa, é necessária a utilização de uma ferramenta que permita a associação de variáveis quantitativas e qualitativas convergentes a um único parâmetro de avaliação.

1.3 - Objetivo e Hipótese da Tese

A presente tese tem como objetivo, desenvolver um procedimento para obtenção de um índice global, indicador do desempenho ambiental da operação do transporte de carga de forma a se ter um instrumento de auxílio na tomada de decisão, quanto à escolha de um modo de transporte de carga sustentável.

Este índice resultará da integração de um conjunto de indicadores pré-selecionados e que representaram os danos ambientais que os diversos modos de transporte de carga podem provocar. Esta integração de indicadores será obtida a partir do uso da lógica fuzzy, ferramenta adequada para tal, por ser uma ferramenta que permite traduzir expressões verbais qualitativas e vagas em valores numéricos, além de utilizar um

procedimento de agregação que compara as alternativas por um critério único, sintetizando as avaliações parciais.

1.4 – Originalidade

Até o início da década dos 70, alternativas de ações eram decididas apenas com a avaliação da relação benefício/custo. Na década de 80 e boa parte dos 90 as variáveis ambientais eram levadas em consideração apenas para cumprir obrigações legais.

Acompanhando a mudança de paradigmas em que não apenas deve ser considerada a relação benefício/custo, mas também a sustentabilidade de uma dada ação para seleção de alternativas, nesta tese é criado um índice representativo do Desempenho Ambiental das diversas alternativas de modos de transporte de carga.

Este índice é obtido a partir da integração de indicadores representativos de possíveis danos ambientais associados às diversas atividades de cada modo na operação do transporte de carga. Esta integração é obtida empregando a lógica fuzzy que permite tratar variáveis de natureza qualitativa/quantitativa.

1.5 - Estrutura do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em 6 (seis) capítulos:

No Capítulo 1, apresentam-se considerações iniciais sobre o tema proposto, bem como a relevância, o objetivo e hipótese do trabalho e a originalidade, assim como, a estrutura do mesmo.

O Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica no sentido de coletar informações sobre o transporte de carga no Brasil. A revisão bibliográfica abrange, principalmente, a evolução histórica do desenvolvimento dos sistemas de transporte de carga no Brasil, a comparação entre os diferentes modais em função das características operacionais e do consumo energético, além das atividades desempenhadas na operação do transporte de carga e os impactos ambientais negativos que podem ser gerados nas mesmas.

No Capítulo 3, apresentam-se conceitos e métodos mais utilizados sobre indicadores ambientais, apresentando os diferentes indicadores desenvolvidos no mundo relacionados ao sistema de transportes, além do estado da arte relacionado com índices ambientais, abordando conceitos e definições e as diferentes experiências tanto

nacionais como internacionais no desenvolvimento de índices relacionados ao sistema de transporte. Ainda neste capítulo, apresenta-se um histórico, a conceituação e a descrição das diversas etapas da lógica fuzzy e da tecnologia neuro-fuzzy

No Capítulo 4, é apresentada a proposta do procedimento que permite a obtenção de um índice global de desempenho ambiental da operação dos sistemas de transporte de carga.

No Capítulo 5, com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão do procedimento proposto, é apresentado um estudo de caso hipotético de uma avaliação do transporte de carga de minério de ferro por transporte ferroviário.

No Capítulo 6, apresentam-se as conclusões do trabalho e as recomendações para estudos futuros.

São disponibilizados dois Apêndices com os questionários aos especialistas para geração dos conjuntos fuzzy e as bases de regras do modelo fuzzy.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE TRANSPORTES DE CARGA (STC)

Um “Sistema de Transporte” é definido como o conjunto formado pelos seguintes componentes físicos: meio de transporte (veículos/equipamentos), via de transporte, instalações de apóio (terminais para carga, descarga e armazenagem) e atividades de controle (conjunto de equipamentos de detecção, comunicação e sinalização). Dependendo destes elementos, tem-se os cinco diferentes modais, quais sejam: rodoviário, ferroviário, aéreo, hidroviário e dutoviário.

Este sistema é essencial para a movimentação da economia de um país, sem ele os produtos não chegariam até seus consumidores, as indústrias não teriam acesso as matérias-primas e nem teriam condições de escoar sua produção (ERHART *et al.*, 2006).

Neste capítulo apresenta-se o estado da arte dos diferentes modos do transporte de carga na fase de operação. Para tanto, desenvolve-se uma breve resenha da evolução histórica do sistema de transporte de carga no Brasil, seguida dos diferentes modais de transporte. Além disto, é feita a comparação entre as características operacionais, os tipos de carga e o consumo energético das diferentes modalidades. Por fim, são listados os impactos negativos que podem ser gerados em cada uma das atividades associadas.

2.1 – Evolução Histórica do Desenvolvimento do STC no Brasil

A força muscular dos índios e suas primitivas embarcações foram os primeiros modos de transporte de carga utilizados no Brasil, mais especificamente no litoral para transportar o pau-brasil (BRASILEIRO *et al.*, 2001). Esgotado este produto na região litorânea do País houve a necessidade da extração do mesmo no interior. Assim, surgiram ao longo dos séculos XVI, XVII até o XVIII as tropas, onde mulas e cavalos foram responsáveis pelo transporte de cargas como alimentos, ouro, cana-de-açúcar e algodão, e também os românticos carros-de-boi, ainda hoje utilizados em alguns pontos do país para puxar arados e transportar pessoas (FETRANSPOR, 2008).

A utilização de rios como vias navegáveis interiores foi uma das formas de consolidar a ocupação do território brasileiro desde o descobrimento do Brasil. O início da utilização de vários rios foi 1750, para deslocamento do litoral para o interior. Mas foi solo a partir de meados de 1930 que foram promulgadas leis, pelo presidente Getúlio

Vargas, que instituíam a obrigatoriedade de sinalização nos rios brasileiros, visando garantir a segurança da navegação.

Segundo SIMÕES (2003) as rotas aéreas comerciais no Brasil foram estabelecidas a partir de 1924, com a expansão das rotas aéreas internacionais, que eram operadas pelas companhias aéreas pioneiras, constituídas na Europa e nos Estados Unidos na década de 20. Os primeiros projetos para implantação de uma rota aérea no Brasil foram realizados em 1924, pela Aéropostale, uma empresa francesa de serviços postais.

Na década de 30, surgiram as primeiras empresas brasileiras de transporte aéreo (Varig e Vasp) e foram estabelecidas as linhas básicas do sistema doméstico brasileiro, bem como algumas linhas internacionais entre o Brasil e países vizinhos.

Nos anos 50, começaram a operar os primeiros vôos de cargas intercontinentais, mas foi somente na década de 70 que a carga aérea passou a ocupar um papel de maior destaque na aviação comercial brasileira.

O surgimento das ferrovias no Brasil foi, ao longo da segunda metade do século XIX, ligando o interior aos portos. As ferrovias vieram preencher uma lacuna aberta pelo transporte hidroviário, que não suportava cargas pesadas a grandes distâncias, e apresentava dificuldades em transpor barreiras naturais como montanha e serras.

Com a aceleração do processo industrial a partir da segunda metade do século XX, a política para o setor de transporte concentrou os recursos no modo rodoviário, especialmente para o transporte dos produtos da indústria pesada e aqueles relacionados com a extração mineral (CEPA, 2008). Consolidada, essa matriz pouco se alterou nas décadas seguintes como se observa na Figura 2.1.

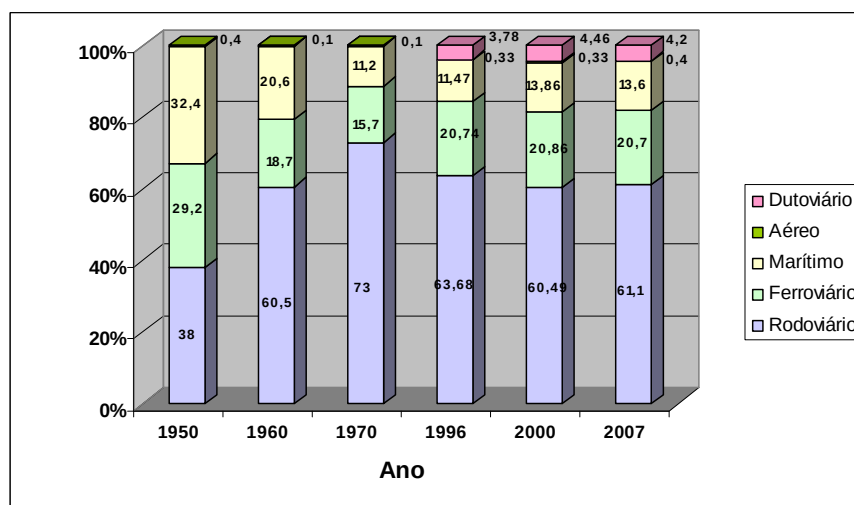


Figura 2.1: Participação do modo rodoviário na matriz de carga (TKU)

Fonte: BARAT (1978) & CNT (2008)

2.2 - Modais de Transporte para Carga

Como mencionado anteriormente, existem cinco modos de transporte de carga. Estes são descritos a seguir.

2.2.1 - Transporte Ferroviário

Conforme a ANTT (2009) este modo caracteriza-se, especialmente, por sua capacidade de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. São cargas típicas deste modo: produtos siderúrgicos, grãos, minério de ferro, cimento e cal, adubos e fertilizantes, derivados de petróleo, calcário, carvão mineral e clínquer e contêineres.

A malha ferroviária brasileira tem um total de 29.706 quilômetros, dos quais 28.840 quilômetros foram concedidos. A maior parte das ferrovias está localizada nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do país, como pode ser observado na Figura 2.2.

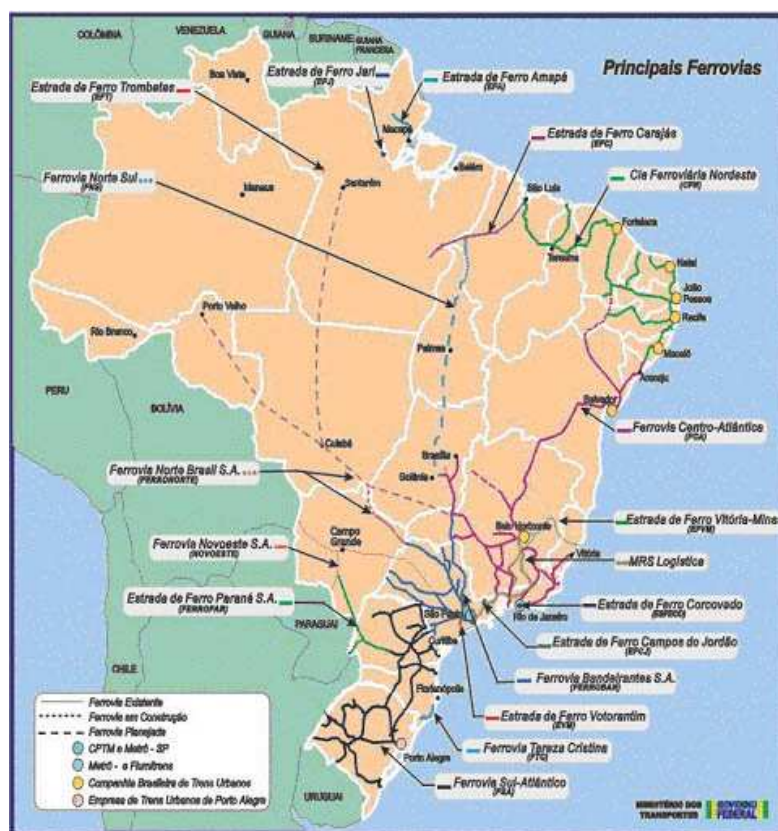


Figura 2.2: Mapa da malha ferroviária Brasileira

Fonte: ANTT (2009)

A malha ferroviária concedida oriunda da RFFSA foi subdividida em seis (6) malhas regionais, quais sejam: a Malha Nordeste, operada pela companhia Ferroviária do Nordeste; a Malha Centro-Leste, operada pela companhia Ferrovia Centro-Atlântica S. A; a Malha Sudeste, operada pelo Consorcio MRS; a Malha Sul, operada pela companhia ALL –América Latina Logística do Brasil S. A.; a Malha Oeste operada pela companhia Ferrovia Novoeste S. A; a Malha Paulista, operada pela companhia Ferrovias Bandeirantes S. A. e a Ferrovia Teresa Cristina conforme apresentado na Figura 2.3

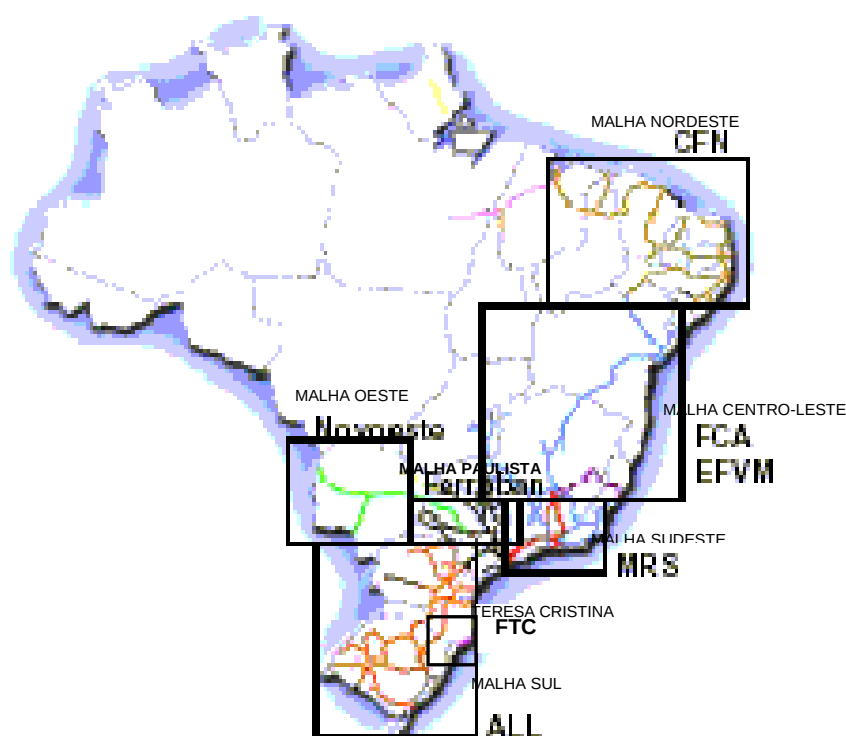


Figura 2.3: Malhas regionais

Fonte: CNT-COPPEAD (2002)

Segundo Relatório da ANTT (2007), os principais produtos transportados por estas empresas são os apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 : Principais Produtos Transportados por Concessionária

Concessionárias	Produto
CFN	Minério, produtos siderúrgico e agrícolas, carvão, combustível e cimento
FCA	Minério, produto siderúrgico, carvão, combustível, soja e farelo e cimento e material de construção
EFVM	Minério, produtos siderúrgico e agrícolas e carvão
MRS	Minério, produtos siderúrgico, carvão, soja e farelo
FTC	Carvão e coque, cimento e cerâmica
ALL	Produto agrícolas, soja e farelo, combustível, fertilizante e cimento
NOVOESTE	Minério, soja e farelo, combustível e carga geral
FERROBAN	Minério, produto agrícola, fertilizante, soja e farelo e açúcar

Fonte: ANTT (2007)

No mesmo relatório é apresentada a evolução do serviço, sendo que em função da carga transportada, da produção de transporte, da frota e dos investimentos, observa-se um crescimento representativo. Em função destes resultados de crescimento, no Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT) desenvolvido pelo Centro de Excelência em Engenharia de Transportes – CENTRAN em abril de 2007, se especifica que as metas contratuais de produção e segurança das concessões ferroviárias vêm sendo cumpridas, com poucas exceções, e até superadas em alguns casos. Mas que existe a necessidade de efetiva mudança com melhor equilíbrio na atual matriz de transporte de carga do País, tirando partido de sua eficiência energética e produtividade no deslocamento de fluxos de maior densidade e distância de transporte.

Por conta disto, no PNL T foi dada ênfase a ações e projetos de adequação e expansão do sistema ferroviário buscando sua melhor integração multimodal com o sistema rodoviário, para o qual se propõe um concentrado esforço de restauração e manutenção, acompanhado de algumas importantes obras de construção e ampliação de capacidade.

2.2.2 - Transporte Hidroviário

O transporte hidroviário no Brasil engloba o Transporte Hidroviário Interior (realizado através de rios, lagos, lagoas, baías, angras, enseadas e canais de um país) o Transporte Marítimo de Longo Curso (que se realiza por navios mercantes entre portos de diferentes países) e o Transporte de Cabotagem (que se realiza entre portos de um mesmo país). (FILIPPO, 2000).

O Brasil possui uma extensa malha hidroviária interior, com cerca de 40.000 km de

rios constituídos por hidrovias fisicamente aproveitáveis para a navegação interior. Cerca de 28.000 km deste total são naturalmente navegáveis, mesmo que por vezes em precárias condições. Do total de quilômetros navegáveis a Associação Nacional das Águas – ANA reconhece apenas 10 mil quilômetros apropriados para o transporte de carga. (DRUMOND, 2008).

As principais hidrovias encontram-se nas bacias: Amazônica, Nordeste, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Sudeste e Uruguai, como pode ser observado na Figura 2.4.



Figura 2.4: Principais hidrovias Brasileiras

Fonte: ANA (2009)

Além disto, o Brasil tem mais de 4 mil quilômetros de costa atlântica navegável, respondendo assim por mais de 90% do transporte internacional. As atividades portuárias e marítimas são imprescindíveis para as relações de comércio exterior. Compõem uma indústria mundial onde prevalece o transporte de cargas, que envolve expressivo número de navios e terminais. A atividade dos terminais atende a diversos mercados em função das características técnicas e especificidades de cada instalação portuária (Pesquisa Aquaviária – CNT, 2006). A figura 2.5 mostra os principais portos brasileiros divididos por regiões.



Figura 2.5: Principais Portos Brasileiros

Fonte: ANTAQ (2009)

Em relação à carga transportada, o transporte hidroviário é utilizado para o transporte de granel sólido, granel líquido, e carga geral. Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) *apud* DRUMOND (2008), o granel sólido, com grãos como principal produto, é o mais representativo dentre os tipos de carga, como pode ser observado na Figura 2.6. Além disto, na mesma figura pode ser observada a evolução da movimentação das cargas. Mesmo com esta evolução, a participação do transporte hidroviário na matriz de transporte ainda é muito baixa, 13,6%.

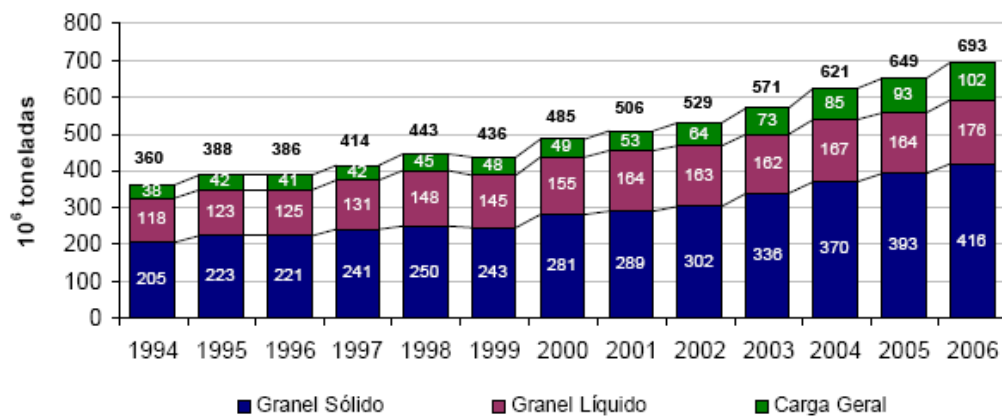


Figura 2.6: Evolução da movimentação de cargas por natureza

Fonte: ANTAQ *apud* DRUMOND (2008)

Assim, com o intuito de adequar e expandir o transporte hidroviário buscando sua melhor integração multimodal com o sistema rodoviário foi proposto no PNLT um concentrado esforço de restauração e manutenção, acompanhado de algumas importantes obras de construção e ampliação de capacidade.

2.2.3 - Transporte Rodoviário

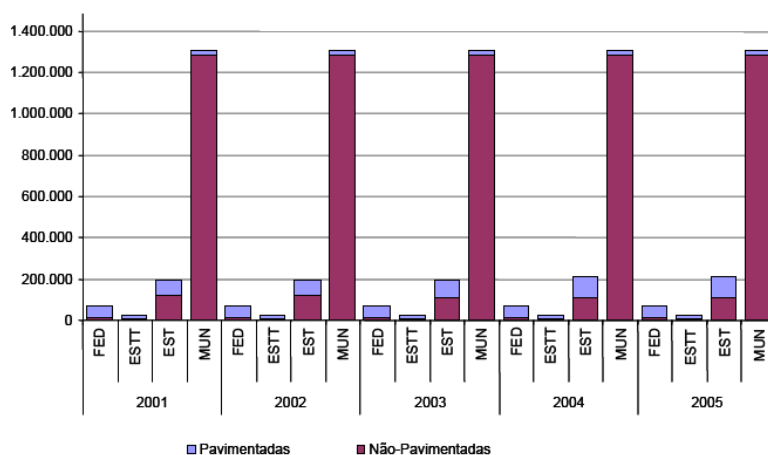
A malha rodoviária do Brasil (vide Figura 2.7) tem um total de 1.603.131 quilômetros, dos quais 10.803 quilômetros foram concedidos. (DNIT, 2006)



Figura 2.7: Malha rodoviária do Brasil

Fonte: CNT (2009)

Segundo DRUMOND (2008) do total da malha rodoviária só 12% (196.280 quilômetros) encontra-se pavimentado (vide Figura 2.8) e sendo o Brasil o 4º maior país do mundo em terras contínuas, a condição da rede rodoviária se classifica - em uma escala de : ótimo, bom, deficiente, ruim e péssimo - como ruim ou péssima. Assim, segundo diferentes autores pesquisados como: BARAT (2007), SOARES & NETO (2006) e SOARES (2004), uma das principais razões do crescimento das concessões rodoviárias é a incapacidade do governo financiar sozinho, em grande escala, a melhoria nas estradas.



FED – Federal; ESTT – Estaduais Transitórias; EST – Estaduais; MUN – Municipais

Figura 2.8: Estado da malha rodoviária

Fonte: AETT - ANTT 2006 *apud* DRUMOND 2008

O transporte rodoviário é principalmente utilizado para o transporte de carga geral (produtos manufaturados, ensacados, siderúrgicos, madeiras, líquidos, engarrafados, gêneros alimentícios, materiais de construção, etc.) carga a granel líquida e gasosa (leite, água, produtos químicos, combustível, etc.), carga a granel sólida (cereais em grãos, areia, produtos britados, pulverizados ou em pó) carga frigorífica e carga perigosa.

O volume de carga transportado por rodovias cresceu 18,6% em 2005 e 18,4% em 2006, bem acima do crescimento observado em outros modais: o crescimento do volume total de carga transportada nesses dois anos foi de 17,1% e 7,9%, respectivamente. (Boletim Estatístico CNT (2007) *apud* LOPES *et al.*, 2008). O bom desempenho tem como principais fatores explicativos a expansão da safra agrícola, o aumento da produção industrial e da construção civil e o crescimento da corrente de comércio.

2.2.4 - Transporte Aéreo

O Sistema de Transporte Aéreo no Brasil é controlado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), agência reguladora federal submetida a um regime autárquico especial, e está vinculada ao Ministério da Defesa. A ANAC foi formada a partir de vários órgãos pertencentes ao Comando da Aeronáutica: o "Departamento de Aviação Civil" (DAC) e seus "Serviços Regionais de Aviação Civil" (SERAC), o "Instituto de Ciências da Atividade Física da Aeronáutica" (ICAF), o "Instituto de Aviação Civil" (IAC) e a "Divisão de Certificação de Aviação Civil" do "Instituto de Fomento e Coordenação Industrial" (IFI). Assim como pela Infraero, uma empresa pública vinculada ao Ministério da Defesa, sediada em Brasília que conta com sete centros de negócio regionais que administram a infra-estrutura de 67 aeroportos, 80 unidades de apoio à navegação aérea e 33 terminais (TECAS).

A maior parte de toda carga aérea que transita - sai ou chega - ao País passa, pelo menos, por um dos 33 TECAS. Estes terminais de carga (Vide Figura 2.9) possuem espaço total de 260 mil m². Com equipamentos de última geração, possuem infraestrutura moderna e completa para receber as mais diversas mercadorias. Os terminais contam com câmaras frigoríficas, áreas especiais para material radioativo e produtos químicos, instalações para carga viva, cargas restritas e câmaras mortuárias. (INFRAERO, 2009)



Figura 2.9: Aeroportos com Terminais de Carga (TECA)

Fonte: INFRAERO (2009)

Torna-se importante ressaltar que as cargas transportadas via aérea são, em geral, nitidamente diferentes das transportadas por ferrovias, rodovias ou hidrovias. Fato é que as cargas adequadas ao transporte aéreo possuem, normalmente, um valor agregado muito superior às transportadas por outros modais.

Segundo BINAS (2009) o saldo das operações do transporte aéreo seguiu a tendência atual da economia nacional, e observou uma redução de 1,98%, nas exportações, em 2008, na comparação com ano anterior. A queda foi de 283.762 toneladas para 278.148 toneladas. Já as importações cresceram 10,07%, passando de 405.268 toneladas para 446.069 toneladas, sendo que a movimentação de cargas dentro do território nacional avançou 3,35%, saltando de 210 mil toneladas para 217 mil toneladas.

2.2.5 - Transporte Dutoviário

A malha dutoviária brasileira é detida em sua quase totalidade pela Petrobras, empresa brasileira de petróleo, sendo a maior parte dos seus dutos de transporte e alguns dutos de transferência geridos pela subsidiária Transpetro. A Petrobras tem uma produção média diária de 1,8 milhões de barris por dia (aproximadamente 83% no mar) e 44 milhões de m³ de Gás Natural. Conta com uma malha (vide Figura 2.10) de 15.772 Km de dutos, 50% de oleodutos e 50% gasodutos; destes a Transpetro opera 9.067 km de dutos (70% oleodutos), sendo que aproximadamente 4.550 km são dutos de transporte e representam uma capacidade nominal de 302.559.260 m³/ano (PUC-RIO, 2005).



Figura 2.10: Mapa das dutovias

Fonte: AETT (2009)

O transporte dutoviário pode ocorrer por oleodutos, minerodutos e gasodutos e os principais produtos transportados por cada um destes são: petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, álcool, GLP, querosene, nafta, asfalto, claros, escuros, CO₂, CO₃ e LNG, transportados por oleodutos; gás natural, gás combustível Xisto e gás residual, transportados por gasodutos e Sal-gema, Minério de ferro e Concentrado Fosfático pelos minerodutos (DRUMOND, 2008).

A seguir apresenta-se na Tabela 2.2 a evolução da quantidade da carga transportada pelo transporte dutoviário agrupada por minerodutos, oleodutos e gasodutos desde o ano 2004 ate o ano 2008.

Tabela 2.2: Carga Transportada em Toneladas

	2004	2005	2006	2007	2008
Oleodutos	253.879.000	240.143.000	251.257.000	249.053.000	247.631.000
Minerodutos	17.802.000	17.317.000	18.318.000	19.140.000	-
Gasodutos	12.999.000	14.795.000	14.041.000	9.569.000	10.558.000
Total	284.680.000	272.255.000	283.616.000	277.762.000	258.189.000

Fonte: AETT-ANTT, 2009

A maior parte da movimentação é realizada pelos oleodutos, 88,59% em 2006, ficando os gasodutos com 4,96% e os minerodutos com 6,45%.

2.3 - Comparação entre os modais

2.3.1 - Características Operacionais

Segundo Fleury (2002) cada modo de transporte de carga possui características operacionais próprias, que os tornam mais ou menos adequados para certos tipos de operação e produtos.

Dentre as características operacionais destacam-se: a velocidade, a consistência, a capacitação, a disponibilidade e a frequência.

Em termos de velocidade, o modo aéreo é o mais veloz, seguido pelo rodoviário, ferroviário, aquaviário e dutoviário.

A consistência, que representa a capacidade de cumprir os tempos previstos, tem o duto como a melhor opção, por não ser afetado pelas condições climáticas ou de congestionamentos. Segue na ordem os modais rodoviário, ferroviário, aquaviário e aéreo.

A capacitação está relacionada à possibilidade de um determinado modo trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos. Nesta dimensão, o destaque de desempenho é o modo aquaviário, que praticamente não tem limites sobre o tipo de produto que pode transportar, assim como do volume, que pode atingir centenas de milhares de toneladas. O duto e o aéreo apresentam sérias restrições em relação a esta característica. O primeiro é muito limitado em termos de produtos, pois trabalha com líquidos, sólidos, pó e gasosos, e o aéreo possui limitações também em termos de volume e tipos de produtos a serem transportados.

A disponibilidade se refere ao número de localidades onde o modo se encontra presente. Esta característica é a grande vantagem do modo rodoviário, que quase não tem limites de onde pode chegar. Teoricamente, o segundo em disponibilidade é o ferroviário, mas a malha ferroviária no Brasil de apenas 29 mil quilômetros tem baixa disponibilidade fora das regiões Sul e Sudeste, o que faz com que o modo aéreo ofereça maior disponibilidade em muitas regiões. O modo aquaviário, embora ofereça alta disponibilidade devido à costa de oito mil quilômetros, e vinte e oito mil quilômetros de rios navegáveis, apresenta, de fato, uma reduzida disponibilidade, devido à deficiência de infra-estrutura portuária e da escassez de terminais.

Quanto à frequência, ou seja, o número de vezes em que o modo pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo, o duto é o que apresenta o melhor desempenho. Por

trabalhar 24 hs por dia, sete dias por semana, o duto pode ser acionado a qualquer momento. Seguem pela ordem de desempenho, o rodoviário, o ferroviário, o aéreo e o hidroviário limitados pelas frotas respectivas. A baixa frequência do hidroviário resulta dos grandes volumes envolvidos na operação, o que o obriga a trabalhar com carga consolidada, diminuindo desta maneira a frequência.

2.3.2 - Quantidade de Carga Transportada

O setor de transporte de carga no Brasil caracteriza-se basicamente pela forte predominância do modo rodoviário derivado segundo FLEURY (2002) do baixo preço praticado, função de várias distorções do sistema de transportes brasileiro. Assim, o setor rodoviário tem sido responsável por mais da metade de toda a movimentação de carga no País. Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT) no seu Boletim Estatístico de Movimentação de Cargas do ano 2006 este modo movimentou 485.625 milhões de TKU, como se mostra na Tabela 2.3, tendo assim uma participação do 61,10% do total de cargas movimentadas pelo sistema.

Tabela 2.3: Carga Transportada por Modo

Modal	Milhões (TKU)	Participação (%)
Rodoviário	485.625	61,1
Ferrovário	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.169	0,4
Total	794.903	100

Fonte: CNT-Boletim Estatístico – Movimentação (2010)

Na Figura 2.11, observa-se a participação dos modos na matriz de transporte onde o transporte rodoviário apresenta forte domínio, seguido pelo transporte ferroviário, o fluvial (a pesar da existência de oito bacias hidrográficas) e o aéreo.

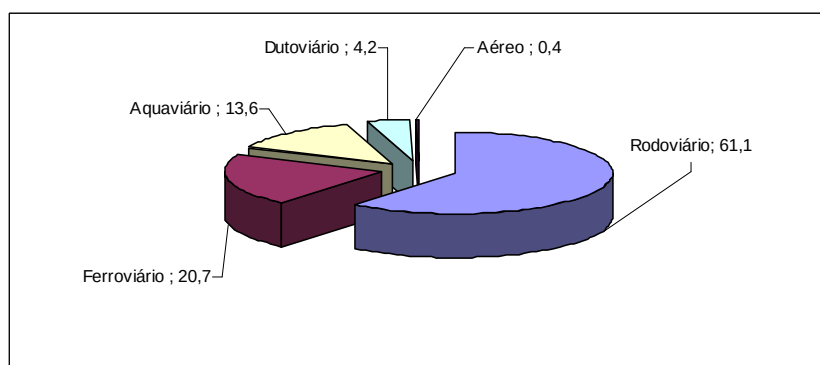


Figura 2.11: Participação por modo na matriz de transporte de cargas no Brasil

Fonte: CNT-Boletim Estatístico-Movimentação (2010)

Mas, segundo o Centro de Excelência em Engenharia de Transportes (CENTRAN), (2007) o governo estima que, como resultado dos investimentos e iniciativas propostos no PNLT do 2007, a participação do modo rodoviário se reduzirá para 33% em 2025, enquanto as participações dos modais ferroviário e aquaviário aumentarão para 32% e 29%, respectivamente, como pode ser observado na Figura 2.12.

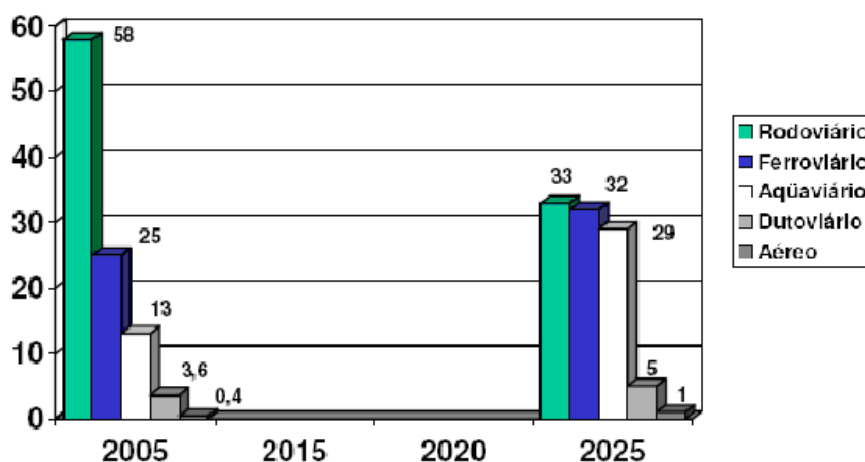


Figura 2.12: Matriz de transporte de cargas atual e futura no Brasil.

Fonte: CENTRAN (2007)

2.3.3 - Eficiência energética

No Brasil, o consumo de energia do setor de transportes (carga e passageiros), corresponde a pouco mais de 20% do consumo final energético, o que o coloca como o segundo maior setor consumidor de energia do País como pode ser observado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Consumo de Energia por Setor (%)

Setor	Porcentagem de consumo (ano 2007)
Indústria	38
Transporte	26,7
Setor Energético	9,8
Outros setores	18,9
Uso não energético	6,6

Fonte: MME, 2008

Há pelo menos dois fatores básicos que afetam o consumo energético nos transportes. O primeiro é a demanda do serviço de transporte – definido como, por exemplo, tonelada-quilômetro; o segundo é a modalidade de transporte. O consumo por modalidade de transporte depende fortemente dos equipamentos utilizados, das condições técnicas dos locais e dos procedimentos operacionais (RIBEIRO *et al.*, 2000).

Na Tabela 2.5 pode-se observar o consumo energético por modalidade, onde o modo rodoviário é responsável por mais de 90% do consumo energético o que o coloca como a primeira modalidade em consumo energético do país. O que contribui para este fato é o foco de investimentos governamentais em rodovias em detrimento de infra-estrutura ferroviária.

Tabela 2.5: Consumo Energético por Modalidade

Modo de Transporte	Consumo energético (10 ³ tep ano 2007)	Porcentagem
Hidroviário	1.338	2,33
Ferrovário	717	1,24
Rodoviário	52.892	91,79
Aéreo	2.674	4,64
Total	57.621	100

Fonte: MME, 2008

A participação percentual de cada fonte para fornecimento de energia ao setor é apresentada na Figura 2.12. Os principais combustíveis usados no setor são o diesel, (52%) e a gasolina (27%).

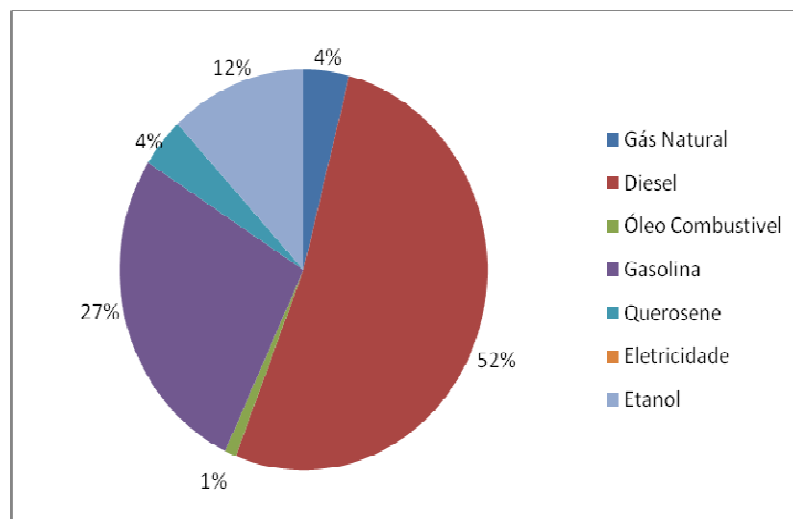


Figura 2.13: Matriz Energética Setor Transporte

Fonte: PNMC (2008)

2.4 - Impactos Ambientais associados ao Sistema de Transporte de Carga

De uma maneira geral podem ser distinguidas quatro fases constituintes da implementação de um sistema de transporte: planejamento, projeto, construção e operação (GEIPOT, 1992 *apud* FILIPPO, 2000).

A fase de planejamento abrange estudos de localização e de mercado, análise de viabilidade técnica e econômica e avaliações políticas e sociais. Após definida a melhor alternativa tanto sob o enfoque técnico-econômico como sob o enfoque ambiental, elabora-se e detalha-se o projeto. Na fase de construção são realizadas as obras em geral. A entrada em operação consiste na movimentação dos veículos, na manutenção da via e das instalações e na operação dos terminais (FILIPPO, 2000).

Cada modo de transporte apresenta características particulares no que se refere às atividades desenvolvidas, as quais, se não tomados os cuidados ambientais necessários, podem gerar impactos negativos sobre o meio ambiente.

Na Resolução CONAMA nº 001/86, art. 1º, o termo "impacto ambiental" é definido como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam a saúde, o bem estar da população e a qualidade do meio ambiente.

Cada uma das quatro etapas de um projeto de um sistema de transporte de carga gera alterações em menor ou maior grau no meio ambiente, em função do tipo e do porte do projeto que se deseja implantar, bem como em função das características

ambientais da região na qual o mesmo irá ser inserido. Estes impactos afetam o meio físico (água, solo e ar), biótico (flora e fauna) e antrópico (seres humanos e seus relacionamentos entre si e com os demais elementos).

Segundo diversos autores pesquisados, tais como, FOGLIATTI *et al.* (2004), BRUNA (2004), RIBEIRO (2003) e FILIPPO (2000), como principais impactos ambientais potenciais decorrentes dos sistemas de transportes, podem ser citados, dentre outros: poluição do ar, ruídos e vibrações, efeitos sobre as águas superficiais e subterrâneas, impactos sobre a fauna, a flora e os ecossistemas, alterações da paisagem, segregação de comunidades, alterações no uso do solo, efeitos da ocupação territorial e redução dos níveis de segurança.

A qualidade do ar pode ser alterada por várias fontes, porém nos grandes centros urbanos, os veículos automotores são os responsáveis de parte expressiva desta poluição, devido principalmente a combustão dos motores que produzem gases poluentes causadores de danos à saúde, dependendo da concentração e da exposição.

Como a poluição do ar, os impactos decorrentes de ruídos e vibrações são mais sentidos em áreas urbanas com grande tráfego de veículos e com a existência de terminais aeroportuários próximos ou dentro destas. As vibrações podem trazer efeitos indesejáveis negativos não só para as pessoas como também para as edificações, equipamentos e estruturas urbanas. Contribuem especialmente para o efeito das vibrações em áreas urbanas, os sistemas de transportes ferroviários, como o metrô, por exemplo.

As alterações ocorridas nas águas superficiais e subterrâneas podem acontecer de várias formas por ocasião da implantação e operação de sistemas de transportes. Dentre estas podem ser citadas: o desvio temporário ou permanente de um curso d'água, a impermeabilização da superfície, os movimentos de terra, o arraste de partículas poluentes, os acidentes com cargas tóxicas e a utilização de produtos químicos para conservação das vias.

Todas as atividades que alterem as características originais do ar, das águas e do solo, afetam diretamente a fauna e a flora. A perda de áreas de reprodução ou alimentação e o efeito de “corte” provocados pelas novas vias de circulação são alguns dos impactos que podem afetar a fauna.

Os impactos sobre a flora podem ser causados pela destruição da cobertura vegetal devido à construção dos canteiros de obra e à exploração de jazidas minerais.

A implantação de novas vias ou terminais de transporte pode causar alteração na

paisagem, desapropriações, deslocamentos de atividades, mudanças sócio-culturais na população local e segregação de comunidades vizinhas.

A segregação de comunidades vizinhas é um impacto típico da implantação de projetos lineares. Nas áreas urbanas e especialmente em zonas comerciais e residenciais, uma via expressa de grande volume de tráfego forma uma barreira física para a travessia e para as inter-relações existentes.

A atratividade exercida pela implantação de sistemas de transporte sobre o meio ambiente socioeconômico induz alterações no uso do solo devido à geração de movimentos migratórios e ao aumento do adensamento populacional. Estes fatos podem acarretar o aumento do tráfego e o conseqüente aumento do risco de acidentes, reduzindo os níveis de segurança locais (FILIPPO, 2000).

Assim, na implantação e operação de um sistema de transporte, os empreendedores devem estar atentos aos aspectos cada vez mais rigorosos da legislação ambiental, de modo que se possa garantir o uso do sistema de forma sustentável, ou seja, de forma equilibrada e controlada, com as menores conseqüências negativas possíveis para o meio ambiente.

As tentativas de redução dos problemas ambientais relativos aos transportes no Brasil se restringiram, de uma maneira genérica, a iniciativas isoladas sobre determinados projetos de rodovias, ferrovias, porto e hidrovias, por conta da elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA), em resposta primeiramente, às exigências de bancos internacionais de financiamento e, posteriormente, aos dispositivos legais existentes, principalmente da Constituição de 1988, que permitiu a sociedade uma maior fiscalização no que diz respeito à proteção do meio ambiente (FILIPPO, 2000).

Segundo Braga *et al.* (2002), os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) são um dos instrumentos mais importantes para a proteção dos recursos ambientais, tanto assim que a Constituição Brasileira de 1988 estabelece como um dos deveres do Poder Público “exigir na forma da Lei, para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente estudo prévio de impacto ambiental a que se dará publicidade” (art. 225, inciso IV, § 1º).

O EIA deve ter por objetivos avaliar os efeitos ecológicos, econômicos e sociais que podem ser gerados pela implantação de atividades antrópicas e monitorar e controlar esses efeitos. A partir da utilização do EIA é possível prever os danos que um empreendimento pode causar no meio ambiente, segundo padrões estabelecidos pela legislação vigente.

Assim, o EIA é o instrumento constitucional da política ambiental. É obrigatório para todas as obras e atividades cuja instalação/operação possa provocar significativo impacto ambiental, devendo conter no mínimo o diagnóstico ambiental da área onde o projeto será instalado, a descrição da ação proposta e suas alternativas e a identificação, a análise e a previsão dos impactos significativos, positivos e negativos. O resultado, resumido e em linguagem acessível ao público, constitui o Relatório de Impacto do Meio Ambiente (Rima).

As atividades relacionadas com projetos de Sistemas de Transporte de Carga que dependem da elaboração de Estudos de Impacto Ambiental a serem submetidos aos órgãos ambientais competentes de acordo com o artigo 2º da Resolução 01/86 do CONAMA são:

- Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento;
- Ferrovias;
- Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
- Aeroportos, conforme definidos pelo inciso 1, artigo 48, do Decreto-Lei nº 32, de 18.11.66;
- Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;
- Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques.

2.4.1 - Atividades associadas à operação do Transporte Ferroviário

Na entrada em operação de um sistema de transporte ferroviário de carga irão ocorrer os efeitos decorrentes da utilização do mesmo, da redistribuição da acessibilidade e da movimentação da carga na área de influência prevista, cabendo o monitoramento e o controle dos mesmos.

A seguir são apresentados os impactos negativos provocados pela operação deste serviço, divididos em impactos provenientes da movimentação do veículo, impactos provocados pela carga transportada, impactos advindos da operação dos terminais e dos serviços de manutenção e conservação da via e do equipamento ferroviário (CRUZ, 2004).

a) Movimentação do veículo

Na movimentação do veículo podem decorrer: poluição sonora, vibração, poluição atmosférica, poluição do solo e da água e ocorrências na via férrea.

- Poluição Sonora

A operação da ferrovia gera barulho considerável, principalmente quando trens de alta velocidade estão em operação.

Apesar dos altos níveis constatados em alguns sistemas, o ruído proveniente da ferrovia não causa na comunidade a mesma reação que os causados por aviões e automóveis. Isto porque em geral a ferrovia não invade áreas residenciais da mesma forma que a rodovia. Cabe destacar que esse ruído é inofensivo se o tempo de exposição for reduzido e que há grandes diferenças entre as conseqüências sofridas pelos maquinistas e pelos funcionários de escritório ou oficina e pela população da região lindeira.

Entre as fontes causadoras de ruídos em sistemas ferroviários podem ser citadas (WATKINS, 1972, *apud*. PEREIRA, 2000):

- atrito entre a roda de aço e o trilho também de aço;
- irregularidades da via;
- utilização de dormentes de aço;
- desgastes ondulatórios do trilho, fazendo com que atinja ondulações de frações de mm, causando deslizamentos que produzem o desgaste e fazendo com que o trilho fique excessivamente ruidoso;
- desgaste do trilho por ação química, causado por algumas mercadorias transportadas, como por exemplo enxofre, sal e carvão;
- movimento causado por irregularidades microscópicas no trilho e na roda, podendo causar desgastes no trilho;
- desgaste do trilho causado por atrito dos frisos da roda, principalmente nas curvas de pequeno raio e nas linhas onde se realizam transportes pesados, como por exemplo minérios;
- impacto da roda nas articulações, que pode ser diminuído pela utilização de trilhos longos soldados, possibilitando um movimento mais suave dos trens e conseqüentemente mais conforto e maior velocidade;
- o próprio funcionamento da locomotiva: ruídos derivados do motor, cilindros,

engrenagem, pistão, etc.

Seja qual for a fonte, o aumento da poluição sonora pode causar problemas para os meios biótico e antrópico, tais como fuga de animais nas áreas rurais, nervosismo e irritação dos vizinhos da via férrea. Na Tabela 2.6 são apresentados exemplos de desconfortos causados por exposição a níveis de som em excesso.

Tabela 2.6: Níveis de Ruídos e suas Consequências

Nível de ruído	Consequências
Até 50 dB	Leve Perturbação
Maiores que 55 dB	Estresse leve, desconforto
Maiores que 65 dB	Desequilíbrio bioquímico, risco de enfarte e derrame cerebral
Maiores que 80 dB	Liberação de morfina biológica
Maiores que 100 dB	Perda imediata da audição

Fonte: SOUZA, 1992 *apud* PEREIRA, 2000

- Vibração

A propagação do som no sólido é chamada de vibração ou trepidação. No caso da ferrovia, este tipo de problema pode ser observado principalmente nos trechos elevados e subterrâneos.

Da mesma forma que o som, há limites máximos de trepidações e vibrações que se não forem respeitados causam sensação desconfortável. Estes limites são apresentados na Tabela 2.7, baseados em legislação internacional.

Tabela 2.7: Limites de Vibração em dB(V)

Trecho	Tipo de Superestrutura	Limites de Vibração [dB(V)]
Superfície	Lastro	90
Túnel	Lastro	96
Túnel	Via Rígida sem absorção	97
Túnel	Via Rígida com absorção	96

Fonte: Taschenbuch der Technischen Akustik, 1995, HECKL e MÜLLER (25) *apud* LAGE (2003)

As vibrações provocadas podem com o tempo, influir negativamente nas estruturas próximas à linha, desvalorizando-as, além de causar sensação desconfortável nas equipagens ferroviárias.

- Poluição Atmosférica

Entende-se por poluição atmosférica, a presença na atmosfera aberta de um ou mais agentes contaminantes como poeira, fumaça, gás, névoa, odor ou vapor em quantidades, de características ou duração, que seja prejudicial aos seres humanos, plantas, vida animal ou propriedades (móveis ou imóveis), ou que interfira de forma relevante no aproveitamento confortável da vida ou da propriedade (PEREIRA, 2000).

Entre os fatores que contribuem para o aumento da poluição atmosférica podem ser destacados a industrialização e o transporte, principalmente em áreas urbanas, aonde o veículo particular vem sendo utilizado no lugar do transporte coletivo, provocando congestionamentos e conseqüentemente aumento das emissões liberadas.

Os poluentes lançados à atmosfera pela ferrovia são: material particulado, CO, Sox, hidrocarbonetos, aldeídos, ácidos orgânicos e óxidos de nitrogênio. A emissão destes poluentes afeta aos meios biótico, antrópico e físico por meio da destruição da clorofila das plantas, irritação dos olhos e das vias respiratórias nos homens e animais, mudanças estruturais no coração e no cérebro dos animais, assim como a capacidade respiratória e a acuidade visual do homem.

- Poluição do Solo e de Cursos da Água

A poluição do solo é definida como a adição de matérias que podem modificar qualitativa e quantitativamente as suas características naturais e utilizações.

A poluição da água é a incorporação à água de materiais estranhos como microorganismos, produtos químicos, resíduos industriais e de outros tipos, ou esgoto doméstico.

Estas poluições afetam aos meios biótico, antrópico e físico provocando a mortandade de peixes e da vegetação aquática, a inibição do crescimento das plantas e doenças em seres humanos e animais.

O derramamento de óleo diesel da locomotiva, a queda da carga na via e a lixiviação da água de chuva são algumas das causas destas poluições.

- Ocorrências na Via Férrea

A via férrea consiste de duas ou mais fiadas de trilhos assentados e fixadas paralelamente sobre dormentes de acordo com as bitolas que constituem a superfície de rolamento. Está composta de passagens de nível (passagens de via) e cruzamentos de via.

Entende-se por passagens de via os cruzamentos da via férrea com uma estrada de rodagem (vide Figura 2.14) ou com outra estrada de ferro, podendo ser de nível, inferior ou superior (BRINA, 1982).



Figura 2.14: Passagens de Via

A ocorrência de acidentes ao longo da via férrea impacta os meios antrópico e biótico e tem como fatores causadores a falta ou a inadequação da sinalização, a invasão da faixa de domínio, negligência humana, vandalismo, formação inadequada das composições, má condução do trem, problemas na via permanente como trilhos danificados, falhas de comunicação do Centro de Comunicação e Operação - CCO, etc. Na Tabela 2.8 apresenta-se a quantidade de acidentes ocorridos com Trens de carga, em trechos concessionados por causa.

Tabela 2.8: Número de Acidentes Ocorridos com Trens de Carga por Causa 2004- 2008

CAUSA	2004	2005	2006	2007	2008
Falha Humana	178	205	131	144	123
Via Permanente	933	1.107	695	416	393
Material Rodante	424	407	264	212	186
Sinalização, Telecomunicação ou Eletrotécnica	2	1	19	74	2
Outras	674	508	404	227	329
TOTAL	2.211	2.228	1.513	1.073	1.033

Fontes: ANTT, EFMRN e EFJ *apud* Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT/2009

b) Carga transportada (produtos perigosos)

Durante a operação das ferrovias o transporte de produtos perigosos pode causar danos ao meio ambiente devido à possibilidade de ocorrência de acidentes. Essa degradação ambiental ocorre em função das características explosivas, inflamáveis, tóxicas, oxidantes, corrosivas e/ou radioativas dos produtos transportados, dentre as

quais podem ser citados os explosivos, combustíveis, asfalto, soda cáustica, carvão mineral, coque, etc. Pela preocupação por preservar o meio ambiente o governo aprova o Regulamento do Transporte Ferroviário de Produtos Perigosos no ano 1990, pelo Decreto nº 98.973, que define claramente as responsabilidades de cada pessoa envolvida no processo.

- Poluição Atmosférica

O transporte ferroviário de cargas em geral e em especial de produtos perigosos pode causar danos ao meio ambiente. Esta degradação ambiental relacionada à carga transportada ocorre nos meios biótico, físico e antrópico em função das características explosivas, inflamáveis, tóxicas, oxidantes, corrosivas ou radioativas dos produtos perigosos transportados, dentre os quais podem ser citados explosivos, combustíveis, asfalto, soda cáustica, carvão mineral, coque, etc., ou por descarrilamento de trens com queda de outros produtos.

- Poluição do Solo e da Água

O derramamento de produtos por descarrilamento dos trens, a perda da carga por mau acondicionamento nos vagões e sua deficiente manutenção e o não cumprimento do Decreto nº 98.973/90, relativo a produtos perigosos, entre outros motivos, podem provocar estes tipos de poluição.

c) Terminais

Os terminais são os pontos nos quais os passageiros ou cargas entram e saem de um sistema de transporte. Um terminal ferroviário de carga (vide Figura 2.15) é composto por um sistema dinâmico no qual são realizados o tráfego de trens, o transbordo de mercadorias dos vagões para os meios complementares de dispersão e concentração, a transferência direta do vagão para o cliente e vice-versa e o armazenamento temporário de mercadorias (SINAY, 1997).



Figura 2.15: Terminais de Carga

Nos terminais ferroviários de carga podem manusear-se três tipos de cargas: geral, granel ou unitizada.

De acordo com a carga a ser transportada são utilizados vários tipos de vagões, conjuntamente com os equipamentos adequados para carga e descarga e para transferência de e para o terminal, dentre os quais podem ser citados os transportadores contínuos, como correias e roletes, equipamentos suspensos, como monotrilhos, guindastes e pontes rolantes e os veículos industriais, motorizados ou não, como empilhadeiras, paleteiras e tratores.

Dentre os impactos ambientais decorrentes das atividades dos terminais podem-se listar a poluição atmosférica, da água, sonora, do solo e ocorrências.

- Poluição Sonora

O funcionamento dos diversos equipamentos presentes nas operações de carga e descarga é uma das causas desta poluição, afetando principalmente o meio antrópico.

- Poluição Atmosférica

Esta poluição pode ser causada pela difusão aérea de granéis sólidos minerais, pela operação das fornalhas movidas a óleo combustível para secagem dos grãos e pela possibilidade de incêndio por rompimentos de tubulações de granéis líquidos.

- Poluição do Solo e da Água

A possibilidade de chuvas no momento da difusão aérea de granéis sólidos minerais e o rompimento de tubulações de granéis líquidos podem ser possíveis causas destes impactos.

- Ocorrências

São acidentes por atropelamento, por falhas humanas, por falta de manutenção nos equipamentos, falta ou inadequação de sinalização, etc.

d) Serviços de Manutenção e Conservação da Via e de Veículos

Os impactos provocados pelos serviços de manutenção e conservação da via e de veículos estão divididos em impactos associados aos serviços de conservação da via permanente, aos serviços de reconstituição da linha, aos serviços de manutenção do equipamento ferroviário, os serviços de recondicionamento de trilhos e dormentes e nos estaleiros de dormentes.

Os serviços de conservação da via permanente estão constituídos por serviços de limpeza e substituição de trilhos, dormentes, acessórios e fixações e têm por objetivo permitir um bom funcionamento da ferrovia.

O serviço de reconstituição da linha inclui os nivelamentos longitudinal e transversal e os alinhamentos.

O serviço de manutenção do equipamento ferroviário realizado em instalações denominadas oficinas e postos de serviços consta de lavagem, lubrificação, troca de filtros, baterias e escovas, regulagens e limpezas de locomotivas e trens, entre outros.

O serviço de recondicionamento de trilhos e dormentes consiste na recuperação destes.

Os impactos provocados por estes serviços afetam os meios biótico, físico e antrópico por meio da poluição do solo e da água assim como por ocorrências como acidentes de qualquer tipo.

- Poluição do Solo e da Água

As possíveis causas destes tipos de poluição são: o produto químico usado na retirada da vegetação que cresce ao longo da via, os efluentes gerados como óleo e lubrificante, a utilização de produtos químicos na manutenção de dormentes, os rompimentos de tanques de armazenamento, de cilindro, de tratamento, de tubulações do preservativo creosoto ou de natureza oleossolúvel, nos estaleiros.

- Ocorrências

São acidentes provocados pelo descarrilamento de trens, pela perda da carga, pelo choque de composições, por falhas humanas, por invasão da faixa de domínio, por falta

ou inadequação de sinalização, por negligência humana, por deterioração dos dormentes, trilhos, acessórios e fixações, por falta de nivelamento longitudinal, transversal e alinhamento da linha e pelo desgaste na superfície de rolamento e nas laterais dos trilhos.

2.4.2 - Atividades associadas à operação do Transporte Hidroviário

As atividades necessárias para a operação do transporte hidroviário estão relacionadas com a operação dos portos e terminais e com a operação das embarcações.

a) Operação dos Portos e Terminais

Segundo FILIPPO (2000), diversas atividades executadas na área portuária podem produzir impactos no meio ambiente, cuja probabilidade de ocorrência ou de existência depende de fatores como: tipologia e quantidade de cargas movimentadas, existência de atividades industriais ou de beneficiamento de cargas dentro da área portuária, nível de segurança das atividades, existência de instalações e dispositivos para tratamento de resíduos, localização do porto em relação aos núcleos populacionais e existência de planos de emergência para as questões acidentais.

Assim, na operação dos portos e terminais as ações geradoras de impacto ambiental podem ser: a manipulação das cargas, as atividades de manutenção, as atividades industriais e a expansão das áreas portuárias e as atividades da interface porto/núcleos populacionais.

i) Manipulação das Cargas

As atividades de carregamento, descarregamento e transporte de cargas de um terminal hidroviário oferecem riscos de contaminação e impacto no meio ambiente, sendo que estes impactos variam segundo o tipo de carga. Assim, os principais impactos ambientais são: riscos de poluição do ar, contaminação das águas e do solo bem como a geração de ruídos incômodos aos trabalhadores e à vizinhança local, além do surgimento de doenças gerados, conforme a natureza dos produtos manipulados.

- Poluição Atmosférica

A manipulação das cargas do tipo granel sólido também conhecidas como cargas secas à granel poluem o ar no descarregamento e carregamento das embarcações,

devido a ação de ventos, deslocamentos de ar, impactos da queda dos grãos e acomodação próprias destes depois do carregamento nas embarcações; no transporte realizado por correias; nas estações de transferência e/ou nas transferências entre correias; no carregamento e descarregamento de vagões e caminhões e na recuperação da carga ou no carregamento das pilhas de estocagem. A poeira gerada, dispersa no ar, pode acarretar principalmente problemas de saúde nos trabalhadores portuários e nos habitantes próximos ao porto ou terminal. Outra possível causa são os odores indesejáveis provocados pela fermentação e apodrecimento de resíduos de graneis sólidos vegetais que por ventura fiquem espalhados pela área.

No manuseio das cargas do tipo granel líquido, pode acontecer esta poluição por odores indesejáveis, principalmente dos produtos derivados de petróleo ou pela fumaça oriunda de incêndios e explosões acidentais, podendo acontecer também no manuseio de cargas de tipo geral.

- Poluição Sonora

A poluição sonora é ocasionada principalmente pelas operações de carga, descarga, transferência e transporte, através dos veículos e do funcionamento dos equipamentos.

- Poluição da Água e do Solo

A qualidade das águas pode ser alterada pelo derramamento acidental das cargas e pelo carreamento de partículas para dentro do corpo hídrico devido às operações de lavagem das instalações ou pela ação das chuvas. Esta poluição pode acarretar em danos aos ecossistemas aquáticos.

Além disto, pode acontecer a poluição visual das águas pelo lançamento dos resíduos sólidos oriundos das embalagens como: papelão, plásticos, cordas, sacos, amarras e madeiras.

No manuseio das cargas tipo granel líquido, pode acontecer a poluição do solo no vazamento dos tanques de armazenamento e pela inexistência de processos de tratamento e de destinação final de resíduos oleosos e demais líquidos. No manuseio das cargas de tipo geral, isto pode acontecer por acidentes no transporte interno das cargas ou por danos nas embalagens das cargas como rompimentos e perfurações.

ii) Manutenção do Porto ou Terminal

As atividades de manutenção de um porto ou terminal ocorrem nas áreas do

anteporto, porto ou retroporto, onde são realizados os serviços de dragagem dos canais de acesso, da bacia de evolução e das áreas de acostagem. Nas áreas do porto e do retroporto são realizados serviços de manutenção das embarcações, dos equipamentos e das instalações portuárias e indústrias, que podem causar danos ao meio ambiente.

Os principais impactos das atividades de manutenção do porto ou terminal são a contaminação das águas, do solo e alterações na fauna e flora aquática pelos serviços de: i) dragagem nos canais de acesso pela ressuspensão de sedimentos finos ou por lançamentos nas águas de óleos e graxas das dragas e equipamentos e ii) manutenção das embarcações, dos equipamentos e das instalações portuárias e industriais, pelo uso de tintas e solventes tóxicos e pela geração de resíduos como graxas e óleos lubrificantes.

iii) Atividades Industriais

A existência de atividades industriais dentro de zonas portuárias pode acarretar no ambiente circunvizinho e local todas as formas de contaminação, principalmente da água, do solo e do ar pelos resíduos e efluentes gerados nos processos industriais que podem ser lançados ao meio ambiente sem os cuidados adequados.

b) Operação de Embarcações

A operação de embarcações provoca impactos no meio ambiente que vão desde a geração e o lançamento de resíduos líquidos, sólidos e gasosos no meio ambiente, até efeitos devido a simples navegação da embarcação na hidrovia.

Assim, na operação de embarcações as principais atividades e ações que oferecem risco ao meio ambiente são: a operação de carga e descarga (definidas no item Manipulação de Cargas), a operação de limpeza de compartimentos (praça de máquinas, conveses, porões e tanques de carga), colocação e retirada de água de lastro, transporte de produtos perigosos e a navegação ou trânsito na via.

Os principais impactos ambientais negativos passíveis de serem gerados são: poluição atmosférica, sonora e da água.

- Poluição Atmosférica

Esta poluição pode acontecer: pelas atividades de limpeza de tanques, na emissão para a atmosfera, de compostos orgânicos voláteis, oriundos de cargas líquidas como gasolina e demais produtos químicos; em hipóteses acidentais, que gerem explosões e

incêndios nas embarcações no transporte de produtos perigosos e na navegação pelas emissões dos sistemas de exaustão das embarcações.

- Poluição da Água

As possíveis causas desta poluição são: a contaminação das águas e alterações na fauna e flora aquática dependendo dos produtos utilizados na lavagem de tanques de embarcações e o lançamento dos mesmos à água; alterações na fauna e flora aquática ao transferir organismos exóticos e patogênicos entre ambientes aquáticos distintos, na colocação e retirada da água de lastro; nas hipóteses acidentais que geram derramamento ou vazamento de produtos tóxicos nas águas, no transporte de produtos perigosos; pelo lançamento na água de efluentes sanitários e esgotos de águas servidas, além, de resíduos sólidos oriundos dos lixos domésticos e operacionais.

- Poluição Sonora

Na navegação pode acontecer um aumento do nível do ruído local pelo funcionamento dos motores e propulsores das embarcações.

2.4.3 - Atividades associadas à operação do Transporte Rodoviário

A fase de operação do sistema rodoviário de carga conglomerada atividades de: i) conservação, que envolve todas as atividades preventivas e corretivas de controle e de manutenção das vias, englobando monitoração e eventuais intervenções físicas; ii) restauração da via, estas atividades são necessárias quando a rodovia se encontra deteriorada pelo uso em função do desgaste natural da vida útil do pavimento, do excesso de peso dos veículos em circulação ou da má execução das obras; iii) movimentação dos veículos e iv) transporte de produtos perigosos. (GOUDARD, 2001)

a) Atividades de Conservação da Via

As atividades de conservação da via podem ser classificadas em quatro tipos: conservação de rotina, conservação de emergência, conservação especial e reordenamento do tráfego. Os principais impactos que podem ser gerados por estas atividades são: poluição das águas, poluição sonora, vibrações e poluição atmosférica.

- Poluição das águas superficiais e subterrâneas

A contaminação da água ocorre principalmente pela disposição de lixo, graxas, óleos e materiais removidos em locais inadequados, além, de matérias em suspensão carregados pela chuva e pelas intensas aglomerações humanas induzidas pela rodovia.

- Poluição Sonora e Vibrações

Podem ocorrer ruídos e vibrações por problemas de deterioração da pavimentação, como falhas, buracos ou emendas mal feitas; deslocamento da água pela passagem de pneus; efeitos das rampas; operação de máquinas e equipamentos, dentre outros.

- Poluição Atmosférica

A contaminação do ar pode acontecer pela poeira e fumaça oriundas da operação e movimentação das máquinas e equipamentos e de plantas de britagem e de produção de misturas asfálticas.

Além, destes impactos também pode acontecer o escorregamentos de taludes ou encostas, assim como, a queda de pedras e de blocos de rocha, causados por: desmatamento excessivo e/ou incêndios em matas de proteção, ocupação desordenada de encostas em torno da rodovia, dentre outros.

b) Restauração da Via

A restauração da via compreende atividades de: cortes e aterros, drenagem, bota-foras, limpeza da faixa de domínio, controle de processos erosivos, manutenção e conservação do pavimento, recuperação da sinalização horizontal e vertical, a recuperação de obras de arte especiais, operação de máquinas e equipamentos, regeneração de áreas. Estas atividades podem gerar impactos ao meio ambiente tais como: ruídos e vibrações, pelo tráfego dos veículos e a operação de equipamentos e máquinas; poluição do ar pelas queimadas para eliminar a vegetação dos taludes; degradação do uso do solo pelo uso de agrotóxicos para controle da vegetação nos taludes; dentre outros.

c) Movimentação dos Veículos

Na movimentação do veículo podem acontecer poluição do ar, ruídos e vibrações além de acidentes.

- Poluição Atmosférica

A movimentação do veículo gera emissão de gases e partículas produzidas pela queima de combustível. Em se tratando de veículos automotores, os principais elementos poluentes gerados são: monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio, óxido de enxofre, ozônio, compostos de chumbo, fuligem, fumaça branca, material particulado e aldeídos.

- Poluição Sonora e Vibrações

As fontes mais comuns de ruído e vibração de uma rodovia em operação, decorrentes do tráfego de veículos são gerados por limitações de caráter tecnológico ou por manutenção inadequada. Na tabela 2.9 apresentam-se as fontes de ruído produzidas pela movimentação dos veículos.

Tabela 2.9: Origem dos Ruídos

Grupo de Ruídos	Fontes
Funcionamento dos maquinismos	• Funcionamento do motor • Entrada de ar e escapamento • Sistema de arrefecimento e ventilação • etc.
Ruídos de movimentos	• Pneus em contato com o pavimento • Atritos das rodas com os eixos • Ruídos da transmissão • Ruídos aerodinâmicos • etc.
Ruídos ocasionais	• Buzinas • Frenagens • Ruídos da troca de marchas (reduções e acelerações) • Cargas soltas • Fechamento de portas • etc.

Fonte: Bellia & Bidone (1993) *apud* GOUDARD (2001)

Com relação à via, podem ocorrer ruídos e vibrações por problemas de deterioração da pavimentação, como falhas, buracos ou emendas mal feitas; deslocamento da água pela passagem de pneus, efeito das rampas, entre outros.

- Ocorrências

O aumento do tráfego (ou a geração) ocasionado quando as rodovias entram em operação, aumentam os riscos de acidentes, reduzindo os níveis de segurança locais. A

ocupação desordenada ao longo das rodovias também pode causar acidentes, dos quais decorrem retenções de tráfego, perdas de materiais e conflitos com as comunidades. Outro ponto possível de gerar acidentes são as travessias urbanas, nas quais o tráfego de veículos e pedestres, ou entre veículos da rodovia e veículos locais não se encontram interados. Na Tabela 2.10 apresentam-se as estatísticas de acidentes no Brasil por Região.

Tabela 2.10: Número de Acidentes Ocorridos nas Rodovias Federais Policiadas por Região 2004 – 2008

REGIÃO	2004	2005	2006	2007	2008
NORTE	4.632	4.964	5.841	7.054	7.415
NORDESTE	21.381	21.945	23.817	26.851	28.737
SUDESTE	44.564	43.880	44.501	49.867	53.995
SUL	30.925	29.916	28.562	32.832	35.501
CENTRO-OESTE	10.955	10.520	11.226	11.697	13.154
TOTAL	112.457	111.225	113.947	128.301	138.802

Fonte: DPRF/MJ *apud* Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT/2009

d) Transporte de Produtos Perigosos

O transporte de produtos perigosos pode causar danos ao meio ambiente devido à possibilidade de ocorrência de acidentes. Essa degradação ambiental ocorre em função das características explosivas, inflamáveis, tóxicas, oxidantes, corrosivas e/ou radioativas dos produtos transportados, dentre as quais podem ser citados os explosivos, combustíveis, lubrificantes, defensivos agrícolas, produtos radioativos, entre outros. Assim, na hipótese de acidentes na via pode acontecer poluição do ar em caso de incêndios e poluição do solo e da água, em caso de derramamento do produto (GOUDARD, 2001). Pela preocupação por preservar o meio ambiente o governo aprova o Regulamento do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no ano 1988, pelo Decreto nº 96.044, que define claramente as responsabilidades de cada pessoa envolvida no processo.

2.4.4 - Atividades associadas à operação do Transporte Aéreo

Segundo REIS (2004), as principais atividades relacionadas com a operação do transporte aéreo são: a operação das aeronaves; dos incineradores; do posto de

abastecimento de aeronaves; das áreas de teste de motores; do serviço de segurança; das atividades da área de treinamento (contra incêndio); dos hangares e dos serviços de bordo (catering) e outras instalações de infra-estrutura; dos equipamentos de apoio em terra e do tráfego de acesso/regresso.

Estas atividades podem gerar impactos negativos sobre o meio ambiente tais como: poluição sonora, atmosférica, poluição do solo e da água e ocorrências.

- Poluição Sonora

O ruído aeronáutico é considerado o principal problema da operação dos aeroportos, porque afeta diretamente a qualidade de vida dos habitantes das proximidades, assim como, todos aqueles que trabalham ou circulam na região de entorno das atividades aeroportuárias (REIS, 2004).

- Poluição Atmosférica

As emissões de poluentes no ar em aeroportos procedem das atividades dos veículos de apoio em terra, dos sistemas de manipulação e armazenagem de combustíveis, dos testes de motores de aeronaves, do tráfego da movimentação de aeronaves (táxi, pouso e decolagem), da incineração de resíduos sólidos (lixo) e do tráfego de acesso/regresso do aeroporto.

- Poluição da Água e do Solo

Estas poluições podem acontecer pelo tratamento inadequado de contaminantes provenientes dos aeroportos, tais como: produtos químicos usados para limpeza de aeronaves, pátios e pistas, vazamentos de solventes, combustíveis, óleos e graxas das áreas industriais. Da mesma forma, as águas servidas do aeroporto que de não ser bem tratadas podem poluir os recursos hídricos receptores.

- Ocorrências

As ocorrências referem-se principalmente a incidentes ou acidentes envolvendo o transporte de carga perigosa e procedimentos de emergências que resultam em alijamento de combustível. Além, da incidência de trabalhadores com problemas auditivos pela exposição demasiada ao ruído aeronáutico ou sem a devida proteção auricular. Na figura 2.16 apresenta-se o percentual de contribuição por tipo de ocorrência dos acidentes (acidentes e incidentes).

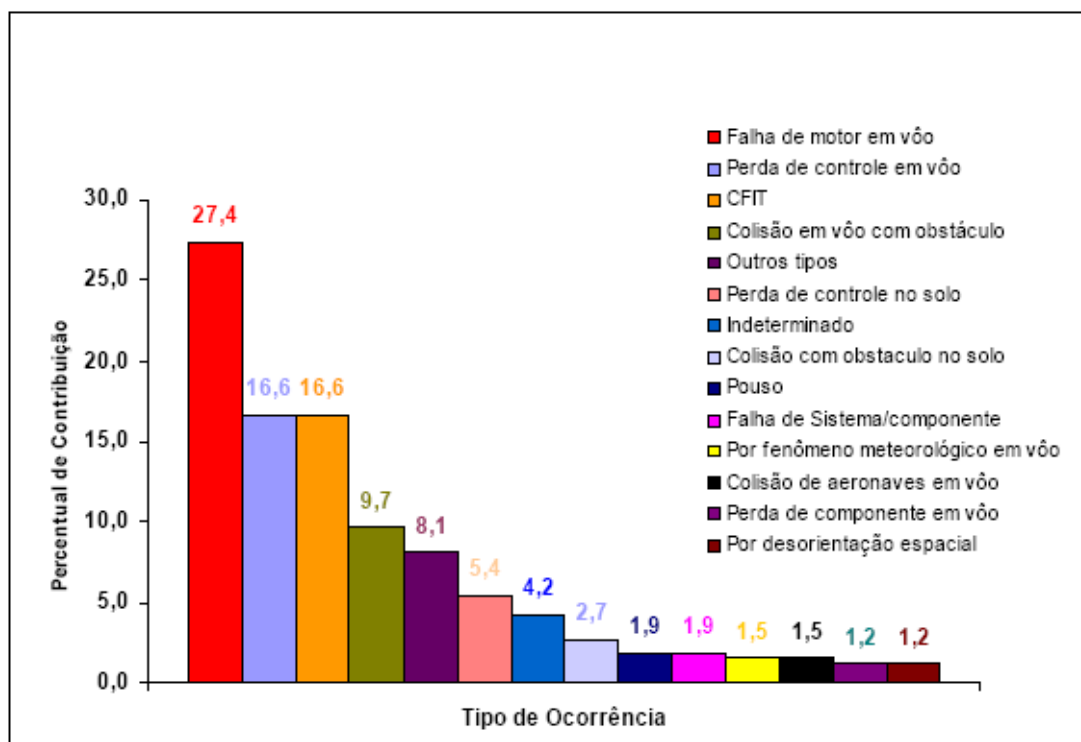


Figura 2.16: Percentual de contribuição por tipo de ocorrência 1998 - 2007

Fonte: Ministério da Defesa – CENIPA (2009)

2.4.5 - Atividades associadas à operação do Transporte Dutoviário

As atividades da operação de dutovias são basicamente associados às atividades de conservação e manutenção. Estas atividades são, principalmente, serviços de limpeza e substituição e manutenção de peças (tubos, válvulas, acessórios e fixações) e podem contaminar o meio ambiente físico, biótico e antrópico devido aos efluentes gerados, como óleos e lubrificantes, assim como restos de materiais dispostos inadequadamente. Da mesma forma, podem acontecer acidentes envolvendo operários pelo manuseio inadequado dos equipamentos ou por falhas nos mesmos.

Além dos impactos das atividades de conservação os maiores impactos da operação na dutovia são os acidentes que estão associados não só às falhas técnicas, tais como, ruptura espontânea de tubulações ou falhas no mecanismo das válvulas, mas também pela ação de agentes externos que podem vir a danificar a tubulação, como impacto de tratores agrícolas, âncoras de navios e demais equipamentos.

Estes acidentes podem impactar os meios biótico, físico e antrópico, dado que na maioria das vezes os produtos transportados são combustíveis ou tóxicos e no

vazamento dos mesmos podem acontecer explosões, contaminando o solo e os cursos d'água, gerando perda da vegetação nativa, além da morte ou intoxicação de espécies animais e indivíduos que entram em contato direto com os produtos tóxicos (MURTA, 2003). Na Tabela 2.11 apresenta-se a distribuição das causas dos acidentes em São Paulo segundo o modo de falha.

Tabela 2.11: Distribuição das causas dos acidentes com dutos (1980 a 2006)

Modo de falha	1980-1989	1990-1999	2000-2006	Total
Terceiros	5	9	12	26
Natural	4	0	0	4
Operacional/manutenção	3	5	4	12
Operacional/outras	5	4	2	11
Mecânica/corrosão	13	10	4	27
Mecânica/outras	3	6	4	13
Não apurada	2	56	21	79
TOTAL	35	90	47	172

Fonte: CADEQ/CETESB (2007)

Legenda:

Causas naturais: eventos associados com ação da natureza tais como erosão, deslizamentos de terra ou movimentação do solo.

Ação de terceiros: eventos associados com perfuração da linha por empreiteiras, durante obras de engenharia na faixa do duto como também por atos de vandalismo.

Falhas operacionais: eventos associados com falha dos operadores durante a transferência de produto entre as diversas instalações (terminais, refinarias, estações intermediárias, etc.) como por exemplo sobre pressão no bombeio e manobras incorretas das válvulas. Também são contempladas as falhas decorrentes dos trabalhos de manutenção das linhas pelos operadores.

Falhas mecânicas: eventos associados a defeitos ou ao mau funcionamento de válvulas, flanges e juntas bem como desgaste ou fadiga do material (duto), por exemplo a corrosão.

Após a apresentação de um breve resumo dos diferentes impactos ambientais que podem ser ocasionados nas diferentes atividades da operação do transporte de carga, cabe salientar, que a atividade de transporte ou manuseio de produtos perigosos, na hipótese de acidente, é a que pode causar maiores problemas à população com respeito à segurança e à saúde e sobremaneira ao meio ambiente, devido à vulnerabilidade de áreas tais como cursos d'água, usos da terra e possibilidades de impactos pela infiltração de produtos perigosos no solo causando danos ao lençol freático (PEDRO, 2006).

Na Figura 2.17 apresenta-se a quantidade de acidentes por transporte de produtos perigosos do estado de São Paulo do ano 1987 até junho de 2008.

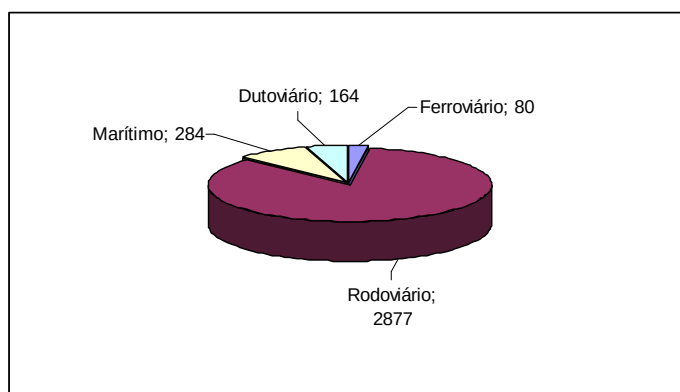


Figura 2.17: Quantidade de Acidentes (1987 – junho 2008)

Fonte: CETESB (2009)

Isto acontece, porque não há como controlar as possíveis causas de acidentes que resultaram em efeitos adversos sobre a comunidade local e ao meio ambiente, assim, se faz necessário o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no monitoramento e no controle destes efeitos.

2.4.6 -Tipo combustível

Como observado na Figura 2.13, a utilização de energia dos meios de transporte prioriza o uso dos combustíveis fósseis, como o diesel e a gasolina. A combustão destes combustíveis emitem gases como: CO, CO₂, Nox, SO_x, HC, aldeídos e material particulado, que causam efeitos tanto em escala local quanto em níveis regionais, como a chuva ácida e na escala global a intensificação do efeito estufa.

A chuva ácida é gerada no momento que combustíveis fósseis (carvão ou derivados de petróleo) são queimados, liberando diversos óxidos de nitrogênio (N_xO_y) e enxofre (SO_x), incluindo dióxido sulfúrico (SO₂), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio(Nox). Uma vez liberados na atmosfera, esses gases reagem com outros produtos químicos, vapor de água e luz solar, produzindo os ácidos nítrico (HNO₃) e sulfúrico (H₂SO₄), presentes nas precipitações das chuvas provocando acidificação das águas e do solo originando a redução da biodiversidade, declínio de florestas, prejuízos à agricultura e à pesca, além de acelerar a corrosão e o desgaste de diversos materiais. No homem, o consumo de alimentos ou água contaminados pelas chuvas acidificadas compromete seriamente as suas funções orgânicas. (RIBEIRO, *et al.* 2000)

“O efeito estufa é um fenômeno causado pelo acúmulo de gases e nuvens na

atmosfera, que provoca o aquecimento da superfície do planeta, pelo bloqueio de parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre” (RIBEIRO, *et al.* 2000). Os principais gases que contribuem para o aumento do efeito estufa são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), CFC's (CF_xCl_x).

A concentração global de CO₂ tem crescido desde a época pré-industrial que era em torno de 280 ppm para 379 ppm³ em 2005. A principal fonte para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera desde o período pré-industrial é o resultado do uso de combustível fóssil (carvão, petróleo e gás natural) (ECOLATINA, 2007).

Desde 1980, a emissão de CO₂ pelos transportes cresceu mais rápido do que em qualquer outro setor, ultrapassando a emissão industrial em 1998 e tornando-se, o maior responsável pelos gases do efeito estufa no mundo. (GREENE, 2003 *apud* MORAES, 2005).

As diferentes modalidades de transporte apresentam intensidades diferentes quanto ao consumo energético total, bem como, quanto à quantidade de energia gasta para o transporte de uma determinada quantidade de carga, refletindo assim, na maior ou menor intensidade nas emissões de GEE, como pode ser observado nas Tabelas 2.12 e 2.13. Além disto, observa-se a alta percentagem de participação do modo rodoviário no consumo de óleo diesel e a sua vez na emissão de GEE, isto acontece porque, como observado na Figura 2.11 este modo apresenta forte domínio na participação na matriz de transporte, 61%.

Tabela 2.12: Consumo de Óleo Diesel por Modo de Transporte

Modo	Milhões de m ³	Participação (%)
Rodoviário	32,71	96,60
Ferroviário	0,69	2,00
Hidroviário	0,48	1,40
Total	33,88	100,00

Fonte: Boletim Ambiental CNT, 2010

Tabela 2.13: Emissões de CO₂ por Modo de Transporte

Modo	CO ₂ t/ano	Participação (%)
Rodoviário	123,17	90,46
Aéreo	7,68	5,66
Outros meios	5,29	3,88
Total	136,14	100,00

Fonte: Boletim Ambiental CNT, 2010

As maiores consequências do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera são o aumento da temperatura média do planeta, o chamado aquecimento global e alterações climáticas significativas, com implicações importantes para a agricultura e a distribuição demográfica em todo o mundo. (MOREIRA, 2001)

2.5 - Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado um breve resumo sobre os aspectos considerados relevantes para a compreensão de todo o trabalho. Inicialmente, na síntese histórica sobre o surgimento do transporte de carga no Brasil foi observado que no período pré-industrial, o sistema de transporte se compunha de ferrovias ligando o interior aos portos e da navegação, que unia entre si as diferentes regiões do País e estas ao exterior.

Mas, devido à necessidade de vencer fortes aclives em áreas de topografia acidentada, de transportar cargas com rapidez e de porta a porta, acrescido da implantação da indústria automobilística e maiores investimentos governamentais dentre outras razões, fez com que o destaque dado ao transporte hidroviário e ferroviário de cargas passasse ao transporte rodoviário. Este destaque mantém-se até os dias de hoje.

Ademais, são apresentadas as características e a importância das diversas modalidades do transporte de carga no país. Da mesma forma é feita a comparação dos diferentes modos verificando-se, que cada qual possui características próprias que os tornam mais ou menos adequados para certos tipos de operação e produtos, demonstrando que os mesmos não devem ser tratados como concorrentes e sim complementares, maximizando suas vantagens comparativas. Um exemplo disto seria a utilização de ferrovias e hidrovias no transporte de cargas a distancias medias e grandes num país com a dimensão territorial do Brasil, ganhando em tempo de percurso, quantidade de carga transportada, diminuição dos custos do transporte, dentre outros.

Por fim, o conhecimento das diversas atividades realizadas na operação do transporte de carga por cada modo, evidenciou que estas podem agredir em maior ou menor grau ao meio ambiente, resultando em queda da qualidade de vida da população do entorno da via, assim como prejudicando o ambiente da área de influencia da mesma. Assim, se faz necessário monitorar e avaliar esses impactos buscando a sustentabilidade do sistema.

No próximo capítulo são apresentados instrumentos de mensuração de sustentabilidade, para assim poder controlar a qualidade da operação deste sistema.

CAPÍTULO 3

ÍNDICE DE DESEMPENHO AMBIENTAL E LÓGICA FUZZY

Conforme foi abordado no capítulo anterior, as atividades desenvolvidas na operação do sistema de transporte de carga provocam diversos impactos ambientais negativos. Assim, há a necessidade de acompanhar e controlar essas atividades pela mensuração de parâmetros representativos da qualidade do meio ambiente conhecidos por indicadores ambientais, posteriormente agregados, resultando num único valor definido de índice, com o emprego da lógica fuzzy.

Assim, neste capítulo são conceituados os indicadores ambientais, em seguida apresenta-se sua correspondente evolução histórica. Posteriormente, são definidas as estruturas e modelos de sistematização dos indicadores consagrados na literatura. Além disso, são listados exemplos de indicadores para o transporte segundo diversas instituições nacionais e internacionais. O mesmo levantamento é feito para os índices ambientais. Finalmente é apresentada a conceituação da lógica fuzzy e da técnica neuro-fuzzy.

3.1 – Indicadores Ambientais

A palavra indicador é proveniente do Latim *indicare* e significa destacar, anunciar, tornar público, estimar. Disto se deduz que um indicador serve para transmitir informações que esclarecem uma série de fenômenos não imediatamente observáveis.

Segundo CUNHA (2001), o uso de indicadores facilita o processo produtivo de uma organização, pois permitem a comparação, através de um relato histórico, das medições de determinados parâmetros de forma seqüencial no tempo.

Segundo GOMES *et al.* (2000), o processo de seleção dos indicadores deve seguir um conjunto de critérios objetivos, exequíveis e verificáveis que justifiquem a escolha efetuada. Os indicadores escolhidos devem refletir o significado dos dados na forma original, satisfazendo, por um lado, a conveniência da escolha e, por outro, a precisão e relevância dos resultados. Apresentam-se, a seguir, alguns dos critérios que podem auxiliar o processo de seleção de indicadores, quais sejam:

- existência de dados;
- possibilidade de calibração;

- possibilidade de comparação com critérios legais ou outros padrões/metad existentes;
- facilidade e rapidez de determinação e interpretação;
- grau de importância e validação científica;
- sensibilidade do público alvo;
- custo razoável de implementação.

Um indicador deve ter uma significância superior, diretamente associada ao valor do parâmetro, ter um significado sintético e ser desenvolvido para um objetivo específico (Organização para a Cooperação do Desenvolvimento Econômico (OECD) (1993) *apud* ALMEIDA (2002)).

O uso de indicadores com estabelecimento de padrões, torna viável o planejamento e o controle da qualidade de um processo pela apuração dos desvios.

Segundo MAGALHÃES (2007), os indicadores como instrumento de gestão ambiental auxiliam a democratização do conhecimento e a avaliação das intenções e ações de gestão, permitindo, portanto, a instauração de um sistema de governança. A valorização dos indicadores na implementação de políticas públicas decorre justamente de sua aplicabilidade à sinalização do desenvolvimento, em todas as suas facetas, como o crescimento econômico, o bem-estar humano e a qualidade ambiental.

Segundo a OECD (1998), indicadores ambientais são parâmetros ou valores que descrevem ou dão informação acerca de um determinado fenômeno ambiental.

Os indicadores ambientais devem permitir, como qualquer indicador, por um lado, reduzir o número de “medições” que normalmente seria necessário efetuar para caracterizar de forma exata uma dada situação e, por outro, simplificar o processo de interpretação dos resultados.

Para WINOGRAD (1995) *apud* FIDALGO (2003), os indicadores ambientais podem ser alterados conforme evoluem o conhecimento e a percepção dos problemas ambientais e, portanto, participam de um processo dinâmico.

Segundo VALLE (2000) os chamados indicadores de desempenho ambiental escolhidos pela organização devem ser específicos para uma determinada área podendo incluir, por exemplo, número de incidentes ambientais relatados, quantidade de efluentes, de emissões atmosféricas e de resíduos sólidos perigosos gerados por unidade de produto, peso da embalagem por unidade produzida, ruídos gerados pelos veículos de distribuição.

Além disso, os critérios para escolha de um indicador de desempenho ambiental

devem ter sua representatividade no conjunto das atividades da organização, sua previsibilidade e seu custo em relação aos resultados almejados. Devem ser indicadores cientificamente válidos, relevantes e de fácil comprovação.

Bakkes (1994) *apud* FIDALGO (2003) esclarece que os indicadores, por serem específicos do processo que representam são adequados apenas em alguns casos. Dessa forma, não há um único conjunto de indicadores ambientais universais.

Tendo em vista que os indicadores ambientais prestam-se, dentre outras finalidades, para avaliar e monitorar as intervenções humanas sobre os recursos naturais e para elaboração e execução de planos e manejo bem como de programas de monitoramento ambiental a partir de uma mesma base conceitual, eles podem potencializar a compreensão das relações de causa e efeito existentes entre as ações antrópicas (causas) e seus impactos ambientais (efeitos). (LEONARDO, 2003)

Ainda, segundo LEONARDO (2003), uma questão crucial para o êxito no uso de indicadores ambientais com vistas ao manejo sustentável é ter como foco a identificação das causas dos impactos ambientais diagnosticados, medidos e avaliados ou medidos e monitorados.

3.1.1 - Síntese Histórica do Desenvolvimento dos Indicadores Ambientais

Apesar de existirem registros sobre a qualidade do ar e temperatura desde meados de 1800, não havia esforços reais para identificar os indicadores ambientais ou um índice de qualidade ambiental. Após a Segunda Guerra Mundial, houve um crescimento sem precedentes da população e também da poluição, especialmente em antigas nações industrialmente desenvolvidas e nos novos países em desenvolvimento.

A poluição pairou sobre as grandes cidades contaminando as águas que ficaram tão poluídas que não podiam mais ser consumidas com segurança para cozinhar ou beber, sem um prévio tratamento.

Segundo GROVER (2001), os indicadores ambientais começaram a atrair a atenção no final dos anos sessenta e início dos anos setenta. Naquele tempo, o conhecimento sobre o meio ambiente era muito básico, tanto que a identificação e quantificação de parâmetros representativos do setor eram difíceis.

O Congresso dos Estados Unidos da América aprovou em 1968 uma lei tornando obrigatória a publicação de estatísticas sobre a qualidade ambiental.

Segundo FRANCA (2001), o Governo Canadense em fins dos anos 80 aprimorou o

conceito de indicadores ambientais visando simplificar as informações sobre as questões ambientais e facilitar a comunicação para um público mais amplo. Em 1987 a Holanda iniciou esforço similar.

O governo holandês desenvolveu iniciativa pioneira no desenvolvimento de indicadores capazes de fornecer meios para avaliar os resultados da implementação do então novo Plano de Política Ambiental Nacional Holandesa (NEPP), publicado em 1989.

Uma reunião de cúpula do G-7, em 1989, solicitou a Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) que desenvolvesse um conjunto básico de indicadores ambientais. A Conferência Rio-92 e a Agenda 21 colocaram a necessidade de desenvolvimento de indicadores ambientais em um novo patamar de integração às demais dimensões do desenvolvimento sustentável. O capítulo 40 da Agenda 21 recomendou ao sistema das Nações Unidas que trabalhasse junto a outras organizações internacionais no sentido de desenvolver um conjunto harmonizado de indicadores do desenvolvimento sustentável. Os indicadores pretendidos deveriam desempenhar múltiplos objetivos.

“Indicadores do desenvolvimento sustentável necessitam ser desenvolvidos a fim de proporcionar uma base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis e para contribuir para a sustentabilidade auto regulada do sistema integrado meio ambiente e desenvolvimento”. (Agenda 21, cap 40)

Com estas medidas e outras começaram a surgir algumas propostas sobre estabelecimento de indicadores.

3.1.2 - Modelos para Sistematizar o uso dos Indicadores Ambientais

A sistematização das informações ambientais para apresentação na forma de indicadores requer o uso de uma estrutura de organização lógica que as torne facilmente compreensíveis pelos usuários. Desse modo, os parâmetros escolhidos como indicadores do desenvolvimento sustentável devem refletir políticas sobre o domínio ambiental, social e econômico, do momento e do local. (FRANCA, 2001)

Em 1993, o World Resources Institute (WRI) iniciou, em colaboração com o governo Holandês (*Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment*), o desenvolvimento e posterior publicação do relatório *“Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy*

Performance in the Context of Sustainable Development". Este relatório apresentou um modelo conceitual das interações humanas com o ambiente com base nos conceitos clássicos das funções que o meio ambiente desempenha em relação à economia. (FRANCA, 2001)

Neste trabalho foram propostos 4 indicadores agregados ou índices refletindo os 4 tipos de interação: Depleção de Recursos; Poluição; Risco para os Ecossistemas (Ameaças para os Ecossistemas) e Impacto Ambiental sobre o Bem Estar Humano. O relatório propõe ainda que a mesma abordagem de utilização de indicadores agregados fosse estendida aos domínios econômico e social.

Além disso, o WRI apresenta, dentre outros modelos, o *framework* Pressão-Estado-Resposta (PER), originalmente proposto pelo governo Canadense e largamente adotado internacionalmente a partir do emprego e divulgação pela OECD. Esta estrutura objetiva basicamente apresentar as informações ambientais de forma a responder as seguintes questões:

- O que está acontecendo com o meio ambiente e com a base de recursos naturais?
- Por que está acontecendo?
- O que está se fazendo a respeito?

A primeira questão pode ser respondida através de Indicadores que reflitam as alterações ou tendências no estado físico ou biológico do ambiente natural (Indicadores de Estado); a segunda, através de indicadores que reflitam o grau de tensão ou pressão das atividades humanas que causam as alterações ambientais (Indicadores de Pressão) e para responder a terceira questão necessitam-se indicadores relevantes aplicáveis à avaliação das políticas adotadas pela Sociedade para fazer frente aos problemas ambientais (Indicadores de Resposta).

O modelo PER parte do princípio que as atividades humanas exercem pressões sobre o ambiente, as quais podem induzir mudanças no Estado do Ambiente. A Sociedade então responde às mudanças tanto de Pressões, quanto de Estado, através de políticas econômicas, sociais e ambientais destinadas a prevenir, reduzir, ou mitigar pressões e/ou danos ambientais (vide Figura 3.1 Estrutura PER para Organização e Apresentação de Informação Ambiental). Outra vantagem do modelo PER é poder ser diretamente aplicado para a caracterização das interações com o meio ambiente no nível de abrangência espacial global, de uma região, de um país, de uma comunidade, ou com foco voltado para determinado setor ou até mesmo, empresa individualmente.

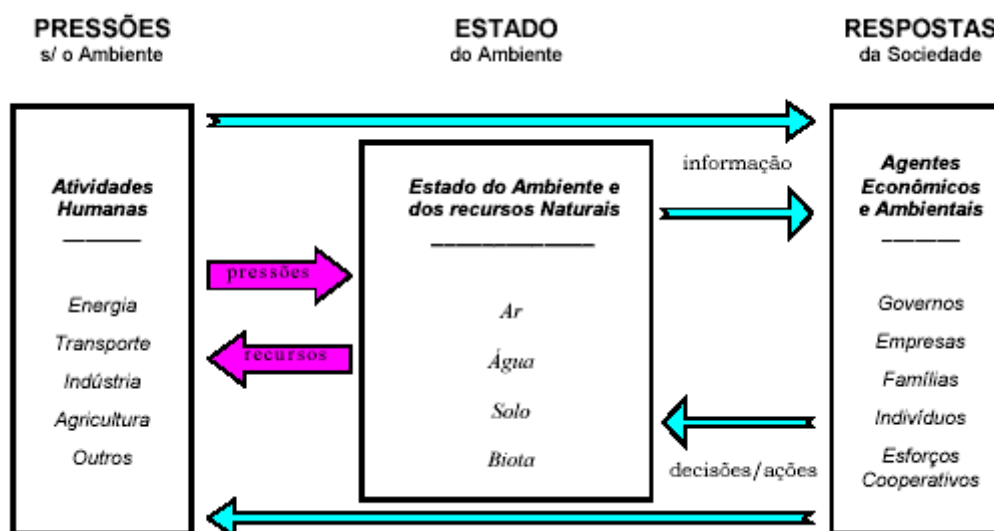


Figura 3.1: Estrutura PER para Organização e Apresentação de Informação Ambiental

Fonte: OECD (1993) *apud* FRANCA (2001)

Segundo GOMES *et al.* (2000), a Agência de Proteção do Ambiente Norte Americana (USEPA) desenvolveu estudos na área de indicadores e índices ambientais, num dos quais apresentou uma modificação do modelo PER (USEPA, s.d.). Denominado por Pressão-Estado-Resposta-Efeitos, este modelo difere do modelo adotado pela OCDE em alguns pontos fundamentais, especialmente pela inclusão de uma nova categoria denominada Efeitos. Esta categoria está essencialmente relacionada com a utilização de indicadores para avaliar as relações existentes entre variáveis de pressão, estado e resposta. Este tipo de informação pode ser muito útil para ajudar a delinear critérios de decisão no estabelecimento de objetivos/metas de política ambiental. (vide Figura 3.2 Estrutura conceptual do modelo Pressão-Estado-Resposta-Efeitos proposto pela USEPA)

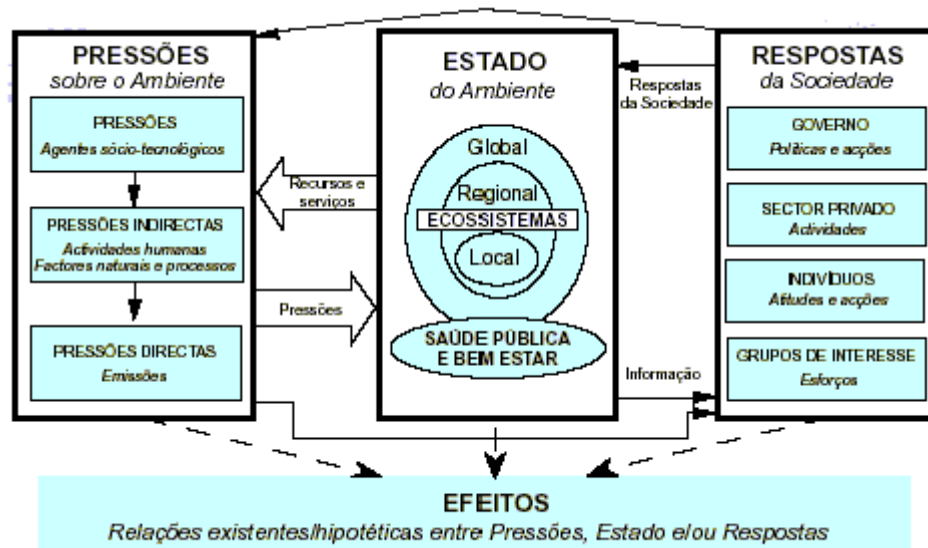


Figura 3.2: Estrutura Conceptual do Modelo Pressão-Estado-Resposta-Efeitos

Fonte: GOMES, *et al.* (2000)

Posteriormente, a Agência Europeia do Ambiente (AEA) propôs um modelo conceptual, denominado Driving Pressures State Impacts Responses (Forças motrizes, Pressões, Estado, Impactos e Respostas (DPSIR)), cuja filosofia geral é dirigida para analisar problemas ambientais. Este modelo considera que as Atividades Humanas (D - "Driving forces"), nomeadamente a indústria e os transportes, produzem Pressões (P - "Pressures") no ambiente, tais como emissões de poluentes, as quais vão degradar o Estado do Ambiente (S - "State of the environment"), que por sua vez poderá originar Impactos (I - "Impacts on the environment") na saúde humana e nos ecossistemas, levando a que a sociedade emita Respostas (R - "Responses") através de medidas políticas, tais como normas legais, taxas e produção de informação, as quais podem ser direccionadas a qualquer compartimento do sistema. (vide Figura 3.3 Estrutura conceptual do modelo DPSIR proposto pela AEA)

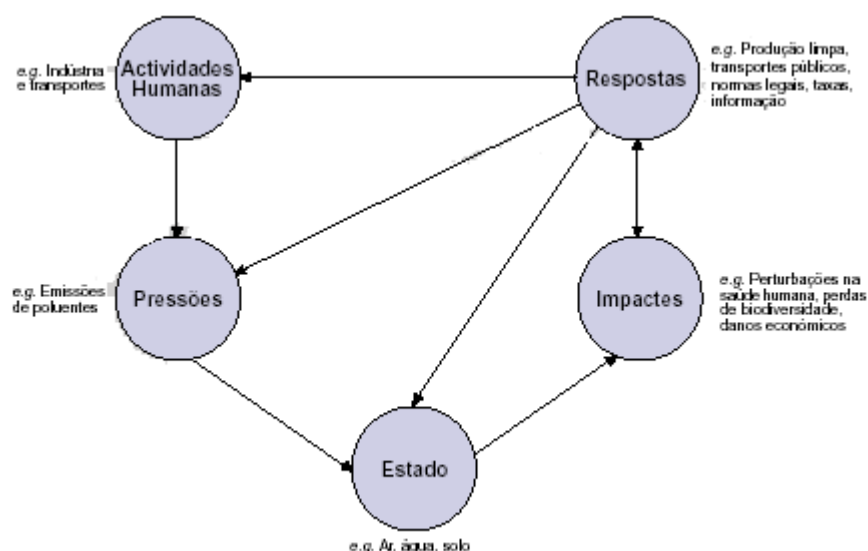


Figura 3.3: Estrutura Conceptual do Modelo DPSIR

Fonte: GOMES, *et al.* (2000)

A meados da década de 1990 a Organização Internacional para a Normalização (ISO) divulga as primeiras normas da serie ISO 14000 com a finalidade de padronizar o desenvolvimento/implementação voluntária de Sistemas de Gerenciamento Ambiental.

Esta série reúne normas internacionais que estabelecem regras para que as empresas possam implantar respectivos Sistemas de Gestão Ambiental incluindo normas para seis grupos diferentes de tópicos ambientais, entre elas, a norma ISO 14031 que trata especificamente das diretrizes para a avaliação de desempenho ambiental e a adoção de indicadores de desempenho ambiental. Os indicadores de desempenho ambiental estão relacionados ao desempenho da gestão e ao desempenho operacional.

O objetivo dos indicadores de desempenho da gestão é avaliar em que medida as várias tarefas ou atividade de gestão foram, ou não, realizadas de acordo com o planejado. Estes indicadores devem possibilitar uma avaliação dos esforços, decisões e ações efetuadas pela gestão para melhorar o seu desempenho ambiental. Já os indicadores de desempenho operacional permitem avaliar em que medida as atividades da empresa têm efeitos no ambiente. As operações de uma organização podem agrupar-se com base nos inputs e outputs das instalações e equipamentos da organização. Utilizam-se normalmente indicadores relativos à utilização de materiais e energia (consumo), indicadores relacionados com os serviços de suporte, com o desempenho ambiental das instalações ou equipamentos e indicadores relacionados com os outputs (produtos, serviços e resíduos e emissões gerados).

Os indicadores de condições ambientais devem fornecer informações sobre as condições locais, regionais, nacionais ou globais e devem medir as mudanças e impactos no ambiente fornecendo informações úteis sobre as relações entre as condições do ambiente e as atividades, produtos e serviços de uma organização. (ISO/FDIS 14031, *apud* CUNHA 2001) (vide Figura 3.4 Relação entre indicadores operacionais, de condição e de gestão).



Figura 3.4 Relação entre Indicadores Operacionais, de Condição e de Gestão

Fonte: ANTUNES, *et al.* (2003)

3.1.3 - Indicadores Ambientais associados aos Sistemas de Transporte

Como foi definido no capítulo 2, as atividades de transporte afetam o meio ambiente e a saúde humana. Assim sendo, após a Rio-92, surgiram no mundo toda iniciativas e projetos com vistas à definição de indicadores ambientais e setoriais para um variado leque de finalidades de gestão, ao nível do desenvolvimento local, regional e nacional, estimulando, assim, a sistematização e comparabilidade da informação nos diversos países abrangidos, procurando ainda criar sinergias com outros organismos internacionais.

- **Experiências Internacionais de Indicadores Ambientais**

Em 1993 a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) desenvolveu um trabalho sobre indicadores para a integração de interesses ambientais em políticas de transporte. O modelo desenvolvido pela OECD é fundamentado no modelo Pressão-estado-resposta (PER) considerando as tendências setoriais de importância ambiental (impactos indiretos); as interações com o meio ambiente

(pressões diretas no meio ambiente e em recursos naturais) e os aspectos econômicos e políticos setoriais e a interface com o meio ambiente (aspectos econômicos dos impactos ambientais). (Figura 3.5)

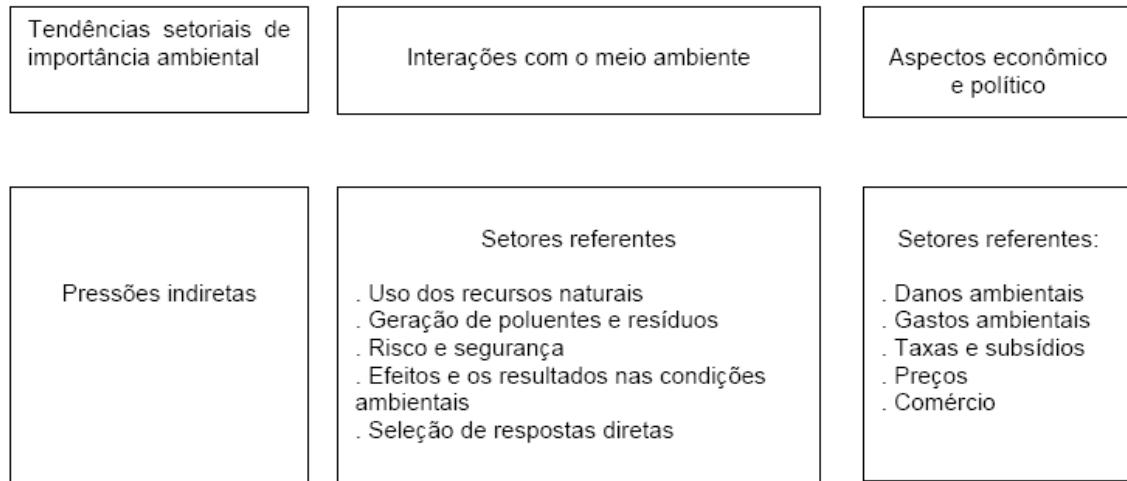


Figura 3.5: Modelo PER ajustado para a elaboração de indicadores ambientais setoriais

Fonte: OECD (1999) *apud* CARVALHO (2005)

Os indicadores ambientais para o transporte desenvolvidos limitam-se às interações entre as tendências do transporte e a questão ambiental, não discutem os aspectos sociais e econômicos; ao transporte rodoviário que é o modal que mais contribui para os impactos no meio ambiente e ao âmbito nacional e internacional (Figura 3.6) (OECD, 1999 *apud* CARVALHO, 2005).

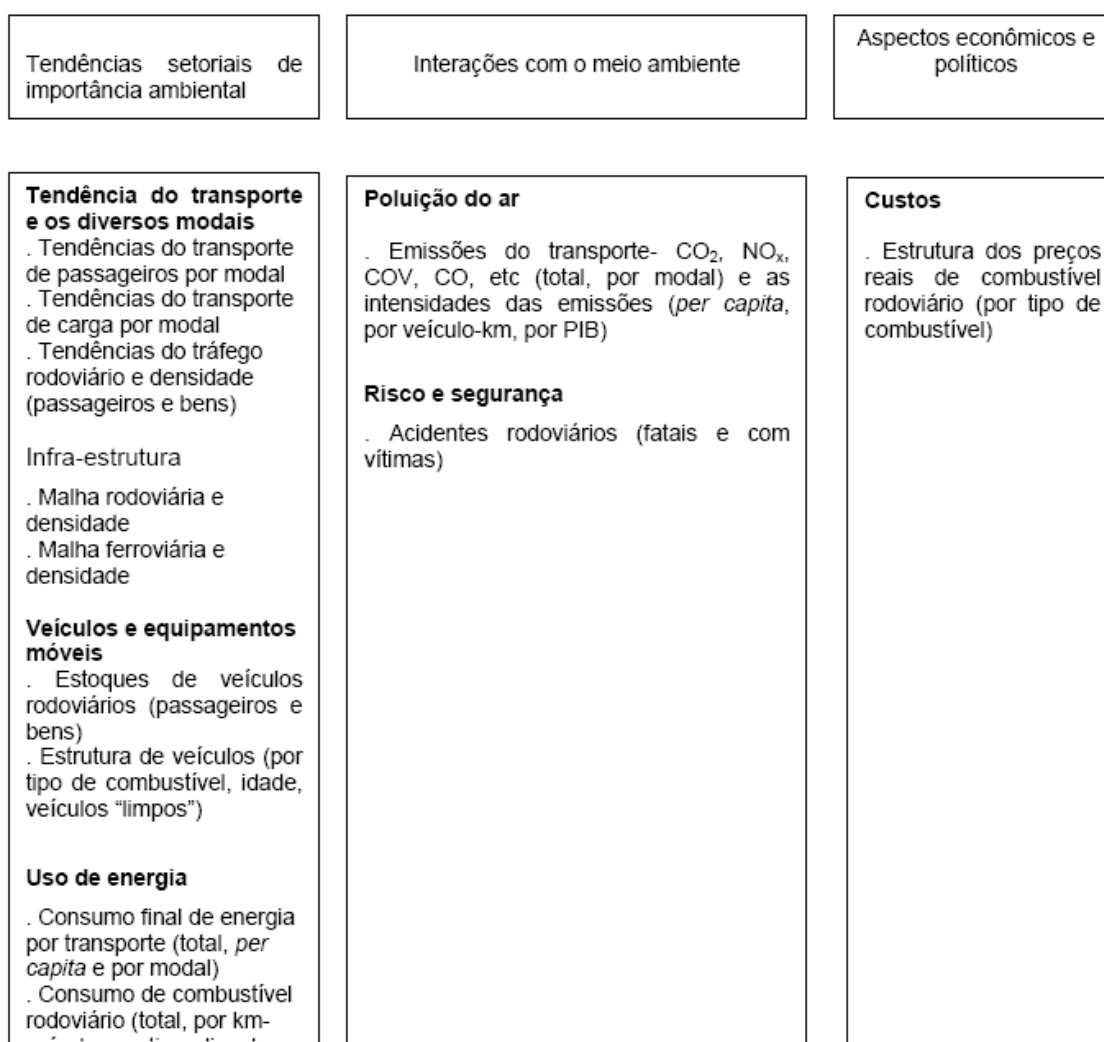


Figura 3.6: Modelo PER ajustado para indicadores ambientais para o transporte

Fonte: OECD (1999) *apud* CARVALHO (2005)

A partir de 1995 a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) iniciou a elaboração de indicadores ambientais para o setor transporte, abrangendo os quatro modais de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo e hidrovial) e os recursos naturais (ar, água e solo). Estes indicadores foram elaborados considerando o ciclo de vida do transporte desde a construção da infra-estrutura de transporte; a produção de veículos; as viagens; a manutenção dos veículos e serviços de apoio até a disposição final dos veículos e acessórios.

O modelo para classificar os indicadores foi uma adaptação do modelo utilizado pela OECD, utilizando assim na sua metodologia o modelo PER, adotando indicadores de atividade, de produto (outputs) e de resultados (outcomes), (Figura 3.7).

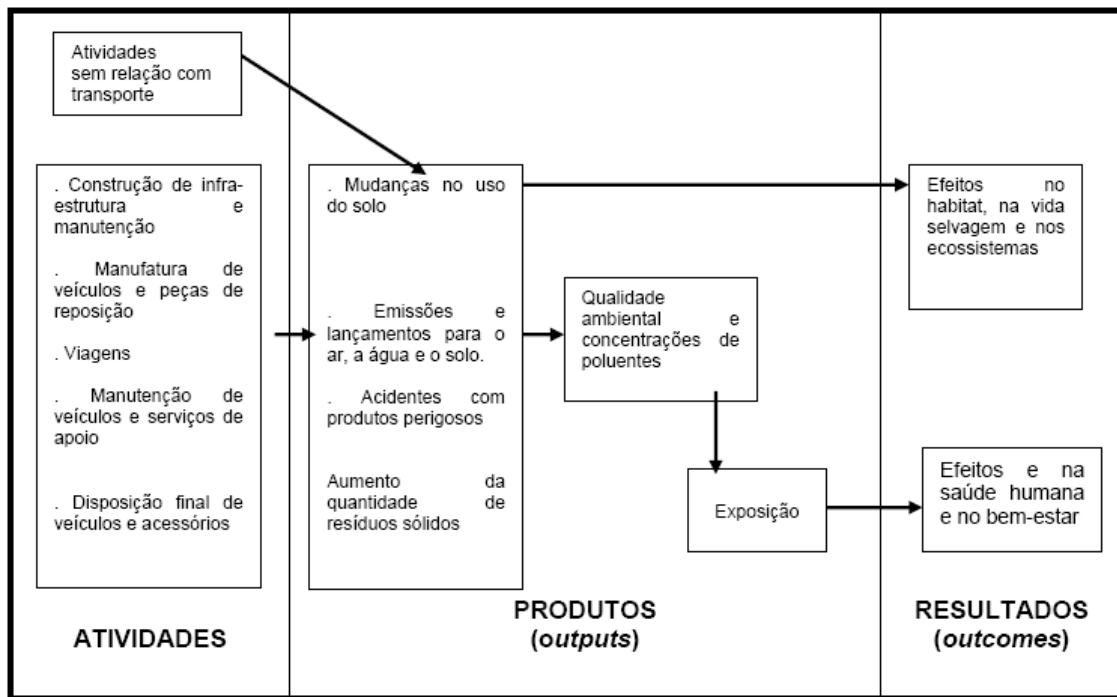


Figura 3.7: Modelo PER ajustado da EPA para indicadores dos impactos ambientais do transporte

Fonte: EPA (1999) *apud* CARVALHO (2005)

Os indicadores de **atividades** informam sobre as atividades conhecidas que provocam impactos ao meio ambiente, dentro das diferentes atividades do ciclo de vida do transporte, por exemplo: número de quilômetros construídos de via, número de veículos fabricados, dentre outros.

Os indicadores de **produtos (outputs)** informam as emissões, acidentes e perdas que podem ser associados a danos ao meio ambiente. Eles não quantificam o dano real ocorrido, mas fornecem informação sobre produtos que podem ser associados à saúde humana, meio ambiente e bem-estar da população. Exemplos de indicadores de produto são: quantidade de poluição emitida, número de acidentes com produtos perigosos, nível de ruído, dentre outros.

Nos indicadores de **resultado (outcomes)** são medidas de resultados finais. Fornecem informação quantitativa dos efeitos das atividades do transporte na saúde humana, no meio ambiente e no bem-estar da população. Os indicadores de resultado são os mais importantes para o público pela informação, sobre prováveis danos ambientais, que disponibilizam.

- **Experiências Nacionais de Indicadores Ambientais**

No Brasil, o Ministério dos Transportes, por intermédio de sua política ambiental, insta as empresas a desenvolverem suas atividades com o compromisso do respeito às necessidades de preservação ambiental e redução de seus impactos negativos sobre a qualidade ambiental. Ademais, o termo de cooperação técnica celebrado pelo Ministério dos Transportes e o Ministério do Meio Ambiente prevê a aplicação de novos instrumentos de comando e controle, incluindo Sistemas de Gestão e de Auditoria Ambiental voltados para o setor de transportes (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002). Não obstante à pressão exercida pelo governo, ainda não existem indicadores ambientais que se apliquem de forma oficial e específica ao monitoramento da operação do transporte.

Uma vez que não existem indicadores específicos para o monitoramento da operação do transporte de cargas, apresentam-se a seguir algumas propostas obtidas da pesquisa da literatura técnica.

- CRUZ (2004), PAIVA (2004) e DINIZ (2007) em seus trabalhos “Gestão Ambiental da Operação do Transporte Ferroviário de Carga”, “Subsídios para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental para a Operação de Rodovias” e “Sistema de Gestão Ambiental para Obras Fluviais”, respectivamente, desenvolvem propostas de um Sistema de Gestão Ambiental para a operação do Transporte Ferroviário de Carga, Rodoviário e Obras Fluviais respectivamente, em consonância com a norma ISO 14001, propondo indicadores ambientais como ferramenta de apoio ao sistema de gestão proposto.
- RIBEIRO (2005) em seu trabalho “Indicadores Ambientais para o Transporte com Foco na Qualidade do Ar” propôs indicadores ambientais e de transporte como instrumento de gestão ambiental na avaliação da qualidade do ar.
- BADANHAN (2001), em seu trabalho “Indicadores e Padrões de Qualidade Ambiental na Construção de Dutos para o Transporte de Gás Natural” propôs Indicadores e Padrões de Qualidade Ambiental para uniformizar o controle ambiental dos processos em uma obra de dutos, de maneira a conciliar as exigências dos agentes sócias, quanto à qualidade do meio ambiente e do agente privado, quanto a sua produtividade.

Como estes diversos indicadores apresentados se referem apenas a um elemento do

meio ambiente, é necessário criar uma forma de tratá-los de forma integrada que permita a avaliação global do desempenho operacional. Esta forma integrada de agregar os indicadores ambientais é o uso de um índice de desempenho ambiental (CRUZ *et al.* 2007) como proposto neste trabalho.

3.2 – Índice de Desempenho Ambiental

Segundo LOUREIRO (2005) os índices são resultados da combinação de várias variáveis ou parâmetros em um só valor, assumindo um peso relativo a cada componente do índice.

Segundo LUZ *et al.* (2006) índice é o topo de uma pirâmide informacional, em cuja base estão os dados primários de campo, de varias naturezas e, no meio, estão os indicadores que os capturam e comunicam acerca do complexo objeto estudado (Figura 3.8).

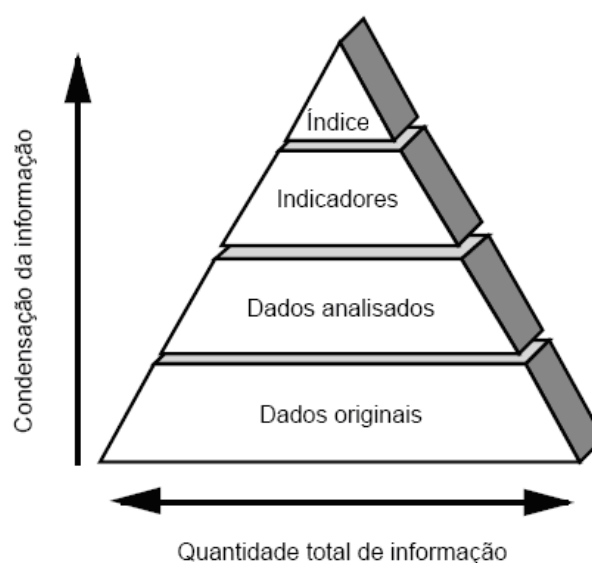


Figura 3.8: Pirâmide de Informação

Fonte: Adaptado de GOUZEE *et al* (1995) e BRAAT (1991) *apud* GOMES *et al.* (2000)

Os índices ambientais devem permitir observar e acompanhar a situação do meio ambiente, o impacto e as conseqüências dos processos de desenvolvimento sobre os recursos naturais, as funções ecológicas e as inter-relações entre os diferentes fatores do desenvolvimento (LOUREIRO, 2005).

3.2.1- Experiências Internacionais de Índices Ambientais

Na busca por simplificar a informação sobre fenômenos complexos, de modo a melhorar a comunicação através de índices, a ONU começou a publicar a partir de 1990 o **Índice de Desenvolvimento Humano** (IDH) criado para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Este índice é uma construção com o que se busca avaliar o progresso humano e a evolução das condições de vida das pessoas, e que, por isso mesmo, não se restringe apenas à dimensão econômica, como o PIB per capita. O IDH é medido em todo país e inclui a renda e outras duas categorias, que representam o desenvolvimento humano: a longevidade e o grau de maturidade educacional. Este índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior é o nível de desenvolvimento (SILVA, 2008).

Este índice embasou a proposição de novos índices de desenvolvimento humano como o Índice de Desenvolvimento Humano ajustado ao Gênero (IDIG) e o Índice de Pobreza Humana (IPH) que visa a medir o estado oposto ao desenvolvimento humano, ou seja, “a falta das capacidades básicas essenciais para todas as pessoas, cuja falta impeça outras escolhas” (MAGALHÃES, 2007).

Em 1999 a Bolsa de New York criou o **Índice Dow Jones de Sustentabilidade** (DJSI), que é um dos primeiros índices de desenvolvimento sustentável pensado para empresas. O seu objetivo é mostrar o desempenho econômico de empresas líderes em nível de sustentabilidade, numa escala global. A sua principal virtude é que permite aliar critérios ambientais a critérios financeiros nas transações que são feitas nos mercados bolsistas.

Segundo SALGADO (2004) o DJSI abrange 10% das 2,5 mil maiores corporações do Dow Jones World Index. Assim, as empresas que compõem o índice são reconhecidas por importantes grupos ou partes interessadas como líderes setoriais nas dimensões estratégicas ambientais, sociais e econômicas.

Outras bolsas pegaram carona no movimento e estabeleceram seus próprios índices, como são os casos da de Londres, que criou o FTSE4Good (Footsiefor good), em 2001, a de Johannesburg, com o JSE (2003), e a Bovespa, com o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), em 2005 (ENVOLVERDE, 2008).

Da mesma maneira, pesquisadores do *Center for Environmental Law & Policy*, da Universidade Yale e do *Center for Earth Science Information Network*, no 2005, resolveram desenvolver, em cooperação com Fórum Econômico Mundial e o *Joint*

Research Center da Comissão Européia, um modelo de cálculo para um “Índice de Desempenho Ambiental” (IDA). O projeto, já deu resultados interessantes. Eles coletaram uma série de indicadores para calcular esse IDA, de tal forma que permitisse comparar e ordenar os países, do melhor ao pior desempenho ambiental. (ABRANCHES, 2007)

O IDA procura medir a distância de cada país em relação a um determinado objetivo de desempenho. Distâncias em relação a metas ambientais recomendáveis. É um índice composto por uma série de indicadores. O método adotado para calcular esses indicadores foi o de “proximidade da meta”. É assim: toma-se um conceito, qualidade do ar, por exemplo, define-se tecnicamente uma meta desejável para ele, com base em indicadores quantitativos para medi-lo, e se calcula a distância entre a situação medida efetivamente em cada país e essa meta.

A vantagem desse tipo de índice, segundo ABRANCHES (2007) é que ele serve de base fundamentada para a formulação e a avaliação de políticas públicas voltadas para o desempenho ambiental dos países. A partir da análise de cada indicador individualmente, poder-se-iam fixar metas anuais para alcançar determinado índice de desempenho em cada um deles. Desse modo, seria possível desenvolver um conjunto de ações, com metas quantitativas claras, que permitisse, por exemplo, ao país, chegar a 90 pontos no índice agregado de desempenho, ou 90% de realização da meta ambiental considerada desejável, em um determinado número de anos. A política ambiental passaria a ter indicadores transparentes, técnicos, quantitativos, para avaliação de desempenho de cada uma de suas ações e de seu resultado geral.

São 16 indicadores, para os quais são definidas metas de “saúde ambiental”, ou “sustentabilidade do ecossistema”. As metas são aquelas adotadas por organismos internacionais ou que refletem consensos científicos e não mudam de país para país. Portanto todos têm seu desempenho medido contra o mesmo valor de referência.

A montagem do índice começa com o cálculo entre dois e cinco indicadores, em cinco áreas centrais de políticas ambientais: Saúde Ambiental, Qualidade do Ar, Recursos Aquáticos, Biodiversidade e Habitat, Recursos Naturais Produtivos e Energia Sustentável. Isso permite aos países acompanhar seu desempenho relativo em cada uma dessas linhas bem demarcadas de políticas. Essas medidas são, então, agregadas em dois grandes grupos de objetivos: Saúde Ambiental e Vitalidade do Ecossistema. Finalmente, a média desses dois grupos de indicadores gera o IDA.

Na política de saúde ambiental, por exemplo, os indicadores medidos são:

mortalidade infantil, poluição interna do ar (dentro dos ambientes construídos), água potável, saneamento adequado e material particulado urbano. Na política de energia sustentável, as medidas são: eficiência energética, energia renovável e CO2/PIB. Cada um desses indicadores tem um peso no seu grupo e cada grupo um peso nos dois macro-objetivos, gerando uma média ponderada.

O resultado final produz uma distribuição dos países por grupos de desempenho ambiental, que tem correlação com indicadores de desenvolvimento humano e qualidade da democracia (ABRANCHES, 2007).

3.2.2- Experiências Nacionais de Índices Ambientais

A Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), do Estado de Minas Gerais, vem estabelecendo as bases de um processo de avaliação por meio de indicadores que representem os resultados da implementação da política ambiental em Minas Gerais, no que concerne à chamada Agenda Marrom, que compreende as atividades industriais, mineração e infra-estrutura. O marco referencial para o método desenvolvido contemplou os principais aspectos e impactos ambientais observados no Estado, que foram analisados segundo o método Pressão/Estado/Resposta. Os 13 indicadores selecionados foram agregados em seis temas - ar, água, solo, biodiversidade, institucional e socioeconômica. Com base nesses indicadores foi calculado o **Índice para Avaliação de Desempenho da Política Pública de Meio Ambiente (IDPA)**, cuja classificação varia segundo escala de 0 a 1 (SILVA, 2008).

Além do trabalho do FEAM, um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) desenvolveu uma metodologia de construção de **índices de sustentabilidade local** e a tem aplicado a várias regiões do Estado (Braga *et al*, 2004 *apud* SILVA, 2008). O sistema de Índice de Sustentabilidade para os Municípios da Bacia do Piracicaba foi construído a partir de pesquisa anteriormente desenvolvida, sobre ambiente, população, economia, sociedade e vida política (Paula *et al*, 1997). É composto por quatro índices temáticos, a saber: qualidade do sistema ambiental local; qualidade de vida humana; pressão antrópica; e capacidade política e institucional.

Esses índices temáticos mensuram, respectivamente: o grau de saúde do sistema ambiental; a capacidade do município em reduzir a desigualdade social, prover os habitantes de condições básicas de vida e um ambiente construído saudável e seguro; o

potencial de degradação e o grau de impacto; e a robustez do município para o enfrentamento de desafios presentes e futuros. Nesse estudo, avaliaram ainda a sustentabilidade dos municípios do entorno do Parque Estadual do Rio Doce (Braga e Freitas, 2002 *apud* SILVA, 2008). Ainda aplicaram a metodologia para a região do Vale do Aço.

Outro índice desenvolvido no Brasil foi o **Índice de Salubridade Ambiental (ISA)**, estabelecido pelo Conselho Estadual de Saneamento Ambiental (CONESAM), em 1999, em sintonia com a Política Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo, para avaliar a eficácia do Plano Estadual de Saneamento e os serviços públicos no setor de saneamento — abastecimento de água, esgotos sanitários, limpeza urbana, controle de vetores — a situação dos mananciais e as condições socioeconômicas dos municípios, como subsídios à adoção de políticas públicas mais eficazes para a promoção da qualidade de vida das populações e orientar ações compatíveis com as realidades regionais e locais. Iniciativa semelhante foi desenvolvida também em Salvador, na Bahia (Ribeiro, 2006 *apud* SILVA, 2008).

Um outro exemplo é o **Índice de Qualidade Municipal – Verde**, desenvolvido pela Fundação CIDE do RJ, a partir de 1997, tem por objetivo contribuir para a preservação e recuperação ambiental, sendo seu tema central a fragmentação da cobertura vegetal, especialmente a florestal. O **IQM-Verde** dá relevo ao Índice de Qualidade de Uso do Solo e da Cobertura Vegetal (IQUS), que classifica os municípios fluminenses, segundo a maior ou menor artificialização dos seus espaços geográficos, além de identificar corredores ecológicos, para interligação de fragmentos florestais. A identificação de Corredores Prioritários para a Interligação de Fragmentos Florestais (CPIF) e a formulação do IQUS constitui em ferramentas de suporte à gestão ambiental do território fluminense, refletindo preocupação com a preservação dos 32% de cobertura florestal, que ainda lhe restam.

Assim, pode-se observar, que tem-se revelado interesse crescente por parte de instituições nacionais e internacionais na adoção de índices de qualidade ambiental, tornando os dados científicos mais facilmente utilizáveis por decisores, técnicos, gestores, cientistas, políticos, grupos de interesse (exemplo, organizações não governamentais) ou pelo público em geral.

3.3 – Modelos de Avaliação de Impactos Ambientais

A avaliação do desempenho ambiental da operação do Sistema de Transporte de Carga (STC) deve abranger todos os impactos ambientais negativos possivelmente gerados, buscando obter-se um valor global para cada modo de transporte analisado, facilitando assim, a comparação entre os mesmos e auxiliando na tomada de decisão do modo de transporte de carga mais favorável ambientalmente. Para a obtenção do valor global precisa-se de uma ferramenta para o tratamento de variáveis que nas avaliações apresentam certo grau de incerteza ou vagueza, além de facilitar a agregação das mesmas.

Segundo diferentes autores pesquisados como, FOGLIATTI *et al.* (2004), DUARTE (2002), GOUDARD (2001), BRANDÃO (1996), os métodos mais utilizados na avaliação de impactos ambientais são: o método Espontâneo (AD-HOC), a Listagem de Controle (Checklist), as Matrizes, as Redes de Interação (Networks), a Superposição de Mapas (Overlay Mapping), os Modelos de Simulação, a Análise Multicritério, Sistemas Especialistas e os Modelos Fuzzy, brevemente descritos a seguir.

- Método AD HOC: consiste em reunir um grupo de especialistas, multidisciplinares, de acordo com o tipo de projeto a ser analisado, com o objetivo de levantar os possíveis impactos ambientais negativos de um empreendimento e suas medidas mitigadoras.
- Listagem de Controle (Checklist): permite relacionar, através de listas, os impactos mais relevantes de um empreendimento, associando-os às características ambientais afetadas e as ações que os provocam.
- Matrizes: corresponde a associar as ações de um empreendimento e seus efeitos sobre o meio ambiente, através de uma listagem bidimensional.
- Redes de Interação (Networks): permitem relacionar, tipo causa-efeito, uma sequência de impactos, diretos e indiretos, a partir de uma determinada ação, possibilitando visualizar a cadeia de relacionamentos entre os diferentes impactos que são gerados das intervenções humanas no meio ambiente.
- Superposição de Mapas (Overlay Mapping): consiste na elaboração de uma série de cartas temáticas, destacando cada uma um aspecto ambiental, que ao serem superpostas reproduzem a síntese da situação ambiental da área em estudo.

- Modelos de Simulação: são modelos matemáticos utilizados para simular o comportamento de determinado sistema ambiental, após uma ou mais modificações provocadas no mesmo a partir de um conjunto de pressupostos e hipóteses.
- Análise Multicritério: consiste em agrupar atributos das alternativas em estudo de forma hierárquica, permitindo a comparação entre as mesmas de forma a estabelecer uma relação de prioridades de acordo com os elementos selecionados.
- Sistemas Especialistas: são programas desenvolvidos com o objetivo de resolver problemas com soluções idênticas às definidas por especialistas.

Segundo os mesmos autores (FOGLIATTI *et al.*, (2004), DUARTE (2002), GOUDARD (2001) e BRANDÃO (1996)), estes métodos possuem características que os tornam mais vantajosos para uns casos e desvantajosos para outros.

A seguir apresentam-se algumas características da lógica fuzzy que vem sendo usada nos últimos anos, para o tratamento de situações que envolvem informações imprecisas de modo a permitir a tradução de expressões verbais qualitativas e vagas em valores numéricos, além de utilizar um procedimento de agregação que compara as alternativas por um critério único, sintetizando as avaliações parciais.

3.4 – Lógica Fuzzy

3.4.1 – Conceitos e Breve Resenha Histórica da Lógica Fuzzy

Lógica é a ciência que tem por objetivo o estudo das leis do raciocínio. A lógica fuzzy tem por finalidade o estudo dos princípios formais do raciocínio aproximado. (CALDEIRA, *et al.* 2007).

Segundo a definição dada por BRAGA *et al.* (1995) *apud* SILVA (2005), a lógica fuzzy é uma tentativa de se aproximar a precisão característica da matemática à inerente imprecisão do mundo real, nascida no desejo profundo de se conhecer melhor os processos mentais do raciocínio.

A característica especial da lógica fuzzy (também conhecida como lógica nebulosa e em alguns casos por teoria das possibilidades) é a de representar uma forma inovadora de manuseio das informações imprecisas, de forma distinta à teoria das probabilidades.

Como afirmam SHAW e SIMÕES (2001) a lógica fuzzy provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em uma forma compreensível pelos computadores. Assim, a tecnologia

possibilitada pelo “enfoque fuzzy” tem um imenso valor prático, na qual se torna possível a inclusão da experiência de operadores humanos, os quais controlam processos e plantas industriais, em controladores computadorizados, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos.

Ainda segundo CURY (1999) *apud* SOUZA (2001) a lógica fuzzy é um “superconjunto” da lógica clássica que expandiu-se para tratar o conceito de verdade parcial, isto é, valores exatos compreendidos entre o completamente verdadeiro e o completamente falso.

A lógica fuzzy nasceu a partir da publicação do artigo intitulado “Fuzzy Sets” na revista *Information and Control* por Lofti A. Zadeh da Universidade da Califórnia, Berkeley em 1965, neste artigo, Zadeh descreveu a teoria matemática dos conjuntos fuzzy. Esta teoria apresentava a proposta de fazer uma função de pertinência (ou os valores verdadeiros ou falsos) operar dentro do intervalo de números reais $[0,1]$ (ZADEH, 1965).

As primeiras aplicações industriais na Europa, ocorreram após 1970. Em Londres, Inglaterra, Ebrahim Mamdani usou lógica Fuzzy para controlar um gerador a vapor. Na Alemanha, Hans Zimmermann usou lógica Fuzzy para sistemas de apoio à decisão. Ainda nesta época, as poucas aplicações que usavam lógica Fuzzy, esconderam o fato circunscrevendo lógica Fuzzy com condições como “lógica de múltiplos valores” ou “lógica contínua”.

Em 1972 formou-se no Japão o primeiro grupo de pesquisas em sistemas fuzzy, coordenado pelo professor Toshiro Terano, e em 1974 iniciou-se um importante capítulo no desenvolvimento desta teoria com a apresentação do primeiro controlador fuzzy criado por E. Mamdani, no Reino Unido. A partir de então vários foram os pesquisadores que buscaram aplicar a teoria de lógica fuzzy para controlar sistemas em engenharia.

Em 1976 se desenvolve a primeira aplicação industrial da lógica fuzzy, pelo Circle Cement e SIRA, na Dinamarca, que consistiu de um controlador fuzzy que incorporava o conhecimento e a experiência dos operários para controlar os fornos das fábricas (REZNIK, 1997).

Em 1977, Didier Dubois aplicou os conjuntos fuzzy em um estudo sobre condições de tráfego e neste mesmo ano surgiu o primeiro sistema especialista fuzzy (YEN & LANGARI, 1999).

Em 1985 foi desenvolvido o primeiro chip fuzzy por Masaki Togai e Hiroyuke Watanabe, no laboratório Bell (EUA). Em 1987 foi inaugurado com sucesso o primeiro trem controlado com lógica fuzzy, no sistema do metrô de Sendai, no Japão. Neste mesmo ano a Yamaha desenvolveu seu helicóptero não-tripulado, Yamaha-50, totalmente controlado por um controlador fuzzy, dando origem a era do desenvolvimento tecnológico proporcionado por esta teoria.

Em 1988 começou a operar no Yamaichi Fuzzy Fund o primeiro sistema de comércio financeiro fuzzy. Mas foi em 1990 que esta teoria atingiu a popularidade com o lançamento no mercado da primeira máquina de lavar roupas fuzzy, da Matsushita Electric Industrial Co., marcando o início do desenvolvimento de produtos de consumo (REZNIK, 1997). No Japão, existe grande quantidade de eletrodoméstico cujo sistema é baseado em controles fuzzy (televisão, câmera fotográfica, panela para cozimento de arroz, vídeos, etc.) além, de várias empresas (Siemens, Daimler-Benz, Klockner-Moeller, SGS-Thomson, General Motors, Motorola, Hewlett-Packard, etc.) possuírem laboratórios de pesquisa em lógica fuzzy para desenvolvimento de seus produtos.

Deste modo, hoje, a lógica fuzzy não só é utilizada na área industrial, mas também empregada em administração de projetos, formação de preços de produtos, diagnósticos médicos, previsão de vendas, análise de mercados, identificação criminal, orçamento de capital, avaliação para aquisição de empresas e muitas outras atividades.

Dentre estas outras atividades se tem a área ambiental, onde já vários autores utilizam os conceitos fuzzy, podendo-se citar, segundo o objetivo, os seguintes: para avaliação de riscos e impactos ambientais, FILIPPO (2008), BOCLIN & MELLO (2006), FILIPPO *et al.* (2005), DIXON (2005), SADIQ & HUSAIN (2005), FILHO (2004), ANDRIANTIATSAHOLINIAINA *et al.* (2004), ANDRADE (2004), ARAÚJO (2004), URICCHIO *et al.* (2004), GONZÁLEZ *et al.* (2002), ERCANOGLU & GOKCEOGLU (2002), ENEA & SALEMI (2001), SILVERT (2000), CURY (1999) e JUANG *et al.* (1998); para modelagem de sistemas ambientais, ÖZESMI & ÖZESMI (2004) e BORRI *et al.* (1998) e para controle de processos de redução da poluição ambiental, CHANA & HUANG (2003).

Assim, poder-se-ia afirmar que o incremento da utilização da lógica fuzzy baseia-se em que esta possibilita a implementação de implicações lógicas semelhantes às utilizadas pelo indivíduo. Busca modelos capazes de representar sua percepção da realidade, incluindo assim suas características na realização de inferências e tomadas de

decisões. Diferentemente, a abordagem clássica propõe a criação de modelos da própria realidade.

3.4.2 - Lógica Fuzzy versus Lógica clássica

Aristóteles, filósofo grego (384 – 322 a.C.) foi o fundador da ciência da lógica e estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que as conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. O emprego da lógica de Aristóteles leva a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões, sendo considerada binária, pois uma declaração é verdadeira ou falsa. Já na lógica fuzzy uma afirmação é verdadeira para vários graus, variando de completamente verdade, passando por meia verdade, até completamente falso.

Segundo SHAW& SIMÕES (1999) a propriedade fundamental da lógica fuzzy é que a função de pertinência é multivalente, tem todos os valores dentro do intervalo [0,1]. Isso significa que um elemento pode ser membro de um conjunto parcialmente, indicado por um valor fracionário dentro do intervalo numérico. Enquanto que a propriedade fundamental da lógica clássica, é que a função de pertinência é bivalente.

A lógica clássica pode ser muito bem aplicada no conjunto dos números naturais; um número pertence ou não a esse conjunto, mas ao se deparar com um conjunto que não possui uma fronteira claramente definida ou que é impreciso como é o caso da poluição sonora que mesmo tendo um padrão definido por lei, 65 dB, poder-se-ia tanto inferir que 64 dB é um nível baixo de ruído como também é um nível médio, tornando desse modo, a avaliação subjetiva. Assim, a característica fundamental da lógica fuzzy é a possibilidade de poder quantificar as ambigüidades do pensamento humano, os quais são impossíveis de se expressar com a lógica clássica.

3.4.3 - Sistema de Inferência Fuzzy

Para a lógica fuzzy, uma variável não tem apenas um único estado atual, mas “n” estados, cada um com diferentes graus de associação ou de pertinência.

Um sistema fuzzy típico consiste de uma base de regras, de funções de pertinência e de procedimentos de inferência, conforme mostrado na Figura 3.9

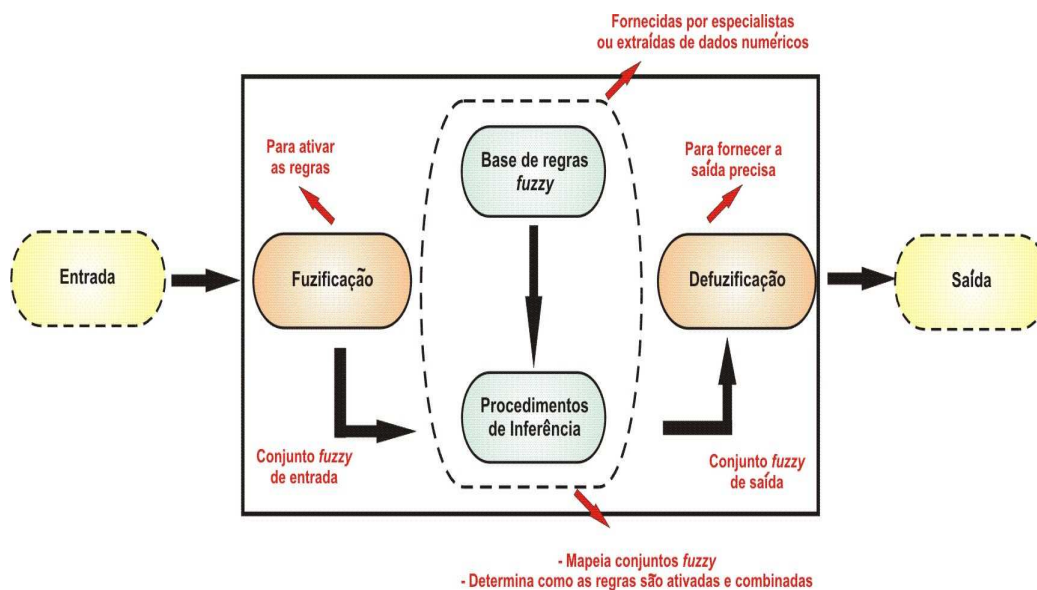


Figura. 3.9: Estrutura geral de um sistema de inferência fuzzy

Fonte: PAES (2006)

A entrada para o sistema pode ser um valor preciso (quando deriva de um processo de medição) ou um conjunto fuzzy (geralmente quando provêm de um observador humano ou por uma base de dados, como por exemplo, os questionários) (GOUDARD, 2001). O processo de fuzzificação é o primeiro passo na computação de um sistema fuzzy e deve ser executado para cada variável de entrada.

a) Processo de Fuzzificação

O processo de fuzzificação consiste em associar um vetor lingüístico aos possíveis valores dos parâmetros de entrada para produzir um conjunto fuzzy que retrate a imprecisão do problema sob análise. (GOUDARD, 2001)

- **Variáveis lingüísticas**

A principal função das variáveis lingüísticas é fornecer uma maneira sistemática para caracterizar aproximadamente fenômenos complexos ou mal definidos. Assim, uma variável lingüística fuzzy é uma variável cujo valor é expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência.

Segundo SHAW e SIMÕES (1999) uma variável lingüística u no universo U é definida em um conjunto de termos (ou terminologia), nomes ou rótulos, $T(u)$, com

cada valor sendo um número fuzzy definido em U. Por exemplo, se u for ruído de equipamentos, então seu conjunto de Termos T(u) poderia ser:

$$T(\text{ruído de equipamentos}) = \left\{ \text{baixa, média, alta} \right\}$$

Sobre o universo de discurso $U = [0,65]$, onde *baixa*, *média* e *alta* são termos, ou variáveis lingüísticas da grandeza *ruído equipamentos*. Assim, a variável lingüística será um rótulo para os conjuntos fuzzy.

- **Conjuntos Fuzzy e Funções de Pertinência**

Na teoria clássica dos conjuntos, utiliza-se como princípio básico a idéia de que um elemento "pertence" ou "não pertence" a um determinado conjunto, restringindo as fronteiras dos conjuntos e dando o mesmo peso há diferentes objetos que, de certa maneira, poderiam ter mais afinidades em um determinado conjunto, do que em outro.

Assim, na teoria clássica de conjuntos a função de pertinência μ_A de um elemento x em relação a um conjunto A é bivalente (COX, 1999 *apud* FERREIRA, 2006).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se e somente se } x \in A \\ 0, & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Na teoria dos conjuntos fuzzy, os conjuntos existentes no mundo real não possuem limites precisos. Consequentemente a função de pertinência $\mu_A(x)$ pode assumir qualquer valor em um intervalo $[0, 1]$, o que significa que um elemento x pode ser parcialmente membro de um conjunto A, dependendo do seu grau de pertinência $\mu_A(x)$.

$\mu_A(x) = 1$, implica que x totalmente em A

$\mu_A(x) = 0$, implica que x não em A

$0 < \mu_A(x) < 1$ implica x parcialmente em A

Por exemplo, $\mu_A(x_1) = 0,7$ significa que o elemento x_1 pertence ao conjunto A com um grau de pertinência igual a 0,7. Em outras palavras, $\mu_A(x_1)$ expressa uma possibilidade de 70% – e não uma probabilidade de 70% – de x_1 pertencer ao conjunto

A (FERREIRA FILHO *et al*, 2001).

Os conjuntos fuzzy podem ser representados por diferentes funções, sendo que as triangulares e trapezoidais são as mais empregadas na literatura pesquisada, devido à simplicidade de utilização.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c), onde a e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b é o ponto onde a função de pertinência é máxima, como pode-se observar na Figura 3.10.

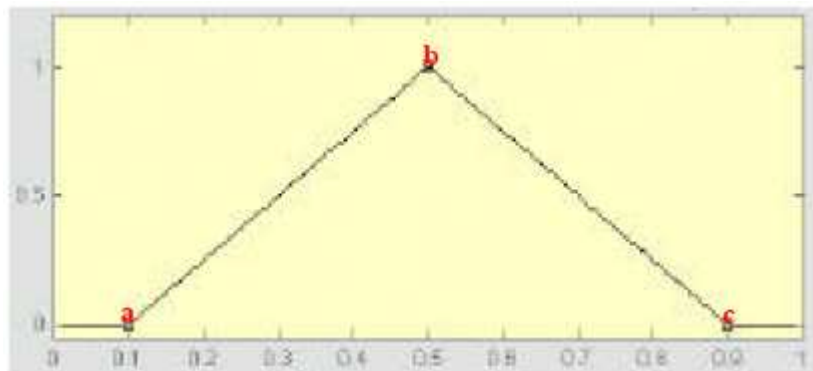


Figura 3.10: Função de pertinência triangular

A equação da função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases}$$

As funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de a, b, c e d, onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Na Figura 3.11 se exhibe uma função de pertinência trapezoidal onde são destacados os pontos a, b, c e d. Nesta Figura encontram-se no eixo vertical os valores da função de pertinência e no eixo horizontal os valores da variável que se quer estudar.

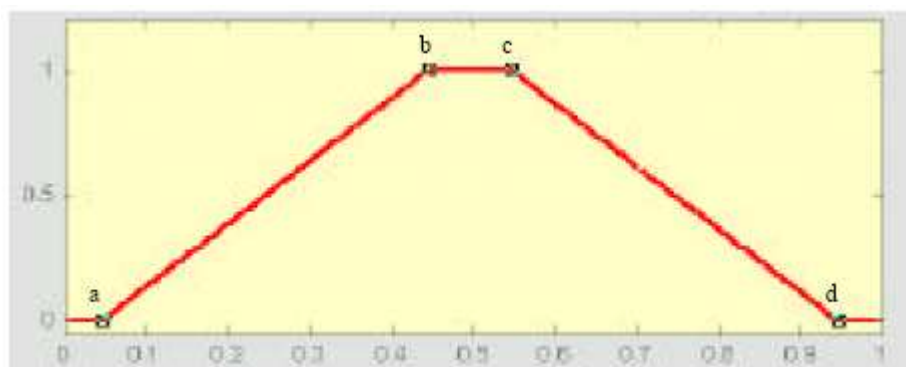


Figura 3.11: Função de pertinência trapezoidal

A equação da função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases}$$

A determinação da forma e dos valores das funções de pertinência pode ser feita por diversos processos ou técnicas empregando especialistas, usuários ou observações do comportamento das variáveis, utilizando raciocínio intuitivo ou baseando-se por algum algoritmo ou operação lógica.

No caso de empregar especialistas, estudos realizados por Zadeh apontam a necessidade de entre 15 a 20 especialistas, uma vez que acima de 20 existe uma estabilização dos valores atribuídos aos graus de pertinência. Estendendo as conclusões de Zadeh para os usuários de um projeto, considerando a teoria estatística para grandes amostras, CURY (1999) *apud* PAES (2006) conclui que uma amostra com até 30 pessoas permite a estabilização dos graus de pertinência.

Além disto, ao igual que para a lógica convencional, existem operações que podem ser realizadas com os conjuntos fuzzy e que são fundamentais para a formulação da base de regras de inferência. Estas operações são o complemento (A'), a interseção ($\cap$) e a união ($\cup$) de conjuntos e elas se definem conforme a seguir.

O complemento de um conjunto fuzzy A , é o conjunto definido pelo seu inverso, dado pela seguinte função de pertinência: $\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (Figura 3.12).

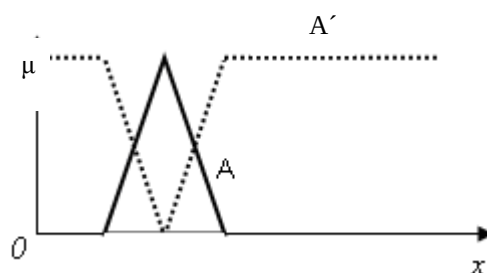


Figura 3.12: Complemento Fuzzy

A intersecção entre conjuntos difusos é dada pelo operador de mínimo entre os graus de pertinência. Então: $A \cap B$: $\mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$ (Figura 3.13).

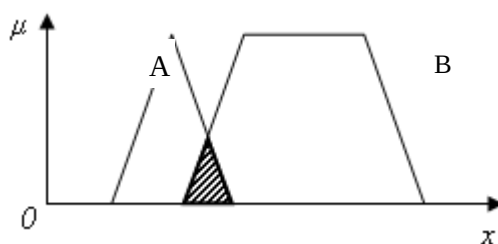


Figura 3.13: Intersecção Fuzzy

Define-se a união de dois conjuntos fuzzy A e B através do operador de máximo entre os graus de pertinência. Então: $A \cup B$: $\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$ (Figura 3.14).

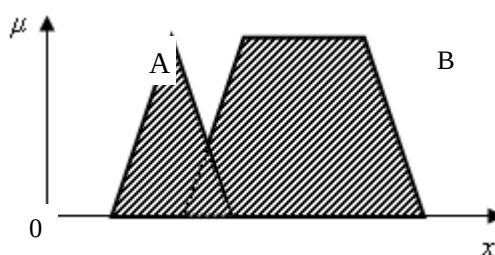


Figura 3.14: União Fuzzy

b) Inferência Fuzzy

Uma vez realizada a fuzzificação dos dados de entrada, prossegue-se com o processo de inferência. Este processo permite que sistemas fuzzy sejam elaborados por um conjunto de regras fuzzy através de proposições condicionais, do tipo “SE

(condição)...**ENTÃO** (ação)”, baseadas nas variáveis lingüísticas para executar um processo de tomada de decisão.

Segundo Lee (1990) e Ortega (2001) *apud* BENINI *et al.* (2008), cada regra fuzzy é composta por uma parte antecedente ou premissa, parte “SE”, e uma parte conseqüente ou conclusão, parte “ENTÃO”, resultando em uma estrutura do tipo:

SE < proposição fuzzy antecedente > **ENTÃO** < proposição fuzzy conseqüente >.

Uma proposição fuzzy simples, representada por “x é A”, onde x um valor do domínio e A uma variável lingüística, estabelece uma relação entre um valor x do domínio e o espaço fuzzy (COX, 1992). Dessa maneira, modelos fuzzy representam um sistema através de um conjunto do tipo:

SE “x é A” ENTÃO “y é B”

sendo a proposição “x é A” o antecedente e a proposição “y é B” o conseqüente da regra fuzzy.

As proposições podem também ser estabelecidas através de composição de proposições simples, denominadas proposições fuzzy compostas, utilizando conectivos lógicos “E”, “OU” e “NÃO” representando, respectivamente, a intersecção, união e complemento fuzzy, como mostrados abaixo:

$$\begin{aligned} E : GdC_{A \wedge B} &= \min\{GdC_A; GdC_B\} \\ OU : GdC_{A \vee B} &= \max\{GdC_A; GdC_B\} \\ NÃO : GdC_{A'} &= 1 - GdC_A \end{aligned}$$

Cada regra possui um fator de ponderação individual, denominado Fator de Certeza (FC) ou peso, compreendido entre 0 e 1, que representa a importância da regra em relação às demais regras da base de regras.

De posse das regras de inferência e dos respectivos fatores de certeza, determinam-se os graus de certeza (GdC). Uma das técnicas mais utilizadas para determinar o GdC é a chamada inferência max-min que utiliza processo de implicação proposto por Ebrahim Mamdani em 1975, sendo conhecido como Método Mamdani de Inferência Fuzzy. Neste método na parte SE da regra, a inferência é computada com base na EQ. 3.1, qual seja

$$GdCPS = FC_n \cdot \min_i \{GdCPE_i\} \quad (EQ. 3.1)$$

onde:

GdCPS = grau de certeza do parâmetro de saída;

FC_n = fator de certeza da regra n correspondente;

$GdCPE_i$ = grau de certeza do parâmetro de entrada i; $i = 1,2,3$

Já a computação da parte ENTÃO da regra é baseada na EQ. 3.2, qual seja:

$$GdCPS = \text{MAX}_n (FC_n \cdot \text{MIN}_i \{GdCPE_i\}) \quad (\text{EQ. 3.2})$$

O resultado de uma inferência fuzzy é, necessariamente, um resultado lingüístico, também denominado de vetor lingüístico, que apresenta um grau de pertinência inferido para cada termo lingüístico definido para a variável de saída, tornando, assim, o sistema pronto para o processo de defuzzificação (CURY, 1999).

c) O Processo de Defuzzificação

O processo de defuzzificação ocorre após a inferência fuzzy e consiste na transformação de um vetor lingüístico em um resultado numérico bastante útil quando se deseja comparar resultados entre várias opções ou simplesmente ordena-los, ou seja, as variáveis de saída, tanto as intermediárias quanto a final, são geradas pelos blocos de inferência na forma de variáveis lingüísticas, obtém-se assim o vetor lingüístico associado ao vetor de graus de pertinência.

Existem vários métodos de defuzzificação, entre eles encontram-se o centro dos máximos e o centro de área, sendo o primeiro, o mais utilizado na literatura pesquisada.

O método do Centro dos Máximos determina o valor mais típico para cada termo e então computa o valor que reflete o melhor compromisso com o resultado da inferência fuzzy. Para se obter este melhor valor de compromisso como um número real, os Graus de Certeza (GdC) do resultado lingüístico da inferência fuzzy são considerados como os “pesos” dos valores mais típicos dos termos lingüísticos. Assim, o valor de melhor compromisso é aquele que equilibra os pesos, ou seja, por meio de uma média ponderada (VON ALTROCK, 1995 *apud* CURY, 1999). Este método pode ser empregado em decisões qualitativas, como definição de níveis de serviço.

O método do Centro da Área é frequentemente chamado de Centro de Gravidade, pois ele calcula o centróide da área composta que representa o termo de saída, esse termo de saída fuzzy é composto pela união de todas as contribuições de regras. O centróide é um ponto que divide a área em duas partes iguais (SHAW e SIMÕES, 1999). Decisões quantitativas, como alocação de recursos ou priorização de projetos podem empregar este método.

Neste trabalho será usado o método de defuzzificação Centro dos Máximos que é uma das técnicas de defuzzificação mais utilizadas para transformar um resultado lingüístico novamente num valor numérico (CURY, 2007), sendo aplicada a EQ. 3.3 para a obtenção deste valor.

$$D = \frac{\sum_{n=1}^N GdC_n \cdot X_n}{\sum_{n=1}^N GdC_n} \quad (EQ. 3.3)$$

onde:

GdC_n = grau de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final;

X_n = valores da componente sob análise que correspondem aos máximos dos conjuntos *fuzzy*;

n = regra

N = número total de regras

Após apresentação da conceituação sobre a lógica fuzzy, cabe destacar, que a principal limitação desta lógica é o tratamento de muitos fatores, funções de pertinência e/ou regras simultaneamente. Em contrapartida, a estrutura das redes neurais, é adequada ao tratamento de grandes quantidades de dados e classe. Assim, a lógica fuzzy é usualmente combinada à Teoria das Redes Neurais, de forma a fundamentar a tecnologia Neuro-Fuzzy (CURY, 1999).

3.4.4 - Sistema Neuro-Fuzzy

As redes neurais artificiais são estruturas de processamento distribuído e paralelo, as quais caracterizam-se por usar muitas unidades simples, os neurônios, que estão fortemente interconectados formando redes de diferentes tipologias. Estas unidades são

dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por conexões (Figura 3.15), que na maioria das vezes estão associadas a pesos numéricos que armazenam o conhecimento da rede. Tal conhecimento é obtido por um processo de aprendizagem que altera estes pesos objetivando a modelagem correta (Figura 3.16).

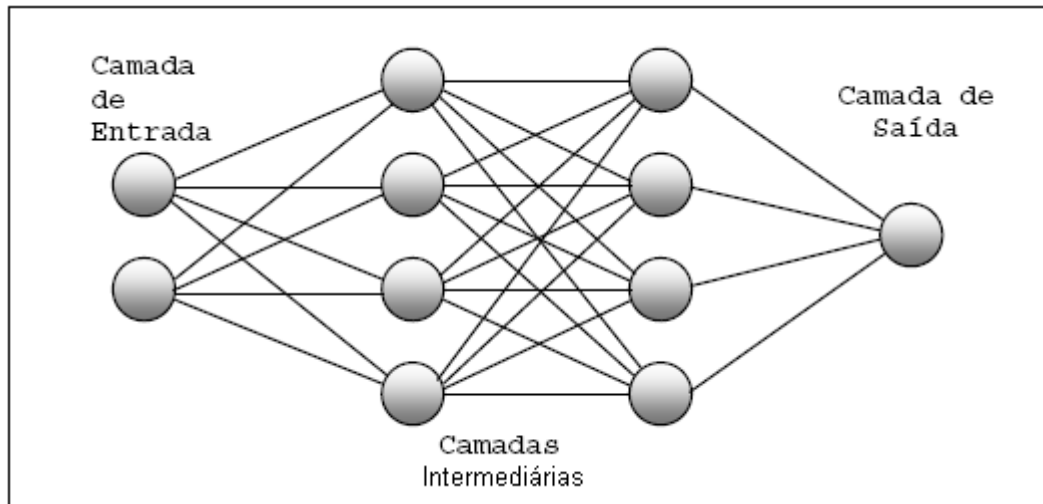


Figura 3.15: Arquitetura das Redes Neurais Artificiais

Fonte: TATIBANA & KAETSU, 2003

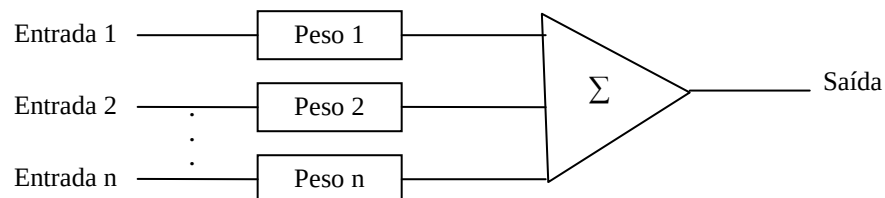


Figura 3.16: Modelo Simplificado de Neurônio Artificial com pesos

Fonte: Adaptado de Aurélio *et al.* (1999) *apud* SUCENA (2007)

As redes neurais são capazes de copiar o modo como o cérebro humano trata a informação, processando informações numéricas e possuindo potencial de aprendizagem. Enquanto que a lógica fuzzy busca reproduzir o processo da tomada de decisão humana, utilizando a linguagem natural, ou seja, termos lingüísticos. A associação destas duas ferramentas resulta na tecnologia neuro-fuzzy, onde é representado o processo decisório humano (fuzzy).

Um sistema neuro-fuzzy pode ser caracterizado como uma rede neural de três camadas. A primeira camada representa as variáveis de entrada; a camada intermediária, as regras de inferência fuzzy e a terceira camada, as variáveis de saída.

Na Figura 3.17 apresenta-se um exemplo onde estão explicitas as três camadas. Na primeira camada transformam-se as variáveis de entrada em variáveis fuzzy. Na camada de regras fuzzy cada termo lingüístico é avaliado em cada regra, ativando-as de acordo com a estrutura do antecedente. Cada antecedente e cada regra tem um peso relacionado que será adaptado para obter-se a modelagem correta. Na camada de defuzzificação de acordo com a estrutura do conseqüente obtém-se as variáveis de saída.

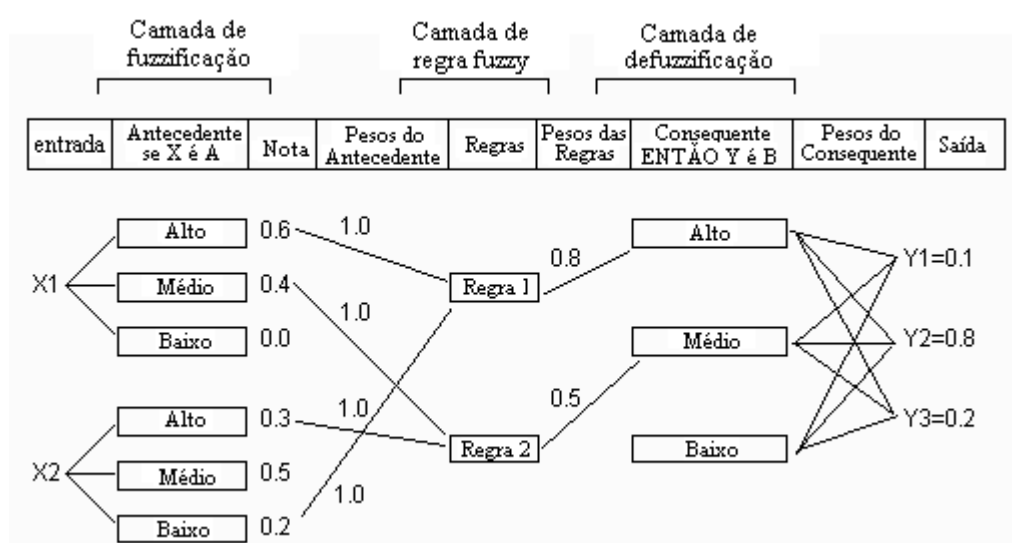


Figura 3.17: Exemplo de um sistema Neuro-Fuzzy

Fonte: OLIVEIRA *et al.* (s/d) *apud* SUCENA (2007)

Desta forma, segundo PEDRYCZ & GOMIDE (1998) *apud* OLIVEIRA (2004), as redes neuro-fuzzy são úteis na aproximação de relações multivariadas, estáticas e dinâmicas, entre as variáveis de entrada e saída. Essa forma de aproximação se fundamenta na natureza lógica de dependência entre as variáveis.

Assim, conforme detalhado acima a tecnologia neuro-fuzzy apresenta-se como uma ferramenta adequada para o desenvolvimento do índice de desempenho ambiental onde se considerarão variáveis qualitativas e quantitativas referentes aos possíveis impactos ambientais negativos dos diferentes modos de transporte na operação do transporte de carga.

3.5 - Considerações Finais

Na síntese histórica sobre os indicadores observou-se que a demanda da sociedade por respostas sobre a qualidade do meio ambiente, tendo em vista grandes acidentes trans-fronteiriços tais como o vazamento do super-petroleiro Torrey Canyon (1967), a liberação accidental de uma nuvem tóxica pela indústria ICMESA sobre a cidade Italiana de Seveso (1976), dentre outros, fez com que os governos desenvolvessem centenas de indicadores ambientais. Como consequência da gama de indicadores gerados, muitos deles relativos ao mesmo processo de degradação ambiental foram desenvolvidos modelos de sistematização.

A utilização de indicadores ambientais simplificam e sintetizam dados e informações, facilitando a compreensão e a análise crítica das diferentes atividades a serem realizadas na operação do transporte de carga, produzindo assim, subsídios aos processos de tomada de decisão nas esferas público e privadas.

A necessidade de avaliar comparativamente o desempenho ambiental da operação das diferentes modalidades do transporte de carga (objetivo deste trabalho), leva a agregar estes indicadores num único valor definido de índice, para assim, facilitar sua compreensão e gerenciamento. Para desenvolver o índice, processos sistemáticos de atribuição de pesos relativos, escalas de agregação de variáveis em um resultado único devem ser empregados.

Verificou-se que com a lógica fuzzy consegue-se tratar a subjetividade e a incerteza dos possíveis impactos ambientais negativos que podem ser gerados na OSTC. Esta subjetividade e incerteza podem ser tratadas tanto por processos estatísticos quanto por pesquisas com especialistas ou de campo. Observa-se que, ainda que o número de variáveis seja elevado podem-se utilizar técnicas como a neuro-fuzzy para o tratamento desses dados.

O tratamento dos possíveis impactos ambientais negativos que podem ser gerados na OSTC necessita de um procedimento semelhante para as diversas modalidades sem o qual esta avaliação tornar-se-ia inviável. Desta forma, no próximo capítulo, desenvolve-se o procedimento responsável por essa uniformização.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE UM ÍNDICE GLOBAL DE DESEMPENHO AMBIENTAL (IGDA) POR MEIO DA LÓGICA FUZZY

4.1 – Considerações Iniciais

Os diferentes modos de transporte foram construídos e instalados no Brasil há muitos anos. Assim, sua operação e manutenção adotavam procedimentos estabelecidos em uma época em que as variáveis ambientais não eram consideradas na forma como o são hoje em dia.

Nos dias atuais com os processos de desestatização e concessão (principalmente para os modos ferroviário e rodoviário e em menor escala para o hidroviário) e a posição do governo brasileiro que a partir da Constituição Nacional deixou claro a sua intenção de atuação no controle dos passivos ambientais criados pela operação de qualquer atividade com potencial poluidor, a inclusão das variáveis ambientais no planejamento e operação é um requisito básico.

As atividades desenvolvidas na operação do sistema de transporte de carga provocam diversos impactos ambientais negativos. Assim, há a necessidade de acompanhar e controlar essas atividades mensurando alguns parâmetros representativos da qualidade do meio ambiente conhecidos como indicadores ambientais, posteriormente integrados num único valor chamado de índice.

Dada a subjetividade e a nebulosidade dos problemas ambientais, os especialistas ou tomadores de decisão para avaliação dos mesmos, geralmente vêem o desempenho ambiental em termos de variáveis lingüísticas (Muito Alto, Alto, Baixo, Muito Baixo). Desta forma, os indicadores para o cálculo do Índice são avaliados ou medidos muitos em termos qualitativos e alguns quantitativamente, precisando-se de uma ferramenta que permita a associação destes indicadores convergindo a um único parâmetro de avaliação.

A lógica fuzzy permite tratar simultaneamente parâmetros quantitativos e qualitativos, isto é, permite tratar os indicadores dos diversos aspectos ambientais que podem ser afetados em todo âmbito, em particular pela operação do transporte de carga.

Neste capítulo é apresentado um procedimento a ser adotado para criar um Índice Global que represente o desempenho ambiental (IGDA) da operação de um Sistema de Transporte de Carga.

O objetivo da criação deste índice é avaliar o grau do impacto negativo que um modo pode gerar no meio ambiente na operação do transporte de carga para auxiliar na tomada de decisão de um transporte de carga mais sustentável. Para o que será realizada a caracterização da operação, composta pelas diferentes atividades realizadas. Com estas informações serão definidos os diferentes indicadores que representarão o nível de dano que pode ser gerado nos meios físico, biótico, antrópico e em particular no clima. A agregação desses diferentes indicadores resultará no IGDA.

4.2 – Procedimento Proposto

Neste item é apresentado o procedimento para a criação do IGDA, descrevendo-se as etapas a serem realizadas.

- Caracterização da operação do sistema do transporte de carga (OSTC)
- Definição das atividades da OSTC e seus impactos ambientais negativos associadas
- Seleção dos Indicadores
- Determinação do IGDA por meio do sistema Fuzzy

Na Figura 4.1 apresenta-se um diagrama do procedimento proposto.

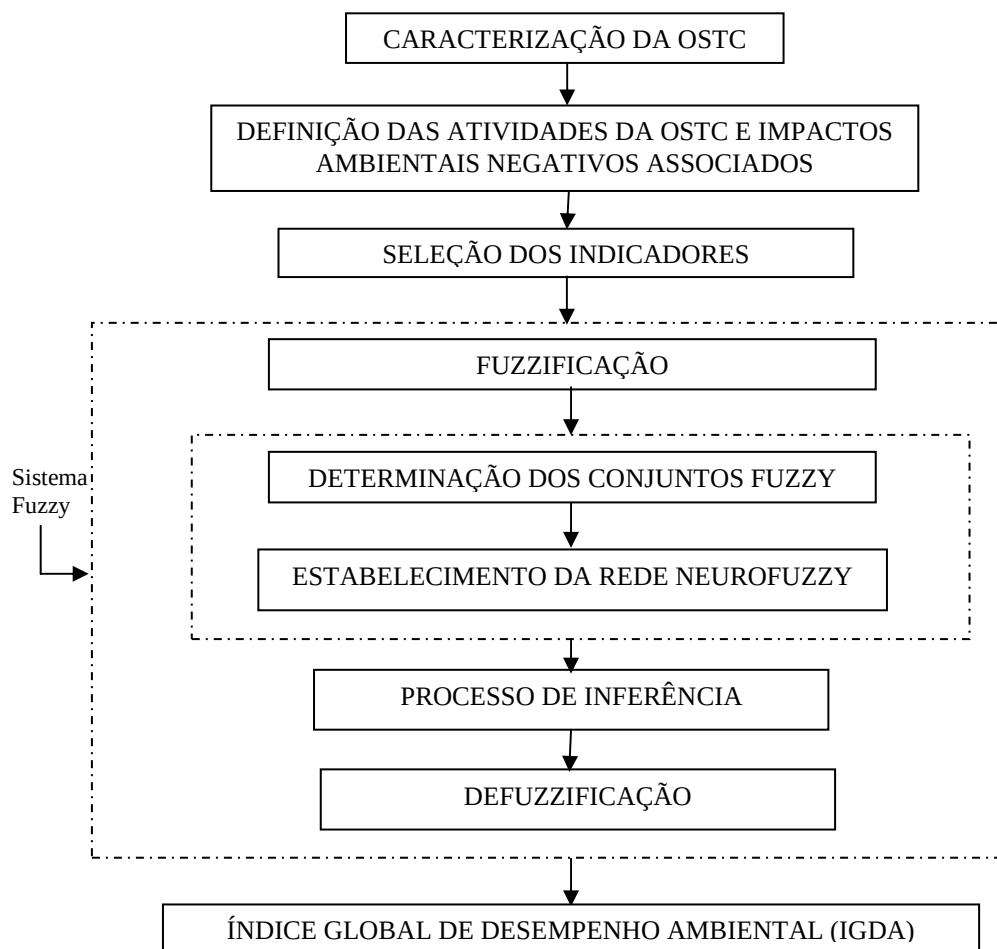


Figura 4.1: Estrutura das etapas do Procedimento

4.2.1 - Etapa 1 : Caracterização da OSTC

Nesta etapa caracterizam-se as estruturas utilizadas: veículo, vias e terminais; a área de entorno da operação do transporte de carga; o tipo de carga transportada e os processos desenvolvidos para tal: carga, descarga e controle.

- Veículo

A caracterização do **veículo** depende do modo empregado, da capacidade (volume de carga que pode ser transportada) e do tipo de combustível usado (diesel, gasolina, ou gás). A seguir apresenta-se o tipo de veículo por modo.

a) **Transporte Rodoviário**, segundo MAIA (2008) os veículos empregados no transporte de carga são caminhões de quatro tipos: simples, articulado, conjugado e combinado.

Os **caminhões simples** aparecem com dois ou três eixos em uma mesma estrutura, classificando-se segundo a tração. O veículo 4x2 (toco) é um caminhão de porte médio, destinado às atividades de transporte de empresas distribuidoras de carga na área urbana. O 6x2 (trucado) destina-se ao transporte por atacado, enquanto o 6x4 direciona-se a atividades especiais como o transporte de concreto na construção civil ou ao transporte geral de cargas com maior tonelagem.

O **caminhão articulado** é utilizado para o transporte de carga de longa distância e compõem de um veículo trator (cavalo - mecânico) e um semi-reboque (carreta).

O **caminhão conjugado** (tipo Romeu e Julieta) liga um veículo e um reboque, este último adicionado ao primeiro como complementação de transporte de carga, enquanto o combinado é uma associação de mais de duas unidades (por exemplo, o rodotrem e o bitrem), composto por um veículo trator e dois reboques.

b) **Transporte Ferroviário**, os veículos utilizados no transporte de carga são denominados de veículos ferroviários, agrupados em locomotivas e vagões, de dois tipos: lote e comboio. O **lote** é composto por uma locomotiva e 110 vagões e o **comboio** é constituído por varias locomotivas e lotes de vagões. Como exemplo tem-se o comboio de 330 vagões que está constituído por 4 locomotivas + 330 vagões, sendo 2 locomotivas na frente + 110 vagões + 1 locomotiva + 110 Vagões + 1 locomotiva + 110 vagões, ou seja, lotes de 110 vagões.

Em relação aos vagões, segundo a Associação Brasileira de Transportadores Ferroviários – ANTF existem 7 tipos: fechado, hopper, gôndola, isotérmico, plataforma, tanque e especiais.

c) **Transporte Hidroviário**, os veículos empregados no transporte de carga são definidos de embarcações. Os tipos de embarcações dependem do tipo de navegação, interior ou marítima.

Na **navegação interior** as embarcações podem ser divididas em dois tipos clássicos, que são as embarcações autopropulsoras e as embarcações rebocadas ou empurradas (FILIPPO, 2000). As embarcações autopropulsoras são destinadas para volumes de carga não muito elevados ou para curtas distâncias. Os comboios de empurra podem ser compostos por um ou mais empurradores e chatas dispostas em linha e lado a lado, formando conjuntos.

Na **navegação marítima** existem vários tipos de embarcações sendo os principais: graneleiro, tanque, porta-barcaças, carga geral, frigorífico, Roll-On Roll-Off (Ro-Ro), porta-container, gás liquefeito e químicos.

d) **Transporte Aéreo**, os veículos empregados no transporte de carga são chamados de aeronaves e de acordo com a configuração e utilização do compartimento superior podem ser divididas em dois tipos: Combi e Full/All Cargo. (BATTI, 2009).

- **Combi:** são aeronaves mistas, destinadas tanto para o transporte de passageiros como de carga. As cargas podem ser transportadas, no compartimento superior ou no inferior, devidamente separadas da ala de passageiros que fica na parte da frente superior do avião. Os modelos deste tipo são o BOEING 747 e o MD 11.
- **Full/All Cargo:** são aviões desenhados e caracterizados para uso exclusivo de transporte de cargas volumosas. Possuem uma configuração robusta e de grande capacidade. Os modelos deste tipo são: Antonov 124/100, BOEING 747, DC 10, Ylluhshin, BOEING 707, DC 8 e BOEING 737.

e) **Transporte Dutoviário**, os veículos empregados no transporte de carga são os dutos. Segundo a ANTT existem três tipos: oleodutos, minerodutos e gasodutos.

Oleodutos: são tubos de metal, com diâmetro de até 76 cm. Bombas situadas nos pontos de partida e em locais intermediários, de acordo com a extensão do oleoduto, impõem o produto. Os oleodutos são dotados de saídas para o ar e para gases, de registros para interromper o fluxo em caso de avarias e outros apetrechos, como indicadores e registradores de capacidade. Os produtos transportados, em sua grande maioria, são: petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, álcool, GLP, querosene e nafta.

Minerodutos: são tubulações que possuem bombas especiais, capazes de impulsionar cargas sólidas ou em pó. Os produtos transportados são: sal-gema, minério de ferro e concentrado fosfático. O transporte é efetuado por meio de um fluido portador, como a água para o transporte do minério a médias e longas distâncias.

Gasodutos: são tabulações utilizadas para transportar gás natural de um lugar para outro podendo fazer filtração ou pressurização em pontos estratégicos para melhor obtenção do produto que se quer ter.

- **Via**

As características da **via** incluem para o **transporte terrestre**: as interseções, as travessias de rodovias, ferrovias e pedestres, a sinalização e o traçado, a largura dos dutos, a dimensão e o comprimento; para o **transporte marítimo**: a profundidade, a largura e o desnível da rota de navegação e para o **transporte aéreo**: o comprimento da pista, e o greide.

- **Terminais**

A caracterização dos **terminais** compreende a definição dos diferentes produtos que são transportados: minério, graneis sólidos, carga geral, produtos diversos; a dimensão do espaço, os equipamentos para os processos de carga, descarga e armazenagem; as oficinas de manutenção; os escritórios e o tipo de controle dos processos.

- **Tipo da área de entorno**

A **área de entorno** da rota a ser seguida no transporte da carga deve ser definida em função dos diferentes tipos de área: rural de ocupação intensa, rural de fronteira econômica ou agrícola, de ocupação rarefeita e urbana ou com interfaces urbanas, para assim conhecer sua vulnerabilidade e sensibilidade ambiental.

- **Carga Transportada**

A especificação da carga a ser transportada inclui suas características físico-químicas: estado físico (sólido, líquido, gás), cor, odor (irritante, pungente, penetrante), pH (características corrosivas do produto), reatividade e volatilidade.

- **Processos de Carga/Descarga**

Os processos de carga e descarga compreendem os métodos de carga/descarga, os equipamentos a serem utilizados, o destino (armazenagem ou embarque) e o manuseio da carga.

Na Tabela 4.1 apresentam-se exemplos de alguns equipamentos utilizados para os processos de carga, descarga e armazenagem

Tabela 4.1 : Equipamentos

Foto Ilustrativa	Nome
	Guindaste sobre Rodas (MHC 200)
	Gruas de Parque (RTG's)
	Empilhadeira
	Paleteira Manual Hidráulica
	Carrinhos Industriais
	Plataforma Hidráulica Elevatória Móvel
	Rampa Niveladora Rebocável para Empilhadeira
	Esteira Transportadora

Fonte: <http://www.google.com.br/images>

- Controle

O controle dos processos de carga e descarga deve ser caracterizado em função do seu tipo (manual ou informatizado), do planejamento e do tipo de monitoramento a ser realizado.

4.2.2 - Etapa 2 : Definição das Atividades da OSTC e impactos ambientais negativos associados

Nesta etapa apresentam-se as diversas atividades necessárias para a operação de um STC segundo o modo a ser utilizado, assim como, os diversos impactos ambientais negativos que podem ser gerados, como os apresentados no capítulo 2.

4.2.3 - Etapa 3 : Definição dos Indicadores

Com as informações obtidas nas etapas anteriores obtém-se as variáveis de entrada que ao serem agregadas ou combinadas traduzem os indicadores de diversas naturezas (qualitativos ou quantitativos) e unidades indispensáveis para o controle da degradação ambiental possível de ser gerada nos meios físico, biótico, antrópico e em particular no clima da área sob análise. Assim, procurou-se definir ou sugerir indicadores suficientemente gerais para poder ser utilizados segundo as variantes nos dados na caracterização das etapas 1 e 2, não sendo uma lista particular de indicadores, de modo que se necessário podem-se incluir, novos indicadores pertinentes ou excluir aqueles que não se aplicam ao caso.

Os indicadores propostos neste trabalho são: o Indicador de Poluição em função do Indicador da Qualidade do Meio Físico, Indicador da Qualidade do Meio Biótico, Indicador da Qualidade do Meio Antrópico e o Indicador Transtornos no Clima em função das emissões de CO₂.

- Indicador da Qualidade do Meio Físico (IQMF)

Este indicador representa o grau do impacto negativo que a operação do STC pode gerar neste meio, composto pelo ar, pelo solo e pela água.

A degradação da **Água** é função dos poluentes e materiais lançados na mesma e que alteram suas características físicas (temperatura da água e do ar, série de resíduos (filtrável e não filtrável), absorvância no ultravioleta, turbidez e coloração), químicas (pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (PBO_{5,20}), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico dissolvido, potencial de formação de trihalometanos) e biológicas (coliformes fecais, giárdia sp, cryptosporidium sp, clostridium perfringens, estreptococos fecais). Cada poluente possui um padrão

associado definido por lei e podem ser medidos em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou miligramas por metro cúbico (mg/m^3).

A degradação do **Ar** é função da quantidade e do tipo de poluentes que são lançados na atmosfera. Cada poluente possui um padrão definido por lei e as unidades de medição são: em partes por milhão (ppm), microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ou partes por bilhão (ppb). A degradação do ar também pode advir de parâmetros físicos como, por exemplo, o **Ruído** que é função do nível de pressão sonora percebido pelo ouvido humano e para o que existem padrões definidos por lei sendo medido em decibéis.

A degradação do **Solo** é função da adição de matérias que podem modificar qualitativa ou quantitativamente suas características naturais e utilizações. Esta degradação é medida pela massa de contaminante por volume de solo em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3 .

Na figura 4.2 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do indicador do IQMF.

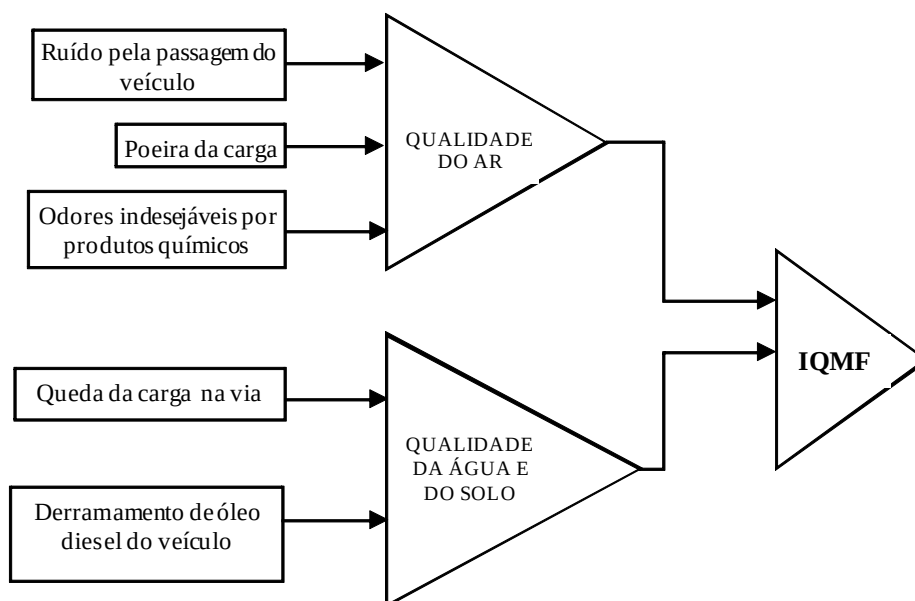


Figura 4.2 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMF

- Indicador da Qualidade do Meio Biótico (IQMB)

Este indicador representa o grau de impacto negativo que pode ser gerado na flora e na fauna na área de entorno do trecho sob análise.

A qualidade da **flora** é função da diminuição das espécies vegetais, da destruição de áreas de conservação e do comprometimento de ecossistemas. A sua medição pode ser feita observando dita qualidade na faixa de domínio da via afetada por unidade de tempo por trecho da via sob análise.

A qualidade da **fauna** é função da diminuição de espécies animais, da diminuição da oferta de abrigo e alimento para eles, da diminuição da sustentabilidade do ecossistema, dentre outros. Este elemento pode ser medido pelo número de espécies encontradas mortas na faixa de domínio por unidade de tempo por trecho da via sob análise.

Na figura 4.3 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do IQMB

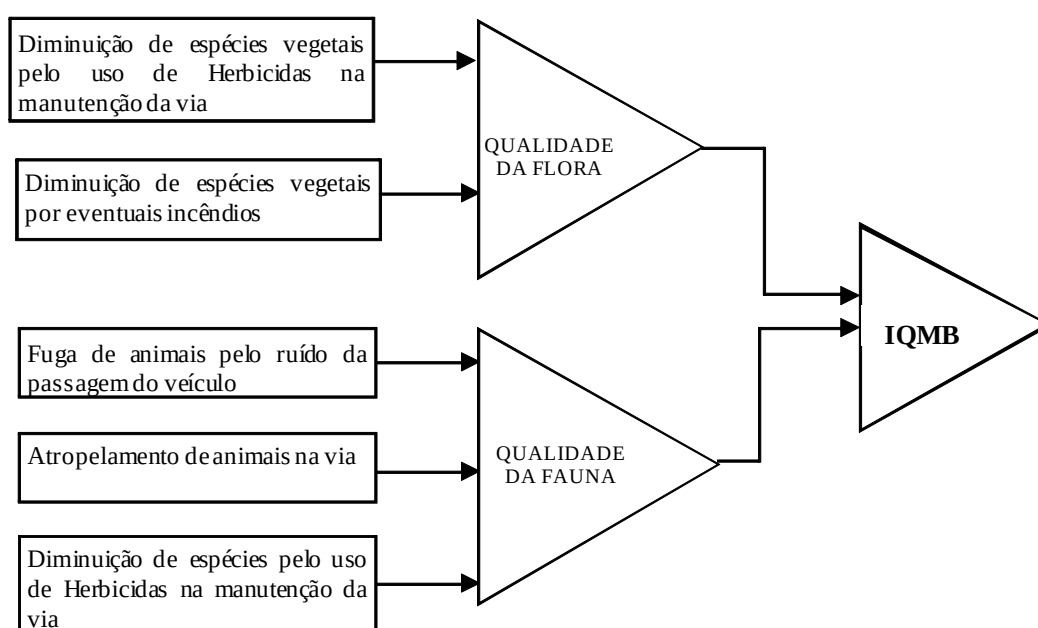


Figura 4.3 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMB

- Indicador da Qualidade do Meio Antrópico (IQMA)

Este indicador representa o grau de risco (acidentes e incidentes envolvendo funcionários/população do entorno) associado ao trecho sob análise, a ser medido pelo número de acidentes ou incidentes por unidade de tempo por trecho da via sob análise; as alterações na saúde nos funcionários e/ou na população da área de entorno, a ser medido pelo número de casos de doenças por unidade de tempo por unidade médica na faixa de domínio do trecho sob análise, assim como as mudanças no uso do solo a ser medida pela comparação entre o uso original e o atual.

Na figura 4.4 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do IQMA

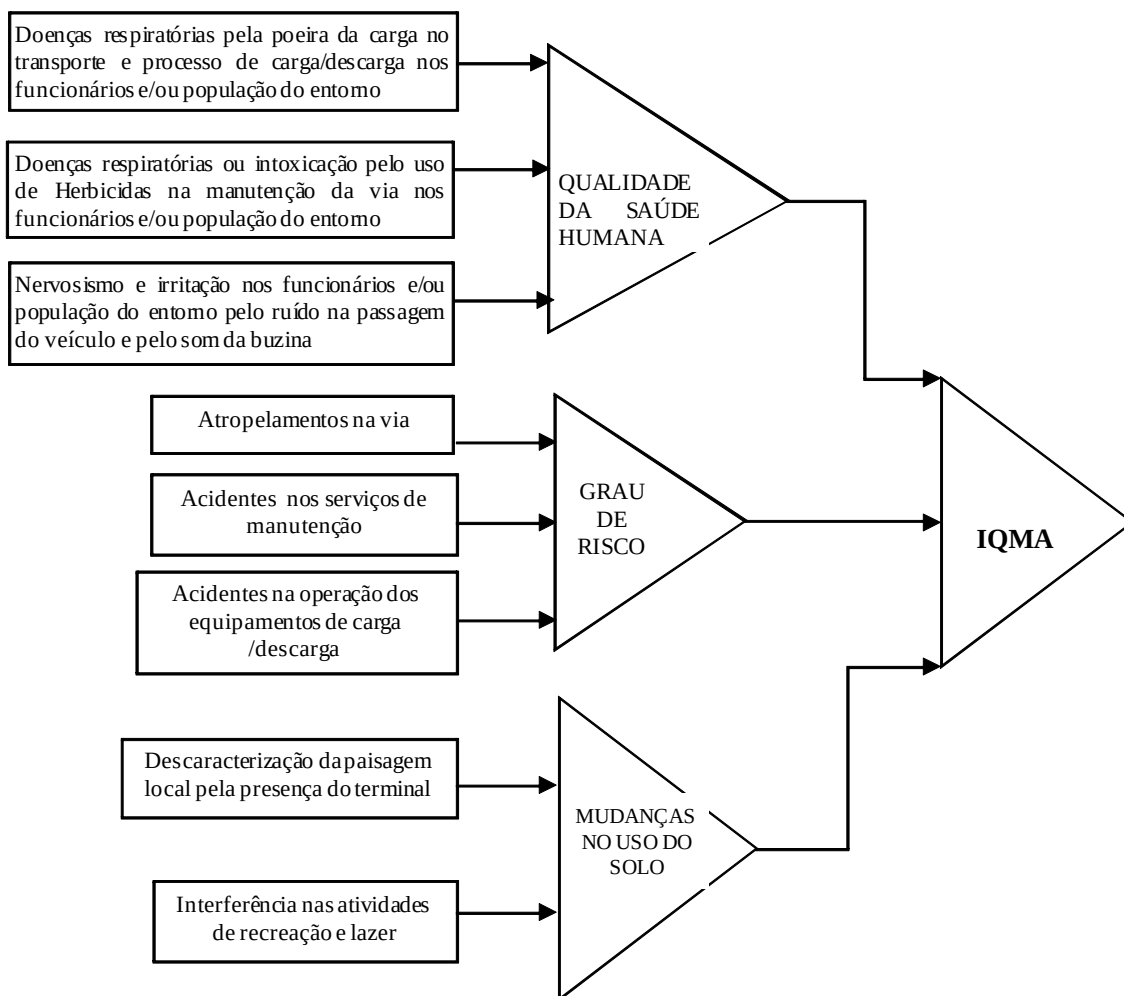


Figura 4.4 : Exemplo do Diagrama estrutural do IQMA

- Indicador dos Transtornos no Clima (ITC)

Este indicador representa o grau de impacto negativo que pode ser gerado no clima pelas emissões de gases geradas pelo tipo de combustível (gasolina ou diesel) utilizado nas locomotivas, veículos e equipamentos empregados na OSTC. Neste trabalho este grau de impacto será medido pelas toneladas de CO₂, por ser um dos poluentes mais relevantes emitidos pelos combustíveis, devido às alterações que provoca no efeito estufa. Por conta disto, serão avaliadas as emissões deste gás em função do combustível consumido pelos veículos de transporte ou de apoio nos terminais, por unidade de tempo por quilômetros percorridos.

Na figura 4.5 apresenta-se um exemplo do diagrama estrutural do ITC

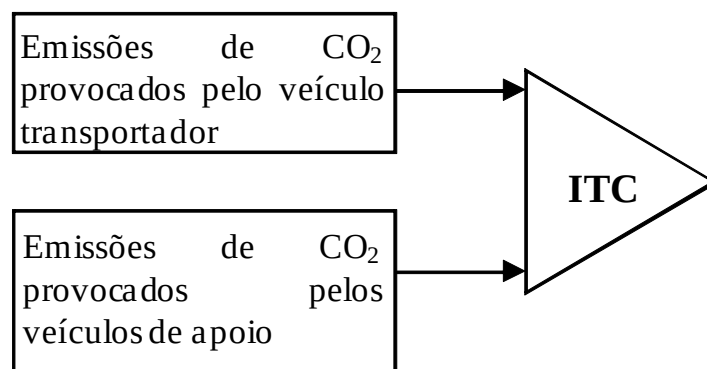


Figura 4.5 : Exemplo do Diagrama estrutural do ITC

4.2.4 - Etapa 4 : Fuzzificação

Como definido no capítulo 3, a fuzzificação consiste em associar um vetor lingüístico às variáveis de entrada para posteriormente produzir os conjuntos.

A expressão lingüística de cada variável pode ser obtida através de pesquisa de opinião realizada com especialistas da área, com o emprego de questionários confeccionados para tal.

Se a variável de entrada tiver natureza quantitativa os especialistas podem: medi-las em campo, obter-las por meio de pesquisa, por projeções ou por estimativas. Posteriormente são convertidas em expressões lingüísticas, como por exemplo: ALTO, MÉDIO, BAIXO, RUIM, REGULAR ou BOA, dentre outras. As variáveis qualitativas pela própria natureza já são expressas linguisticamente.

Para ilustrar esta etapa, na tabela 4.2 apresenta-se um exemplo de variáveis de entrada e suas características, baseado nas variáveis de entrada dos exemplos dos diagramas estruturais dos indicadores apresentados no item anterior.

Tabela 4.2 : Variáveis de entrada e suas características

Variável Entrada	Tipo	Termo Lingüístico		
Ruído pela passagem do veículo (dB)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Poeira da carga transportada (ppm ou ppb ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Odores indesejáveis por produtos químicos (ppm ou ppb ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Queda da carga na via (mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Derramamento óleo diesel do veículo (µg/m ³ ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via (área afetada x	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto

unidade de tempo x trecho)				
Diminuição de espécies vegetais por incêndios por eventuais acidentes (área afetada x unidade de tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Fuga de animais	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Atropelamentos de animais (num animais x unidade tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Diminuição espécies animais	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Doenças respiratórias (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Intoxicação (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Nervosismo e irritação (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Atropelamentos de pessoas (num atropelamento x unidade tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Acidentes nas oficinas (num acidentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Acidentes na operação dos equipamentos de carga/descarga (num acidentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Descaracterização da paisagem local pela presença do terminal	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Interferência nas atividades de lazer e recreação	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Emissões de CO ₂ provocadas pelo veículo transportador (ton CO ₂)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Emissões de CO ₂ provocadas pelos veículos de apoio (ton CO ₂)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto

- **Definição dos conjuntos fuzzy**

Segundo COX (1994) *apud* SOUZA (2001) a definição dos conjuntos fuzzy é a parte mais crítica na construção de um sistema fuzzy, pois determina a correspondência entre as variáveis de entrada e os seus conceitos lingüísticos correspondentes. Porém, experimentalmente já foi comprovado que sistemas fuzzy têm um bom desempenho, mesmo quando as formas de seus conjuntos não se encontram precisamente desenhados.

Os conjuntos fuzzy das variáveis de entrada serão baseados nas respostas dos questionários computando as frequências das respostas para cada intervalo e para cada variável lingüística.

Na figura 4.6 apresenta-se um exemplo dos conjuntos fuzzy da variável de entrada quantitativa mensurável em mg/m₃, “Queda da carga na via”, transformada num vetor lingüístico cujos termos são BAIXO, MÉDIO e ALTO. Supondo que um especialista faça uma medição em campo e obtenha um valor de 500 mg/m₃ de pó da carga no trecho

avaliado, o vetor lingüístico da variável correspondente a este valor é: BAIXO= 0; MÉDIO = 0,8 e ALTO = 0,2

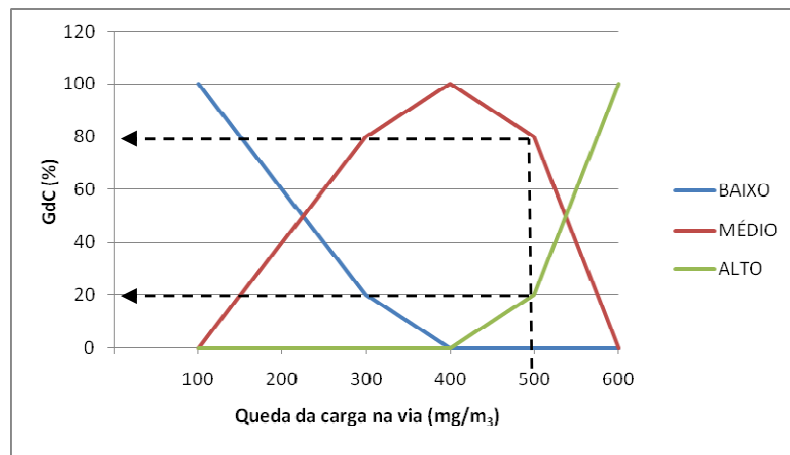


Figura 4.6 : Exemplo de conjuntos fuzzy para a variável de entrada Queda da carga na via

Para as variáveis qualitativas podem ser utilizados os conjuntos criados por CURY (1999) em seu trabalho “Modelo Heurístico Neurofuzzy para avaliação humanística de projetos de transporte urbano” onde tomou por base uma amostra de 30 pessoas, que atribuíram termos lingüísticos para todos os valores da escala de 0 a 10, dentro de um contexto genérico. Assim, foram definidos conjuntos fuzzy genéricos para as variáveis de entrada qualitativas que apresentam sempre três níveis de termos lingüísticos: um inferior, um intermediário e um superior como apresentado na Figura 4.7.

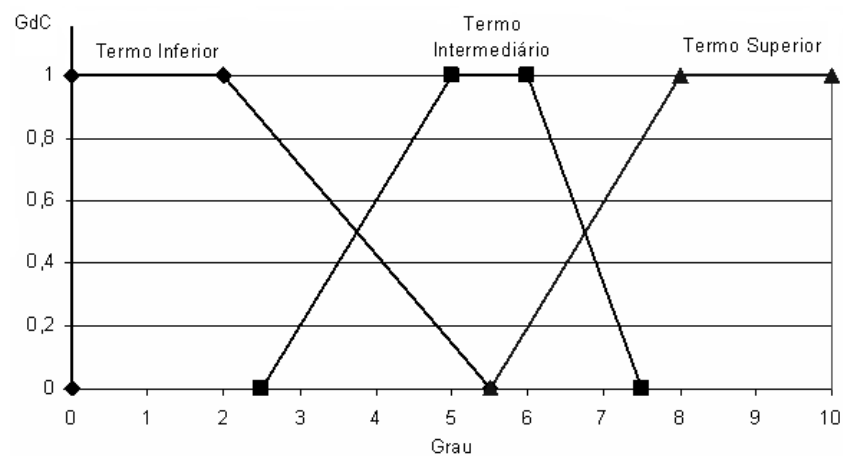


Figura 4.7: Conjuntos fuzzy genéricos para as variáveis qualitativas

Fonte: CURY (1999)

Para as variáveis qualitativas, a fuzzificação é feita da mesma forma como das variáveis quantitativas definidas no parágrafo anterior.

4.2.5 - Etapa 5 : Elaboração da arquitetura da rede neurofuzzy

Com o intuito de facilitar a avaliação da operação do transporte de carga, se elaborara uma arquitetura de rede de forma análoga ao conceito de rede neural definido no capítulo anterior deste trabalho. Para elaborar esta rede VON ALTROCK e KRAUSE (1993) *apud* CURY (1999) sugerem que não se agreguem mais que três variáveis em cada nó da rede, para assim, tornar a inferência mais fácil de ser executada e, no caso da construção da base de regras, permitir a melhor definição dos termos lingüísticos de agregação e de composição das regras, bem como da atribuição dos fatores de certeza de cada regra.

Por conta disto, a arquitetura a ser proposta é formada por uma rede onde, em cada nó, dois ou três elementos (variáveis de entrada) são agregados num único elemento através de uma base de regras (denominado de Bloco de Inferência (BI)). Esta nova variável se agrega a outras variáveis e assim por diante, até a obtenção do elemento final que representa a variável de saída, neste caso o Índice Global de Desempenho Ambiental (IGDA) como o exemplo apresentado na Figura 4.8.

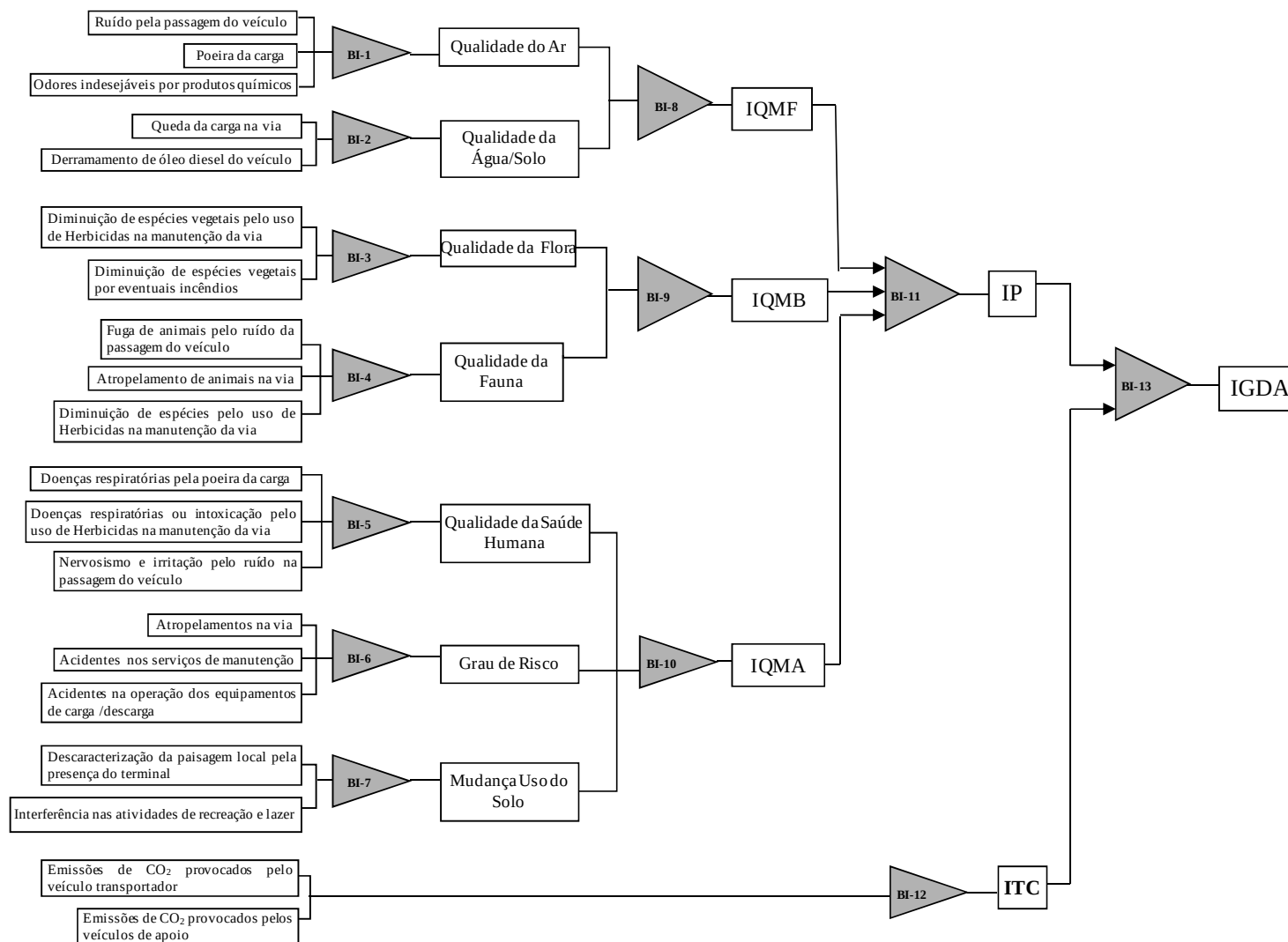


Figura 4.8 : Exemplo de Arquitetura da Rede Neurofuzzy

4.2.6 - Etapa 6 : Procedimento de inferência

Uma vez realizada a fuzzificação das variáveis de entrada, prossegue-se com o processo de inferência, como descrito no capítulo 3, cuja finalidade é relacionar as variáveis entre si, através da base de regras formada por estruturas do tipo SE – ENTÃO. A avaliação da parte SE especifica que a regra é válida para o presente caso ou não, definindo o resultado da avaliação para a parte ENTÃO.

A base de regras deve ser construída por especialistas, assim como a definição do fator de certeza de cada regra que é um valor entre 0 e 1 que indica o grau de validade da mesma.

A modo de exemplo hipotético, na Tabela 4.3 apresenta-se a base de regras para o segundo bloco de inferência BI-2 do exemplo da arquitetura neurofuzzy da figura 4.8.

Tabela 4.3 : Exemplo Hipotético de Base de Regras

REGRA	SE		ENTÃO	
	Queda da carga na via	Derramamento do óleo diesel do veículo	Qualidade da Água/Solo	FC
1	ALTO	ALTO	BAIXO	0,9
2	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,7
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,6
4	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
6	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,9
7	BAIXO	ALTO	BAIXO	0,8
8	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,6
9	BAIXO	BAIXO	ALTO	0,9

Fonte: Elaboração própria baseada em CURY (1999)

Posteriormente, executa-se a inferência fuzzy de cada regra para se obter o resultado do vetor lingüístico da Qualidade da Água e do Solo.

O método de inferência fuzzy a ser adotado neste trabalho é o método de Mamdani, que combina os graus de certeza de cada um dos termos lingüísticos por meio do operador mínimo e agrega as regras pelo operador máximo. Segundo FILIPPO (2008) este tipo de inferência é bastante utilizada em problemas de engenharia, podendo produzir boas respostas a partir da criação de uma base de regras gerada por observações e pelo conhecimento dos especialistas sobre o problema. O resultado final

deste procedimento é um resultado lingüístico, também denominado de vetor lingüístico.

Neste método na parte SE da regra, a inferência é computada com base na EQ. 4.1, qual seja:

$$\text{GdCPS} = \text{FC}_n \cdot \text{MIN}_i \{ \text{GdCPE}_i \} \quad (\text{EQ. 4.1})$$

onde:

GdCPS = grau de certeza do parâmetro de saída;

FC_n = fator de certeza da regra n correspondente;

GdCPE_i = grau de certeza do parâmetro de entrada i; $i = 1, 2, 3$

Já a computação da parte ENTÃO da regra é baseada na EQ. 4.2, qual seja:

$$\text{GdCPS} = \text{MAX}_n (\text{FC}_n \cdot \text{MIN}_i \{ \text{GdCPE}_i \}) \quad (\text{EQ. 4.2})$$

Aplicando as equações EQ. 4.1 e EQ. 4.2 no exemplo hipotético anterior se tem os seguintes resultados:

Regra 1: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCALTO}, \text{GdCALTO} \} = 0,9 \text{ MIN } \{ 0,2 ; 0,0 \} \text{ -- BAIXO} = 0,0$
 Regra 2: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCALTO}, \text{GdCMÉDIO} \} = 0,7 \text{ MIN } \{ 0,2 ; 0,8 \} \text{ -- BAIXO} = 0,1$
 Regra 3: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCALTO}, \text{GdCBAIXO} \} = 0,6 \text{ MIN } \{ 0,2 ; 0,2 \} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$
 Regra 4: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCMÉDIO}, \text{GdCALTO} \} = 0,9 \text{ MIN } \{ 0,8 ; 0,0 \} \text{ -- BAIXO} = 0,0$
 Regra 5: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCMÉDIO}, \text{GdCMÉDIO} \} = 1,0 \text{ MIN } \{ 0,8 ; 0,8 \} \text{ -- MÉDIO} = 0,8$
 Regra 6: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCMÉDIO}, \text{GdCBAIXO} \} = 0,9 \text{ MIN } \{ 0,8 ; 0,2 \} \text{ -- MÉDIO} = 0,2$
 Regra 7: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCBAIXO}, \text{GdCALTO} \} = 0,8 \text{ MIN } \{ 0,0 ; 0,0 \} \text{ -- BAIXO} = 0,0$
 Regra 8: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCBAIXO}, \text{GdCMÉDIO} \} = 0,6 \text{ MIN } \{ 0,0 ; 0,8 \} \text{ -- ALTO} = 0,0$
 Regra 9: $\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCBAIXO}, \text{GdCBAIXO} \} = 0,9 \text{ MIN } \{ 0,0 ; 0,2 \} \text{ -- ALTO} = 0,0$
 $\text{GdCQAS} = \text{MAX} (\text{FC}_1 \text{ MIN } \{ \text{GdCALTO}, \text{GdCALTO} \} \text{, } \text{FC}_9 \text{ MIN } \{ \text{GdCBAIXO}, \text{GdCBAIXO} \})$
 $\text{GdCQAS} = \{ \text{BAIXO} = 0,1; \text{MÉDIO} = 0,8; \text{ALTO} = 0,0 \}$

Cada Bloco de Inferência (BI) da arquitetura da rede Neuro Fuzzy, exemplificada na Figura 4.8, é processado da forma descrita anteriormente, neste caso os 12 restantes, até se encontrar o vetor lingüístico do IGDA.

4.2.7 - Etapa 7 : Defuzzificação

A fim de viabilizar comparações entre os diferentes modos de transporte torna-se necessário o processo de defuzzificação. Este processo, conforme descrito no capítulo 3, consiste em transformar o vetor lingüístico em um resultado numérico e pode ser realizado por diferentes métodos, tais como o Centro dos Máximos e o Centro da Área.

O método utilizado neste trabalho é o método do Centro dos Máximos, que segundo SILVA (2005) determina o valor mais típico para cada termo e então computa o valor que reflete o melhor compromisso com o resultado da inferência fuzzy. Para se obter este melhor valor de compromisso como um número real, as pertinências do resultado lingüístico da inferência fuzzy são considerados como os “pesos” dos valores mais típicos dos termos lingüísticos. Além disso, segundo diferentes autores pesquisados tais como: SHAW e SIMÕES (2001), QUINTELLA (1999), VON ALTROCK e KRAUSE (1994) é o método de defuzzificação mais utilizado para transformar um resultado lingüístico novamente num valor numérico.

Com a equação EQ. 4.3 se calcula o IGDA. Assim, o IGDA é, na verdade, o valor máximo dos conjuntos fuzzy ponderado pelos graus de certeza de cada termo lingüístico.

$$\text{IGDA} = \frac{\sum_{n=1}^N \text{GdC}_n \cdot X_n}{\sum_{n=1}^N \text{GdC}_n} \quad (\text{EQ. 4.3})$$

onde:

GdC_n = grau de certeza dos termos lingüísticos da variável de saída final;

X_n = valores da componente sob análise que correspondem aos máximos dos conjuntos fuzzy;

n = regra

N = número total de regras

O resultado do processo de defuzzificação será um valor dentro de um intervalo numérico [0,1] (Figura 4.9), onde se $\text{IGDA} \geq 0,6$ o modo de transporte avaliado pode

ser considerado um transporte favorável ambientalmente, ou seja, que contribui para o bem-estar econômico e social, sem prejudicar a saúde humana e o meio ambiente.

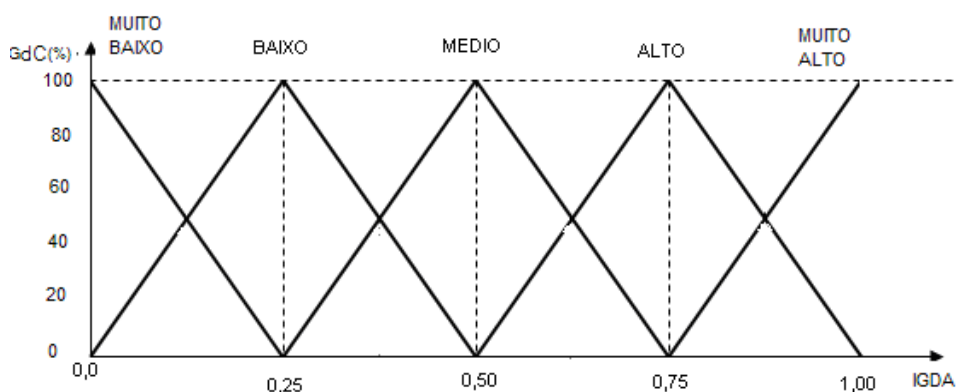


Figura 4.9 : Conjuntos fuzzy da variável de saída, IGDA

Fonte: Adaptado de FILIPPO (2008)

4.3 - Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado o procedimento para desenvolver o IGDA da operação do STC, com a utilização da lógica fuzzy, para tal, foram descritas cada uma das etapas necessárias para a obtenção do mesmo.

Observou-se que as informações das etapas 1 e 2 são diferentes em função do modo de transporte, e por isto devem ser cuidadosamente detalhadas, por ser a base do que poderia ser chamado de pirâmide informacional, onde o topo da mesma seria o IGDA, objetivo deste trabalho.

Posteriormente, na etapa de definição dos indicadores, foram selecionados aqueles com os que se possam conhecer as conseqüências ambientais da operação do STC que ocorrem na escala local, regional e global nos diferentes constituintes do meio ambiente, ou seja, meio físico, biótico e antrópico e em particular no clima.

Ao se medir as conseqüências ambientais, da operação do transporte de carga, incertezas e subjetividades estão presentes, assim, a utilização da lógica fuzzy, pelas suas características destacadas neste capítulo nas etapas 4 ate a 7, mostrou-se adequada pela simplicidade e facilidade para tratar informações imprecisas e vagas, além da possibilidade de obter uma avaliação global das opções analisadas, uma vez que o resultado é um valor numérico decorrente de todo um agrupamento de parâmetros.

Para o melhor entendimento do procedimento proposto, no próximo capítulo é apresentado um exemplo de aplicação hipotético para o modo de transporte ferroviário de carga.

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO HIPOTÉTICO

5.1 – Considerações Iniciais

Neste capítulo tem-se como objetivo mostrar a aplicabilidade do procedimento proposto neste trabalho para desenvolver um Índice Global para avaliação do Desempenho Ambiental (IGDA) da operação do transporte de carga. Assim, será desenvolvido um estudo de caso hipotético, onde as informações sobre diferentes processos que o compõem foram obtidos de entrevistas com funcionários e ex-funcionários de empresas de transporte reais, assim como, de visitas realizadas a tais empresas. O estudo é considerado como caso hipotético, pois houve a necessidade de criar algumas informações não disponíveis no momento do levantamento de dados.

Este capítulo contém a definição do problema e do trecho e via para avaliação; a caracterização da operação sob análise, do terminal, do veículo a ser utilizado, da carga a ser transportada e do processo de descarga/carga e das diferentes atividades a serem realizadas. Em seguida são apresentadas as variáveis de entrada e os indicadores. A seguir é desenvolvido o sistema fuzzy, para a obtenção do IGDA.

5.2 – Definição do problema

Minério de ferro deverá ser transportado de uma mina X até um terminal Y num porto de exportação. O porto tem acesso por ferrovia e rodovia, sendo, então, estes dois modais possíveis de serem utilizados (Figura 5.1).



Figura 5.1 : Percurso Mina/Terminal

Fonte: Google Earth

O problema consiste em avaliar os impactos ambientais negativos possíveis de serem provocados por cada um dos modos. Como trata-se apenas de um estudo para demonstrar a aplicabilidade do procedimento proposto, será avaliado só o modo ferroviário.

5.3 – Trecho e via para avaliação

A ferrovia entre a mina e o porto possui diferentes características em função do uso do solo, portanto, para sua avaliação é necessário o estudo de trechos ambientalmente homogêneos.

A extensão do **trecho** escolhido para avaliação é de aproximadamente 8 kms, a partir do porto em direção à mina. No entorno desta extensão encontram-se pequenos núcleos urbanos.

A **via** é plana, com duas (2) passagens de nível, uma (1) interseção com uma rodovia estadual, de bitola larga (1,60m) e sinalização que indica a chegada ao porto.

5.4 – Caracterização do terminal, do veículo, da carga e do processo de descarga/carga

O **terminal** tem 100.000 m² de extensão, com quatro pátios de estocagem com capacidade de 250 mil toneladas cada, sete (7) casas de transferência, duas empilhadeiras/recuperadoras com 7.000 t/h de capacidade para empilhar e 4.500 t/h para recuperar. (Figura 5.2)



Figura 5.2 : Empilhadeira/Recuperadora

Fonte: <http://www.google.com.br/images>

Opera com navios de até 315 metros, com calado de 17 metros e píer com 315 metros de extensão e 50 metros de largura. O sistema de embarque do terminal é dotado de um conjunto de correias transportadoras com capacidade nominal de 10.000 t/h, abastecido pelas duas empilhadeiras/recuperadoras do pátio de estocagem. Essas máquinas são utilizadas em tempo integral, ora para as operações de empilhamento do minério, ora para sua recuperação e carregamento dos navios. (Figura 5.3)



Figura 5.3 : Carregador de Navio

Fonte: <http://www.google.com.br/images>

O carregador de navios com capacidade nominal de 10.000 t/h está montado sobre um berço de atracação, constituído por três dolphins de atracação e quatro dolphins de amarração. O arranjo do berço e a localização dos dolphins leva em conta a atracação de navios maiores.

Na área do terminal existem instalações auxiliares, administrativas e de suporte às operações, instrumentação, controle e subestação para abastecimento de energia elétrica.

Os **veículos** a serem utilizados no transporte da carga são composições ferroviárias, chamadas de lote, formadas por uma locomotiva diesel-elétrica e 132 vagões. Cada

vagão, tipo gôndola é de classificação GD (para descarga em giradores de vagão) dotado de engate giratório e com capacidade para 98 toneladas.

O **minério de ferro** a ser transportado da mina até o porto é de dois tipos: fino (Sinter Feed: pequenas partículas de minério hematítico, usualmente inferiores a 6 mm) e finos para pelotas (Pellet Feed). Destes dois o mais exportado é o primeiro.

No terminal se analisam as características químicas do produto através dos controles dos teores de ferro, sílica, fósforo alumina e umidade. As análises de volatilidade, pH, reatividade, dentre outros, são feitas nos laboratórios das minas assim como a análise da granulometria.

A granulometria varia de 12,5 até 0,075mm. Na tabela 5.1 observam-se as percentagens de cada um dos teores do minério Sinter Feed que chega ao porto.

Tabela 5.1 : Composição química (%) do Sinter Feed

Elementos	Fino (Sinter Feed)
Teor de ferro	77
Sílica	2,5 – 5,7
Fósforo	0,035 – 0,064
Alumina	0,74 - 2
Umidade	8 - 10

O **processo de descarga** do minério de ferro é automatizado, realizado por um virador de vagões para descarregar o produto. O virador tem capacidade para virar de dois em dois vagões (Figura 5.4).



Figura 5.4 : Virador de Vagões

Fonte: <http://www.google.com.br/images>

O minério é descarregado numa esteira transportadora subterrânea que o transportará para o pátio de estocagem, caso precise ser misturado, ou para o embarque no navio. O controle deste processo é manual e realizado na casa de transferência principal (onde ocorre o controle da transferência do minério de uma correia para outra por gravidade).

O tempo de descarga do trem, em meia, é de duas (2) horas e quarenta (40) minutos, sendo descarregados, em meia, seis (6) trens por dia. Uma vez descarregado o trem volta vazio à mina.

O **processo de carga** no navio é definido num Plano de Carga, desenvolvido pelo comandante do navio onde, fica determinada a quantidade de carga, em toneladas, que deverá ser colocada em cada um dos 9 porões e entregue à empresa responsável pelo carregamento.

O navio pode carregar os dois tipos de minério. O carregamento é realizado por um operador que se encontra numa cabine do lado do carregador (Shipping Loader) (Figura 5.5). Os porões são carregados em forma alternada pela segurança da estrutura do navio. O tempo de carga, por porão com capacidade de 10.000 toneladas, é, em média, de duas (2) horas.



Figura 5.5 : Cabine do operador

Fonte: <http://www.google.com.br/images>

5.5 - Atividades e possíveis impactos ambientais negativos

As atividades realizadas na operação do transporte ferroviário de carga (como definido no capítulo 2) são: a movimentação dos veículos, os processos de carga/descarga, a manutenção preventiva/corretiva dos equipamentos e a manutenção da via. Apesar dos cuidados ao desenvolver essas atividades em forma sustentável podem-se gerar algumas ocorrências indesejáveis no transporte do minério de ferro.

A atividade **movimentação do veículo** pode provocar **poluição atmosférica** pela poeira do produto, pela fumaça da locomotiva ou por incêndios provocados por eventuais descarrilamentos; **poluição do solo e da água**, pela queda do minério de ferro na via e pelo derramamento de óleo diesel da locomotiva na mesma; diminuição de **espécies vegetais e animais** pela queda do produto na via e fuga de animais pelo ruído da composição; **ocorrências indesejáveis**, como acidentes na via férrea ou nas passagens de nível; **doenças** respiratórias nos funcionários e na população de entorno da via pela poeira do minério de ferro e transtornos nervosos nessa mesma população pelo ruído da composição ou pelo som da buzina nas passagens de nível; **poluição sonora** pela passagem das composições e **transtornos climáticos** pela emissão de CO₂ segundo o combustível utilizado.

O **processo de carga/descarga** pode provocar **poluição atmosférica** pela poeira do minério de ferro no momento da descarga dos vagões para as esteiras transportadoras ou no embarque para outros modos; **poluição do solo e da água** pela queda do minério de ferro; **poluição sonora** pelo funcionamento dos equipamentos utilizados no processo; **ocorrências indesejáveis** como acidentes com os equipamentos utilizados no processo e **doenças** respiratórias pela poeira do minério nos funcionários e na população de entorno do terminal.

A **manutenção e conservação dos veículos e da via** podem provocar **poluição atmosférica** pelo odores indesejáveis dos produtos utilizados; **poluição do solo e da água** pela queda do óleo durante sua troca nos equipamentos e veículos ou pelos combustíveis, ácidos ou materiais químicos usados para remoção da graxa dos motores; **poluição sonora** pelas operações realizadas como troca de dormentes e pelos motores dos veículos; **ocorrências indesejáveis** como acidentes nas oficinas de manutenção dos veículos e equipamentos ou na via; **doenças** pelos odores dos produtos utilizados; **transtornos climáticos** pela emissão de CO₂ pela manutenção dos motores dos veículos no processo de aceleração e desaceleração.

Além destes impactos, existe também a relação com a instrução visual e a acessibilidade a áreas verdes pela presença dos terminais e das minas, gerando assim mudanças no uso do solo.

5.6 – Variáveis de entrada e indicadores

Com as informações até aqui apresentadas definem-se as variáveis de entrada, quais sejam: ruído pela passagem da composição, poeira do minério de ferro, odores indesejáveis por produtos químicos, queda do minério na via, derramamento óleo diesel da locomotiva, diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via, incêndios por eventuais descarrilamentos, fuga de animais, atropelamentos de animais, diminuição de espécies animais, doenças respiratórias, intoxicação, nervosismo e irritação, atropelamentos de pessoas, acidentes nas oficinas, acidentes na operação dos equipamentos de carga/descarga, descaracterização da paisagem local, interferência nas atividades de lazer e recreação, emissões de CO₂ provocadas pela fumaça da locomotiva e emissões de CO₂ provocadas pelos veículos.

Estas variáveis agregadas ou combinadas produzem os indicadores a serem utilizados para o controle da degradação ambiental do trecho sob análise. Nas figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 são apresentados os diagramas estruturais dos diferentes indicadores: Indicador do Meio Físico (IQMF), Indicador do Meio Biótico (IQMB), Indicador do Meio Antrópico (IQMA) e Indicador de Transtornos do Clima (ITC).

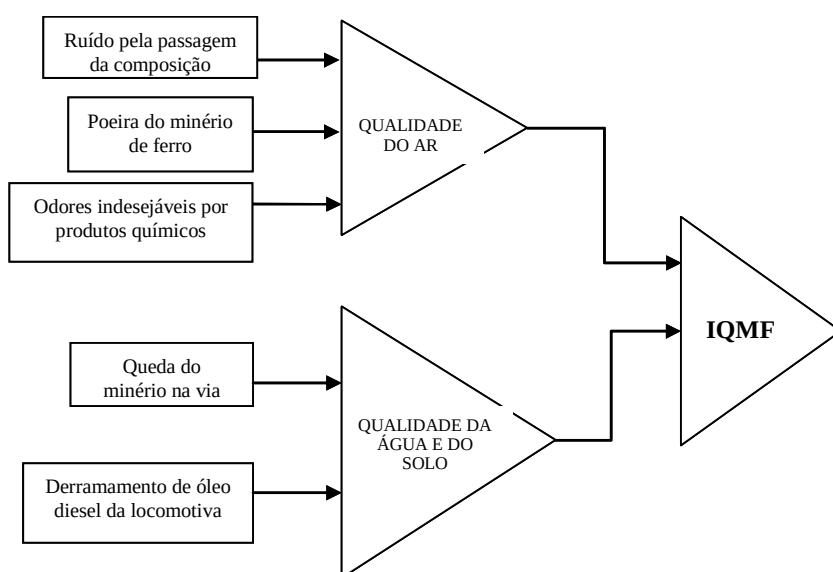


Figura 5.6 : Diagrama estrutural do IQMF

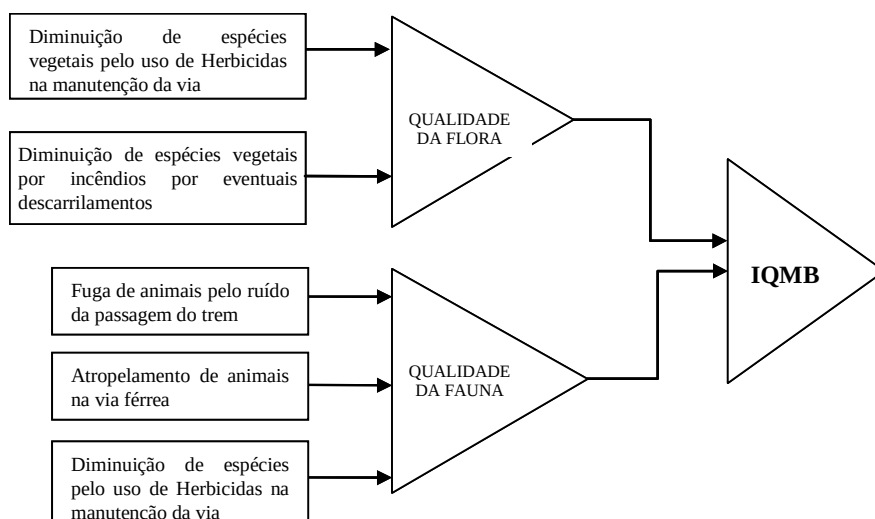


Figura 5.7 : Diagrama estrutural do IQMB

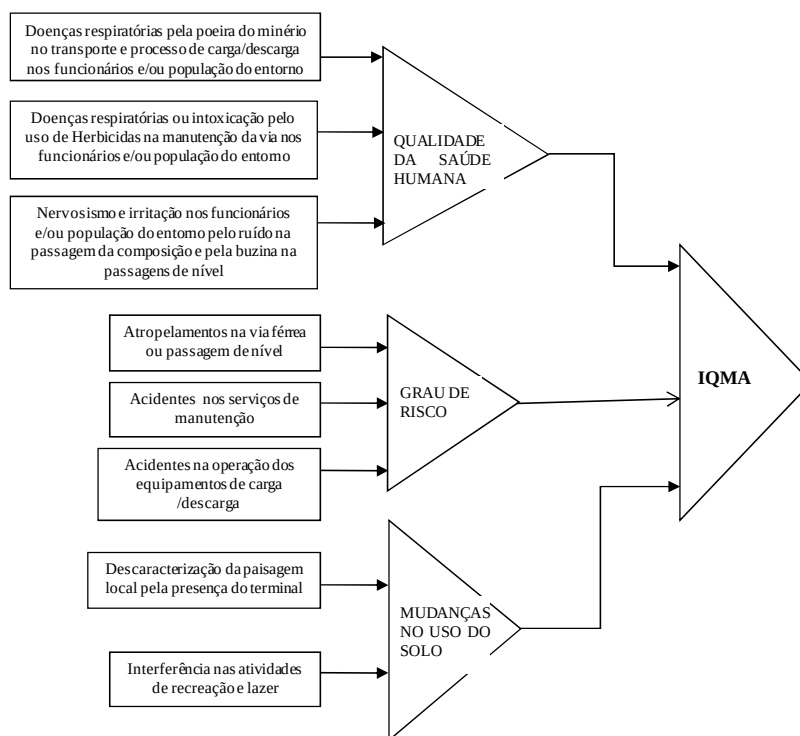


Figura 5.8 : Diagrama estrutural do IQMA

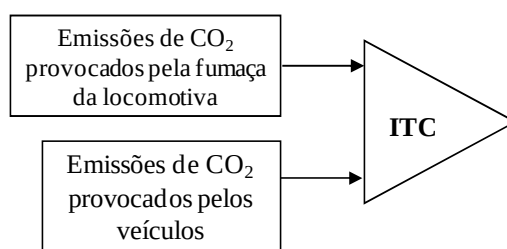


Figura 5.9 : Diagrama estrutural do ITC

5.7 - Sistema Fuzzy

Como definido nos capítulos 3 e 4, para desenvolver o sistema fuzzy devem ser definidas e caracterizadas, inicialmente, as variáveis de entrada em função do tipo (qualitativas ou quantitativas), dos termos lingüísticos que as representam, assim como determinados os correspondentes valores ou graus de avaliação.

Na tabela 5.2, apresentam-se as características das variáveis de entrada. De um total de 20 variáveis 16 são quantitativas e as 4 restantes qualitativas.

Tabela 5.2 : Variáveis de entrada

Variável Entrada	Tipo	Termo Lingüístico		
Ruído pela passagem da composição (dB)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Poeira do minério de ferro (ppm ou ppb ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Odores indesejáveis por produtos químicos (ppm ou ppb ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Queda do minério na via (mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Derramamento óleo diesel da locomotiva (µg/m ³ ou mg/m ³)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via (área afetada x unidade de tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Incêndios por eventuais descarrilamentos (área afetada x unidade de tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Fuga de animais	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Atropelamentos de animais (num animais x unidade tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Diminuição espécies animais	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Doenças respiratórias (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Intoxicação (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Nervosismo e irritação (num doentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Atropelamentos de pessoas (num atropelamento x unidade tempo x trecho)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Acidentes nas oficinas (num acidentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Acidentes na operação dos equipamentos de carga/descarga (num acidentes x unidade tempo)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Descaracterização da paisagem local pela presença do terminal	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Interferência nas atividades de lazer e recreação	Qualitativa	Baixo	Médio	Alto
Emissões de CO ₂ provocadas pela fumaça da locomotiva (ton CO ₂)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto
Emissões de CO ₂ provocadas pelos veículos (ton CO ₂)	Quantitativa	Baixo	Médio	Alto

Na Tabela 5.3 a seguir apresentam-se os valores das variáveis quantitativas e na Tabela 5.4 encontram-se os graus atribuídos as variáveis qualitativas. Como apresentado no capítulo 4 estes graus foram aferidos por especialistas. O grupo de especialistas usado neste estudo de caso hipotético foi constituído por 10 pessoas entre profissionais do setor e alunos do setor de transporte com conhecimento na área. Para obter estes resultados foram desenvolvidos e aplicados questionários, exemplos dos mesmos presentes no Apêndice 1 desta tese.

Tabela 5.3 : Valores atribuídos às variáveis de entrada quantitativas

Variável Entrada	Unidade	Valor
Ruído pela passagem da composição	dB	60
Poeira do minério de ferro	ppm	22
Odores indesejáveis por produtos químicos	ppm	20
Queda do minério na via	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3	500
Derramamento óleo diesel da locomotiva	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3	140
Diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via	m^2 ou ha	2
Diminuição espécies vegetais por incêndios por eventuais descarrilamentos	m^2 ou ha	4
Atropelamentos de animais	parâmetro	8
Doenças respiratórias	parâmetro	9
Intoxicação	parâmetro	12
Nervosismo e irritação	parâmetro	40
Atropelamentos de pessoas	parâmetro	10
Acidentes nas oficinas	parâmetro	3
Acidentes na operação dos equipamentos de carga/descarga	parâmetro	2
Emissões de CO_2 provocadas pela fumaça da locomotiva	ton CO_2	200,8
Emissões de CO_2 provocadas pelos veículos	ton CO_2	2250

Tabela 5.4 : Graus atribuídos às variáveis de entrada qualitativas

Variável Entrada	Graus
Fuga de animais	6,5
Diminuição espécies animais	4
Diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via	4,5
Descaracterização da paisagem local pela presença do terminal	6
Interferência nas atividades de lazer e recreação	8

5.7.1 – Fuzzificação

- **Definição dos conjuntos Fuzzy**

Para exemplificação do processo de definição dos conjuntos fuzzy serão desenvolvidos os conjuntos de duas variáveis uma quantitativa e outra qualitativa. Como exemplo de variável quantitativa utiliza-se a variável Poeira do minério de ferro. Para esta variável, os diferentes valores foram representados com os termos lingüísticos ALTO, MÉDIO e BAIXO. Na Tabela 5.5 apresentam-se os vetores lingüísticos, conforme entrevista aos 10 especialistas. Estes especialistas atribuíram os valores, 1 para respostas positivas e 0 para as negativas, para cada um dos termos lingüísticos, conforme sua percepção do valor apresentado, num intervalo de 16 a 26 ppm.

Tabela 5.5 : Vetores lingüísticos variável Poeira mineiro de ferro

Esp	Termo Lingüístico	Poeira Minério de Ferro (ppm)					
		16	18	20	22	24	26
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
4	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0

	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1

Destas respostas obtiveram-se os graus de certeza GdC conforme apresentado a seguir.

Termo Linguístico		Poeira Minério de Ferro (ppm)					
		16	18	20	22	24	26
GdC (%)	BAIXO	100	100	40	0	0	0
	MÉDIO	0	0	60	100	50	0
	ALTO	0	0	0	0	50	100

A partir desses Graus de Certeza da Tabela são construídos os conjuntos fuzzy apresentados na Figura 5.10.

Destes conjuntos observa-se por exemplo que a poluição do Ar provocada pela poeira de minério de ferro com concentração de 22 ppm é média com um grau de certeza de 100%.

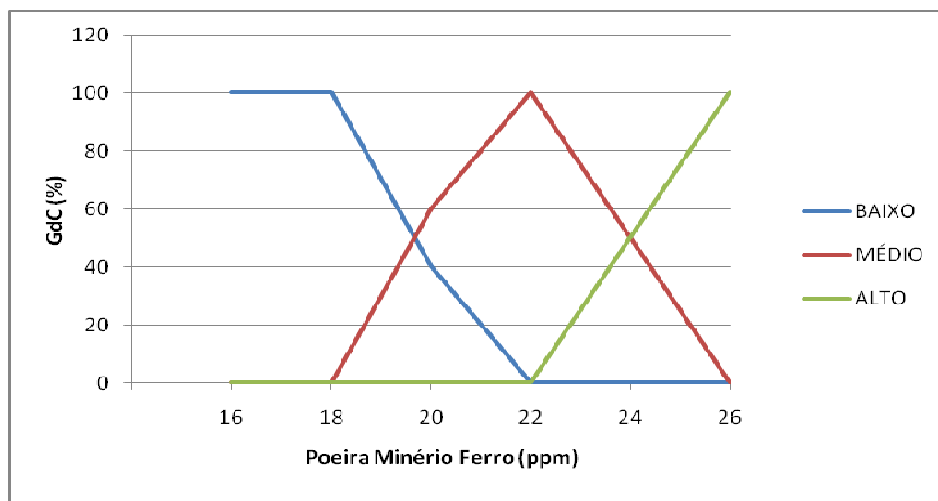


Figura 5.10 : Conjuntos fuzzy variável Poeira do minério de ferro

Na Tabela 5.6 apresentam-se os vetores lingüísticos para a variável qualitativa, Interferência atividades de recreação e lazer e na Figura 5.11 os correspondentes conjuntos fuzzy. Estes valores foram obtidos de forma análoga á anterior.

Tabela 5.6 : Vetores lingüísticos variável Interferência atividades de recreação e lazer

Esp	Termo Lingüístico	Interferência atividades de recreação e lazer									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BAIXO	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
5	BAIXO	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
6	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
10	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

A seguir apresentam-se os Graus de Certeza obtidos das respostas.

Termo Linguístico		Interferência atividades de recreação e lazer									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GdC (%)	BAIXO	100	80	10	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	20	90	100	60	20	10	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	40	80	90	100	100	100

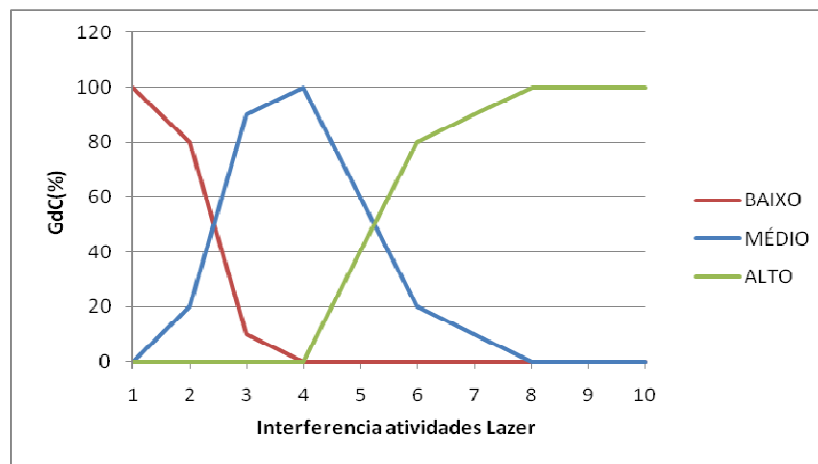


Figura 5.11 : Conjuntos fuzzy variável Interferência atividades lazer

Na Figura 5.11, observa-se por exemplo, que o vetor lingüístico da variável com grau 8 é BAIXO com grau de certeza 0, MÉDIO com grau de certeza 0 e ALTO com grau de certeza 100.

No Apêndice II são apresentadas as tabelas de fuzificação e os gráficos contendo os conjuntos fuzzy correspondentes ao resto das variáveis de entrada quantitativas e qualitativas. Nas Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam-se os resultados.

Tabela 5.7 : Vetores Lingüísticos das variáveis de entrada quantitativas

Variável Entrada	Valor Atribuído	Termo Lingüístico	GdC (%)
Ruído pela passagem da composição	60 dB	BAIXO	0
		MÉDIO	20
		ALTO	80
Poeira do minério de ferro	22 ppm	BAIXO	0
		MÉDIO	100
		ALTO	0
Odores indesejáveis por produtos químicos	20 mg/m ₃	BAIXO	0
		MÉDIO	80
		ALTO	20
Queda do minério na via	500 mg/m ₃	BAIXO	0
		MÉDIO	80
		ALTO	20
Derramamento óleo diesel da locomotiva	140 mg/m ₃	BAIXO	0
		MÉDIO	20
		ALTO	80
Diminuição de espécies vegetais pelo uso de herbicidas na manutenção da via	2 ha	BAIXO	60
		MÉDIO	40
		ALTO	0
Diminuição espécies por Incêndios por eventuais descarrilamentos	4 ha	BAIXO	0
		MÉDIO	10
		ALTO	90
Atropelamentos de animais	8 animais	BAIXO	0
		MÉDIO	10
		ALTO	90
Doenças respiratórias	9 pessoas	BAIXO	0
		MÉDIO	0
		ALTO	100
Intoxicação	12 pessoas	BAIXO	10
		MÉDIO	90
		ALTO	0
Nervosismo e irritação	40 pessoas	BAIXO	0
		MÉDIO	10
		ALTO	90
Atropelamentos de pessoas	10 pessoas	BAIXO	0
		MÉDIO	0
		ALTO	100

Acidentes nas oficinas	3 funcionários	BAIXO	10
		MÉDIO	90
		ALTO	0
Acidentes na operação dos equipamentos de carga/descarga	2 funcionários	BAIXO	20
		MÉDIO	80
		ALTO	0
Emissões de CO ₂ provocadas pela fumaça da locomotiva	200,8 ton CO ₂	BAIXO	30
		MÉDIO	70
		ALTO	0
Emissões de CO ₂ provocadas pelos veículos	2250 ton CO ₂	BAIXO	0
		MÉDIO	20
		ALTO	80

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5.8 : Vetores Lingüísticos das variáveis de entrada qualitativas

Variável Entrada	Termo lingüístico	GdC (%)
Fuga de animais pelo ruído da passagem do trem	BAIXO	0
	MÉDIO	90
	ALTO	10
Diminuição espécies animais pelo uso de herbicidas na manutenção da via	BAIXO	0
	MÉDIO	90
	ALTO	10
Descaracterização da paisagem local pela presença do terminal	BAIXO	0
	MÉDIO	80
	ALTO	20
Interferência nas atividades de lazer e recreação	BAIXO	0
	MÉDIO	0
	ALTO	100

Fonte: Elaboração própria

5.7.2 – Procedimento de inferência

Como definido no capítulo 4 item 4.2.6, no procedimento de inferência se relacionam as variáveis entre si, através da base de regras formada por estruturas do tipo SE – ENTÃO. Este procedimento é realizado após a elaboração da arquitetura neurofuzzy, apresentada na Figura 5.12, onde se agrupam as variáveis para a formação da base de regras de cada bloco de inferência BI.

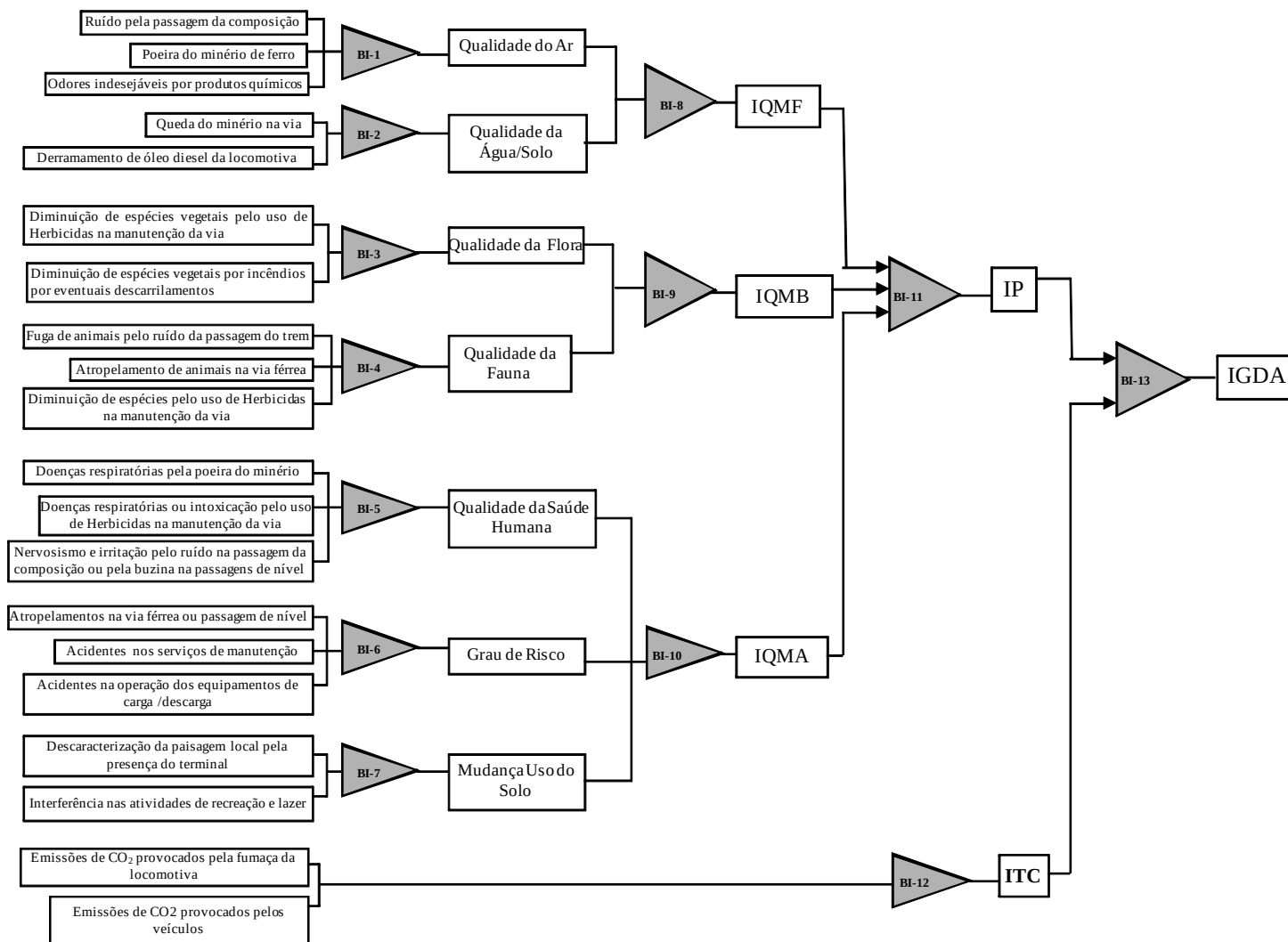


Figura 5.12 : Arquitetura da Rede Neurofuzzy

Na Tabela 5.9 apresenta-se a base de regras construída para a inferência do bloco 3 (BI-3) constituído pelas variáveis Diminuição de espécies por herbicidas e Diminuição de espécies por incêndios, para obter a qualificação do indicador intermediário Qualidade da Flora.

Tabela 5.9 : Base de regras do BI-3

REGRA	SE		ENTÃO	
	Diminuição espécies herbicida	Diminuição espécies incêndios	Qualidade da Flora	FC
1	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
4	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
6	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,6
7	BAIXO	ALTO	MÉDIO	1,0
8	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,6
9	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Fonte: Elaboração própria

Como exemplo, das regras apresentadas se a diminuição das espécies pelo uso de herbicidas tiver sido considerado médio e a diminuição de espécies por incêndios baixo então a qualidade da flora é alta com um grau de certeza de 60%.

Á seguir executa-se a computação da inferência de cada regra, com o método de Mamdani e o emprego das equações 4.1 com a que se computa a parte SE e a 4.2 a parte ENTÃO, (item 4.2.6 do capítulo 4). No caso do BI-3 obtêm-se.

- Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,9\} \rightarrow \text{BAIXO} = 0,0$
- Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,1\} \rightarrow \text{BAIXO} = 0,0$
- Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,0\} \rightarrow \text{MÉDIO} = 0,0$
- Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,9\} \rightarrow \text{BAIXO} = 0,4$
- Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,1\} \rightarrow \text{MÉDIO} = 0,1$
- Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,6 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,0\} \rightarrow \text{ALTO} = 0,0$
- Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,9\} \rightarrow \text{MÉDIO} = 0,6$
- Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,6 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,1\} \rightarrow \text{ALTO} = 0,1$
- Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,0\} \rightarrow \text{ALTO} = 0,0$

$$GdCQF = \text{MAX} (FC1 \text{ MIN} \{GdCALTO, GdCALTO\} \dots, FC9 \text{ MIN} \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$$

$$GdCQF = \{BAIXO = 0,4; \text{MÉDIO} = 0,6; \text{ALTO} = 0,1\}$$

No vetor lingüístico pode-se observar, por exemplo, que a Qualidade da Flora é baixa com grau de certeza de 40%, média com um grau de certeza de 60% e alta com um grau de certeza de 10%.

Este processo é realizado com cada um dos blocos de inferência, onde o resultado do processo da primeira camada é o valor para o processo de inferência da camada seguinte e assim até chegar ao processo de inferência do último bloco (BI-13). Este bloco produzirá o vetor lingüístico do IGDA. No Apêndice III encontram-se os resultados da inferência de todos os blocos restantes.

Nas Tabelas 5.10, 5.11 e 5.12 apresentam-se os vetores lingüísticos dos processos de inferência de cada camada.

Tabela 5.10 : Vetores lingüísticos da primeira camada

Variável	Termo Lingüístico	GdC (%)
Qualidade do Ar	BAIXO	10
	MÉDIO	10
	ALTO	0
Qualidade da Água/Solo	BAIXO	10
	MÉDIO	80
	ALTO	0
Qualidade da Flora	BAIXO	40
	MÉDIO	60
	ALTO	10
Qualidade da Fauna	BAIXO	70
	MÉDIO	10
	ALTO	0
Qualidade da Saúde humana	BAIXO	80
	MÉDIO	10
	ALTO	0
Grau de Risco	BAIXO	0
	MÉDIO	20
	ALTO	70
Mudança do Solo	BAIXO	0

	MÉDIO	0
	ALTO	70

Tabela 5.11 : Vetores lingüísticos da segunda camada

Variável	Termo Lingüístico	GdC (%)
Indicador Qualidade Meio Físico - IQMF	BAIXO	10
	MÉDIO	70
	ALTO	0
Indicador Qualidade Meio Biótico - IQMB	BAIXO	50
	MÉDIO	10
	ALTO	10
Indicador Qualidade Meio Antropico - IQMA	BAIXO	70
	MÉDIO	50
	ALTO	0

Tabela 5.12 : Vetores lingüísticos da terceira camada

Variável	Termo Lingüístico	GdC (%)
Indicador Poluição - IP	BAIXO	40
	MÉDIO	50
	ALTO	10
Indicador Transtornos Clima - ITC	BAIXO	0
	MÉDIO	30
	ALTO	60

5.7.3 – Defuzzificação

A defuzzificação, como definido nos capítulos 3 e 4, consiste em transformar o vetor lingüístico da variável de saída IGDA em um resultado numérico. Este resultado permitirá a comparação entre os diferentes modos de transporte.

Como descrito no item 4.2.7 do capítulo 4, para realizar a defuzzificação é utilizado o método do Centro dos Máximos que determina o valor mais típico para cada termo e então computa o valor que reflete o melhor compromisso com o resultado da inferência fuzzy.

Na Tabela 5.13 apresentam-se o resultado da defuzzificação por cada especialista. Além da média aritmética de cada variável lingüística.

Tabela 5.13 : Resultado Defuzzificação

Especialista	ALTO	MÉDIO	BAIXO
1	0,0	0,6	0,2
2	0,0	0,7	0,3
3	0,0	0,8	0,9
4	0,0	0,4	0,7
5	0,7	0,5	0,0
6	0,6	0,9	0,3
7	0,0	0,6	0,0
8	0,8	0,0	0,5
9	0,3	0,7	0,6
10	0,4	0,5	0,0
Média Aritmética	0,3	0,6	0,4

Com a média aritmética obtêm-se os graus de certeza do IGDA sendo estes:
 ALTO = 0,3 ; MÉDIO = 0,6 ; BAIXO = 0,4. Usando os conjunto fuzzy da figura 4.9 e a equação EQ. 4.3 tem-se:

$$\mathbf{IGDA} = \frac{(0,25 \cdot 0,3) + (0,75 \cdot 0,6) + (0,5 \cdot 0,4)}{(0,3 + 0,6 + 0,4)} = 0,56$$

Este valor na Tabela 5.14, Interpretação da escala do Desempenho Ambiental, baseada no gráfico 4.12 do capítulo anterior, indica que o IGDA obtido corresponde a um desempenho ambiental Médio, o que define, ao transporte ferroviário, favorável ambientalmente, dentro das características de transporte definidas, ou seja, que contribui para o bem-estar econômico e social prejudicando pouco a saúde humana e o meio ambiente, mas que deve melhorar os pontos ambientalmente frágeis a fim de melhorar este desempenho .

Tabela 5.14 : Interpretação da escala do Desempenho Ambiental

ÍNDICE	DESEMPENHO AMBIENTAL
$0 \leq IGDA \leq 0,20$	Muito Baixo
$0,20 \leq IGDA \leq 0,40$	Baixo
$0,40 \leq IGDA \leq 0,60$	Médio
$0,60 \leq IGDA \leq 0,80$	Alto
$0,80 \leq IGDA \leq 1$	Muito Alto

5.8 - Considerações Finais

Avaliando os valores obtidos em cada uma das camadas da arquitetura (ver Apêndice III) observa-se que as atividades onde podem acontecer mais impactos ambientais negativos são nos processos de carga/descarga do minério. Para mitigar os problemas causados podem-se recomendar algumas práticas como molhar o minério para diminuir a poeira no momento da descarga no viradouro de vagões, ao ser movimentado na esteira transportadora e no carregamento no navio, cobrir as esteiras transportadoras, monitorar o uso dos EPI nos funcionários para evitar problemas de audição e colocar barreiras nos corredores da recuperadora/empilhadeira e no equipamento de carregamento dos navios para evitar acidentes.

Para se realizar a comparação com outros modos de transporte para escolher o mais sustentável realiza-se o mesmo procedimento

Observa-se então que a aplicação do procedimento proposto não é apenas útil para concluir pelo modo mais sustentável, mas também mostra os pontos fracos do modo avaliado o que permite a proposta de medidas mitigadoras, melhorando ainda, quando implementadas, o desempenho do modo selecionado.

As condições de subjetividade e incerteza da lógica fuzzy para resolver problemas do tipo analisado mostraram-se adequadas principalmente pela característica de flexibilidade em função da possibilidade de inserção ou retirada de variáveis de forma simples seguindo o procedimento de construção da arquitetura, possibilitando assim a avaliação dos diferentes modos de transporte.

Assim, o IGDA desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta de auxílio para a tomada de decisão para empresas e órgãos ambientais quanto à seleção da modalidade de transporte de carga mais favorável ambientalmente.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões desta tese foram elaboradas com base na avaliação dos diferentes tópicos abordados na revisão bibliográfica apresentada e na análise dos resultados da aplicação das diferentes etapas do procedimento proposto.

No funcionamento do sistema econômico, o transporte de carga desempenha papel fundamental na prestação de serviços que são utilizados, praticamente, por todas as unidades produtivas.

Este serviço é prestado por cinco modos: rodoviário, ferroviário, hidroviário, dutoviário e aéreo. Cada modo possui características operacionais próprias, destacando-se: sua capacitação, sua disponibilidade e sua frequência.

A capacitação dos modos de transporte está relacionada à possibilidade de um determinado modo trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos. Nesta dimensão, o de melhor desempenho é o modo aquaviário, que praticamente não tem limites sobre o tipo de produto que pode transportar, assim como o volume, que pode atingir centenas de milhares de toneladas. O dutoviário e o aéreo apresentam sérias restrições em relação a esta característica. O primeiro é muito limitado em termos de produtos, pois trabalha com líquidos, sólidos, pó e gasosos e o aéreo possui limitações também em termos de volume e tipos de produtos a serem transportados.

A disponibilidade dos modos de transporte se refere ao número de localidades que o modo pode alcançar. Esta característica é a grande vantagem do modo rodoviário, que quase não tem limites de onde pode chegar. Teoricamente, o segundo em disponibilidade é o ferroviário, mas a malha ferroviária no Brasil, de apenas 29 mil quilômetros, tem baixa presença fora das regiões Sul e Sudeste do país, o que faz com que o modo aéreo se apresente melhor qualificado neste quesito em muitas regiões. O modo aquaviário, apesar da costa de oito mil quilômetros e dos vinte e oito mil quilômetros de rios navegáveis, apresenta, de fato, uma reduzida disponibilidade, devido à deficiência de infra-estrutura portuária e da escassez de terminais.

Quanto à frequência, ou seja, o número de vezes em que o modo pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo, o dutoviário é o de melhor desempenho. Por trabalhar 24 hs por dia, 7 dias por semana, o sistema pode ser acionado a qualquer momento e ainda não fica dependente de condições climáticas adversas ou de incidentes

contingenciais. Seguem pela ordem o rodoviário, o ferroviário, o aéreo e o hidroviário limitados pelas frotas respectivas. A baixa frequência do hidroviário resulta dos grandes volumes de carga envolvidos na operação, o que o obriga a trabalhar com carga consolidada, diminuindo desta maneira a frequência.

Os diferentes modos de transporte, na sua operação geram impactos negativos se essa não for realizada com os devidos cuidados, afetando os meios biótico, físico e antropico e em particular o clima, em maior ou menor grau em função das características ambientais da região onde opera.

Entre os diferentes impactos ambientais que podem ser gerados (ruído, ocorrências indesejáveis, diminuição de espécies vegetais/animais, mudanças do uso do solo, etc.) o setor de transporte é definido como uma das atividades humanas que mais contribuem na poluição do ar. Esta situação acontece pelo emprego, quase exclusivo, de combustíveis fósseis, emissores de diferentes poluentes atmosféricos, principalmente do dióxido de carbono (CO₂) que é o gás que mais contribui para o aumento da concentração dos gases estufa na atmosfera.

Assim, há a necessidade de selecionar, racionalmente, o modo de transporte, dentre os disponíveis, mais sustentável no trecho sob análise, acompanhando e controlando as diversas atividades realizadas na operação, mensurando alguns parâmetros representativos da qualidade do meio ambiente, conhecidos por indicadores ambientais.

O uso desses indicadores permite quantificar, analisar e traduzir fenômenos ambientais, de modo a torná-los compreensíveis às partes interessadas. Possibilita também o planejamento e o controle da qualidade de serviços e processos, pelo estabelecimento de padrões, pela comparação com estes e pela apuração dos desvios ocorridos, viabilizando a análise da qualidade verificada nos diversos segmentos da organização.

Como os diversos indicadores se referem cada um apenas a um componente do meio ambiente é necessário criar uma forma de tratá-los de forma integrada de forma a permitir a avaliação global do desempenho operacional do objeto de estudo. Esta forma integrada é chamada de índice de desempenho ambiental.

Os índices são resultados da combinação de diversas variáveis em um só valor. A sua utilização revela-se importante no sentido de tornar os dados científicos mais facilmente utilizáveis por decisores, técnicos, gestores, cientistas, políticos, grupos de interesse (exemplo, organizações não governamentais) ou pelo público em geral.

Assim, para se obter um índice, processos sistemáticos de atribuição de pesos relativos, escalas e agregação de variáveis em um resultado único devem ser empregados.

Dada a subjetividade e a nebulosidade dos problemas ambientais, os especialistas ou tomadores de decisão, geralmente vêm o desempenho ambiental em termos de variáveis lingüísticas. Os indicadores para o cálculo do Índice são avaliados ou medidos alguns em termos qualitativos e outros quantitativamente, precisando-se de uma ferramenta que permita a associação destes indicadores convergindo a um único parâmetro de avaliação.

A Lógica Fuzzy é uma técnica que permite tratar simultaneamente parâmetros de diversas naturezas isto é, permite integrar os indicadores dos diversos componentes ambientais que podem ser afetados em particular pela operação do transporte de carga.

Assim, o procedimento proposto que usa a lógica fuzzy revelou-se adequado para o desenvolvimento do IGDA da operação do transporte de carga.

Como vantagens do procedimento observadas especialmente durante o desenvolvimento do estudo de caso podem ser destacadas:

- facilidade para avaliar o grau do dano que as diferentes atividades da operação do transporte de carga podem provocar no meio ambiente, pela participação de especialistas da área.
- facilidade de gerir eficazmente variáveis qualitativas e quantitativas, natureza das variáveis ambientais
- flexibilidade em função da possibilidade de inserção ou retirada de variáveis de forma simples seguindo o procedimento de construção da arquitetura.
- facilidade de construção de cenários para avaliar a sensibilidade do procedimento, como por exemplo numa mudança do tipo de combustível utilizado pela locomotiva ou veículos que operam num terminal o que torna este procedimento dinâmico.
- facilidade na variação de pesos atribuídos as variáveis minimizando ou incrementando a importância dessas, segundo o objetivo da avaliação.
- facilidade para avaliar o desempenho da operação do transporte em forma detalhada em cada um das camadas da arquitetura que o compõem, comportando-se como uma pirâmide de informação.
- facilidade na implementação da modelagem em um ambiente de planilha eletrônica

Finalmente, a maior vantagem do desenvolvimento do IGDA é para os diferentes atores (governo, empresa, sociedade) que participam do sistema de transporte de carga, que disporão de uma ferramenta para auxiliar na tomada de decisão.

Este Índice é de importância para o governo por facilitar a sua tarefa de fiscalização, para a empresa por ajudá-la no cumprimento da legislação evitando o pagamento de multas de valores significativos e para a sociedade por promover uma maior qualidade de vida.

O estudo de caso desenvolvido para mostrar a aplicabilidade do procedimento proposto confirma todas as vantagens aqui expressas.

Como limitações e dificuldades do procedimento proposto podem ser destacadas: a necessidade de limitar o número de variáveis lingüísticas até o máximo de 3 (três) em cada bloco de inferência, de modo a reduzir o número de regras oriundas da combinação destas variáveis. A necessidade da incorporação da experiência acumulada e de especialistas para a tomada de decisão, nas etapas de geração dos conjuntos fuzzy, elaboração de base de regras e ponderação das variáveis ou parâmetros. A necessidade da atribuição de pesos diferenciados para um mesmo parâmetro e/ou variável dependendo de cada ocorrência específica, em função das características físicas locais, principalmente. Desta forma, a fase de atribuição de pesos pode ser morosa e necessita do conhecimento “in situ” das ocorrências ambientais.

Com vistas ao desenvolvimento de trabalhos futuros, para dar continuidade ao presente, recomenda-se:

- a inclusão nesta avaliação das variáveis de benefício e custo da operação do transporte de carga para assim obter uma visão global da sustentabilidade do projeto
- o emprego de outras técnicas de apoio à decisão, como a análise multicriterial comparando-se os resultados obtidos com ambos procedimentos.



Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

COPPE/UFRJ

APÊNDICE I

EXEMPLOS QUESTIONARIOS

QUESTIONARIO

Este documento tem como objetivo auxiliar na avaliação qualitativa de aspectos ambientais (gerados das diferentes atividades) que podem ser medidos ou estimados por valores. A avaliação qualitativa é realizada por expressões ou termos lingüísticos tais como BAIXO, MÉDIO, ALTO.

Solicita-se responder as questões a seguir discriminadas, após ler atentamente as características do transporte de carga.

Características do Transporte de Carga

1. Tipo de carga:
2. Características físico/químicas:
3. Tipo de Veículo:
4. Tipo da área de entorno da operação:

Avaliação qualitativa dos aspectos quantitativos

Aspecto: Queda de carga na via		
Considerações: Dependendo do acondicionamento da carga no veículo esta pode cair na via gerando, no entorno da via, doenças na população pelo derramamento nas águas e no solo, mortes de animais pelo consumo da água e da carga, perda de espécies vegetais, etc.		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limites que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior	Limite Superior
Baixa		
Média		
Alta		

Aspecto: Ruído emitido pela movimentação do veículo		
Considerações: Na movimentação do veículo podem-se gerar ruídos por manutenção inadequada da via e do veículo, por irregularidades da via, pelo funcionamento dos motores, etc. Gerando desconforto na população e nos animais do entorno da via.		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limites, em decibel, que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior (dB)	Limite Superior (dB)
Baixa		
Média		
Alta		70

Aspecto: Acidentes na via		
Considerações: No percurso podem acontecer acidentes por atropelamentos, por falhas humanas, falta de manutenção no veículo, falta ou inadequação de sinalização, invasão da faixa de domínio, etc.		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limites que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior	Limite Superior
Baixa		
Média		
Alta		

Aspecto: Derramamento de óleo diesel do veículo na via		
Considerações: Por manutenção inadequada dos veículos pode ser derramado o óleo diesel na via. Gerando contaminação no solo e da água sendo carregada pela chuva, assim como perda de espécies vegetais, etc.		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limites que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior (lts/km)	Limite Superior (lts/km)
Baixa		
Média		
Alta		

Aspecto: Acidentes nos terminais		
Considerações: Nas diferentes atividades realizadas no terminal os funcionarios podem sofrer acidentes por atropelamentos, por falhas humanas, por falta de manutenção nos equipamentos. Além disto pode acontecer contaminação atmosferica, do solo e da água no processo de carga e descarga dos produtos		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limites que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior	Limite Superior
Baixa		
Média		
Alta		

Aspecto: Tipo de combustível utilizado		
Considerações: O uso dos combustíveis fosseis, gasolina e diesel, tem aumentado a concentração de CO ₂ na atmosfera gerando na atmosfera o aumento da temperatura média do planeta, o chamado aquecimento global e alterações climáticas significativas, com implicações importantes para a agricultura e a distribuição demográfica em todo o mundo.		
Diante do exposto, em sua opinião, quais os valores limite que melhor traduzem os termos lingüísticos abaixo para este aspecto		
Termo Lingüístico	Limite Inferior	Limite Superior
Baixa		
Média		
Alta		



Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

COPPE/UFRJ

APÊNDICE II

CONSTRUÇÃO CONJUNTOS FUZZY

Tabela 2.1 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Ruído pela passagem da Composição”

Esp	Termo Lingüístico	Ruído pela passagem da composição (dB)					
		20	30	40	50	60	70
1	BAIXO	1	0	1	0	0	0
	MÉDIO	0	1	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
GdC (%)	BAIXO	100	60	20	0	0	0
	MÉDIO	0	40	80	100	20	0
	ALTO	0	0	0	0	80	100

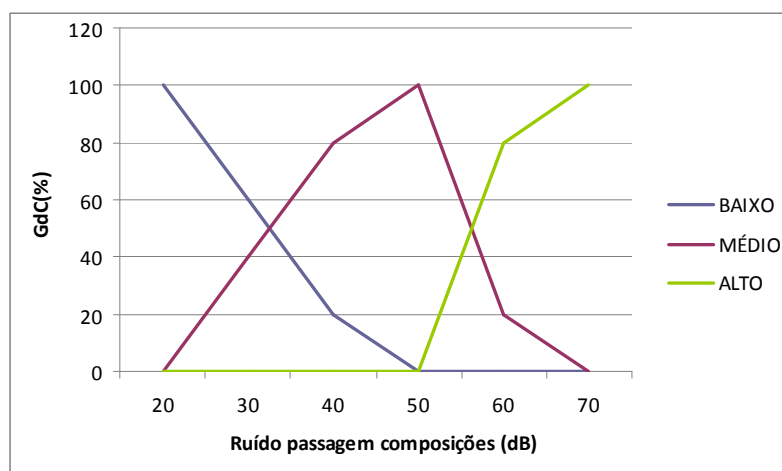


Figura 2.1 : Conjuntos fuzzy variável entrada “Ruído pela passagem Composição”

Tabela 2.2 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Odores Indesejáveis por produtos químicos ”

Esp	Termo Linguístico	Odores indesejáveis por produtos químicos (ppm)					
		12	14	16	18	20	22
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
GdC (%)	BAIXO	100	80	20	0	0	0
	MÉDIO	0	20	80	100	80	0
	ALTO	0	0	0	0	20	100

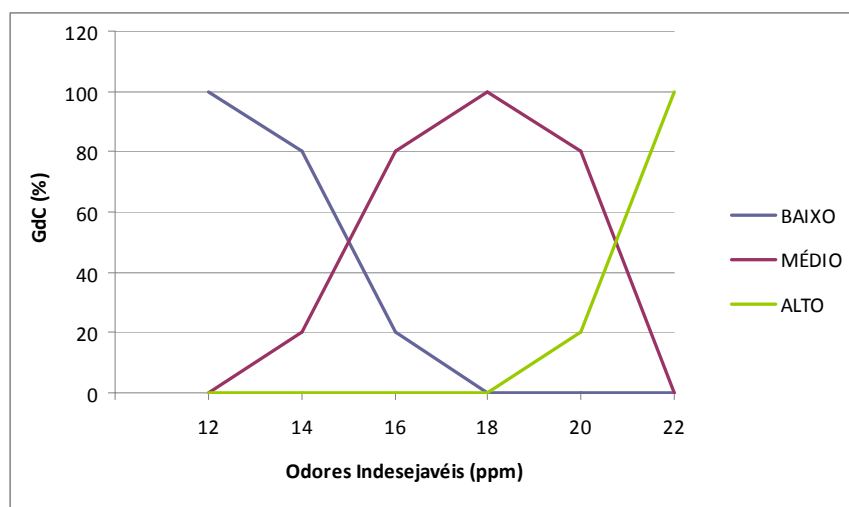


Figura 2.2 : Conjuntos fuzzy variável entrada “Odores Indesejáveis por produtos químicos”

Tabela 2.3 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Queda do minério na via”

Esp	Termo Lingüístico	Queda do minério na via (mg/m ₃)					
		100	200	300	400	500	600
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
GdC (%)	BAIXO	100	60	20	0	0	0
	MÉDIO	0	40	80	100	80	0
	ALTO	0	0	0	0	20	100

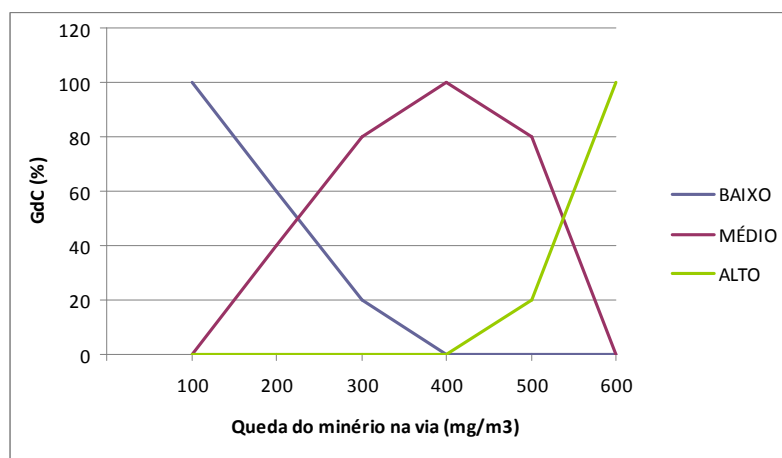


Figura 2.3 : Conjuntos fuzzy variável entrada “Queda do minério na via”

Tabela 2.4 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Derramamento óleo diesel da locomotiva”

Esp	Termo Linguístico	Derramamento óleo diesel da locomotiva (mg/m ₃)					
		100	120	140	160	180	200
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	20	0	0	0
	MÉDIO	0	0	80	100	50	0
	ALTO	0	0	0	0	50	100

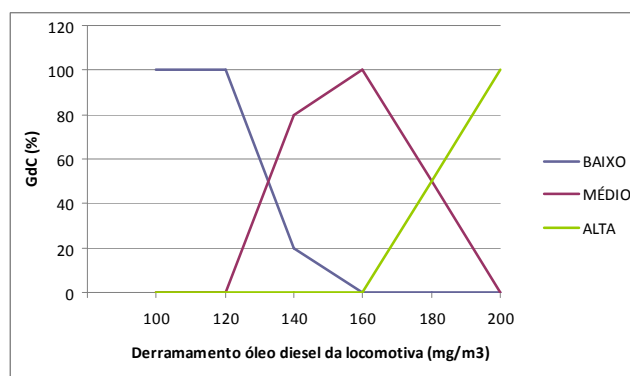


Figura 2.4 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Derramamento óleo diesel da locomotiva”

Tabela 2.5 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies vegetais uso herbicidas”

Esp	Termo Lingüístico	Diminuição espécies vegetais uso herbicidas(ha)					
		1	2	3	4	5	6
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	60	0	0	0	0
	MÉDIO	0	40	100	80	20	0
	ALTO	0	0	0	20	80	100

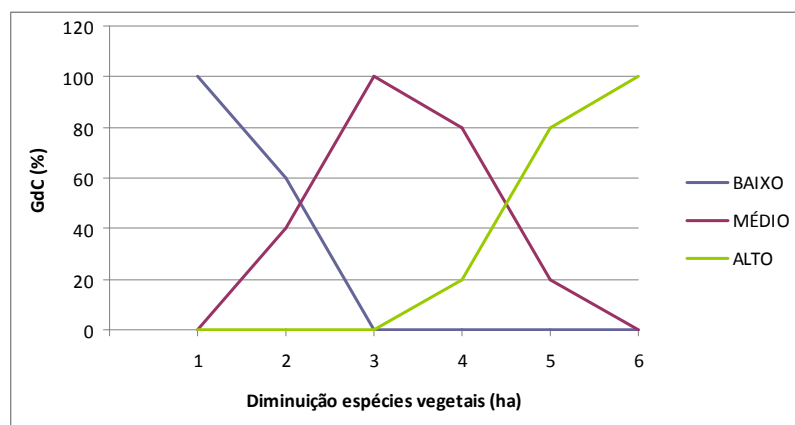


Figura 2.5 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies vegetais uso herbicidas”

Tabela 2.6 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies vegetais por incêndios por eventuais descarrilamentos”

Esp	Termo Lingüístico	Diminuição espécies vegetais por incêndios por eventuais descarrilamentos (ha)					
		1	2	3	4	5	6
1	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
2	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
3	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
4	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
5	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
6	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
7	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
8	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
9	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
10	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	1	0	1	0	1	0
	ALTO	0	1	1	1	1	1
GdC (%)	BAIXO	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	100	0	0	0	0	0
	ALTO	0	100	100	100	100	100

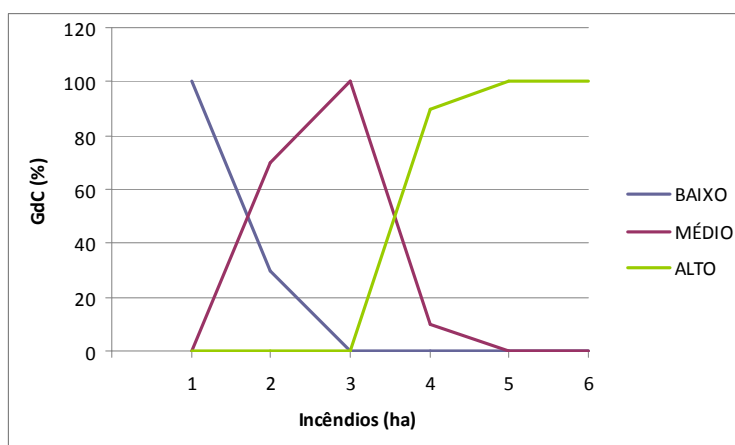


Figura 2.6 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies vegetais por incêndios por eventuais descarrilamentos”

Tabela 2.7 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Atropelamento de animais”

Esp	Termo Lingüístico	Atropelamento de animais					
		2	4	6	8	10	12
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
6	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
9	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	40	0	0	0	0
	MÉDIO	0	60	100	10	0	0
	ALTO	0	0	0	90	100	100

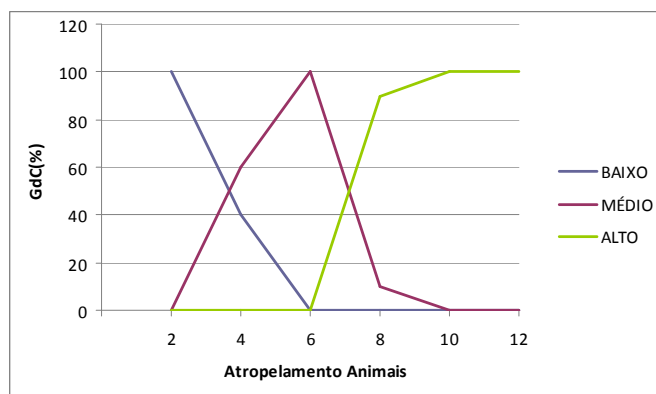


Figura2.7 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Atropelamento de animais”

Tabela 2.8 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Doenças Respiratórias”

Esp	Termo Lingüístico	Doenças Respiratórias					
		1	3	5	7	9	11
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	20	0	0	0
	MÉDIO	0	0	80	100	0	0
	ALTO	0	0	0	0	100	100

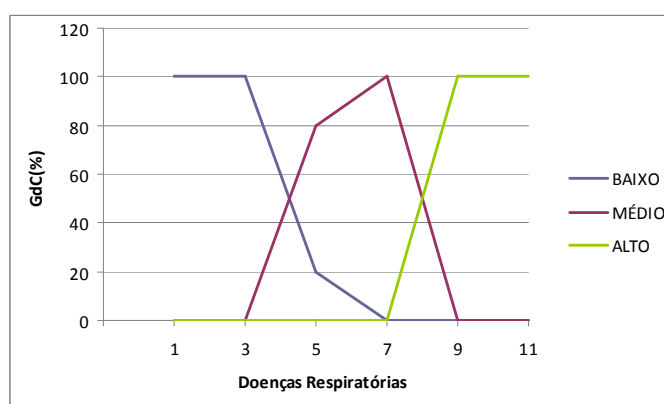


Figura 2.8 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Doenças Respiratórias”

Tabela 2.9 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Intoxicação”

Esp	Termo Linguístico	Intoxicação					
		8	10	12	14	16	18
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	20	0	0	0
	MÉDIO	0	0	80	100	0	0
	ALTO	0	0	0	0	100	100

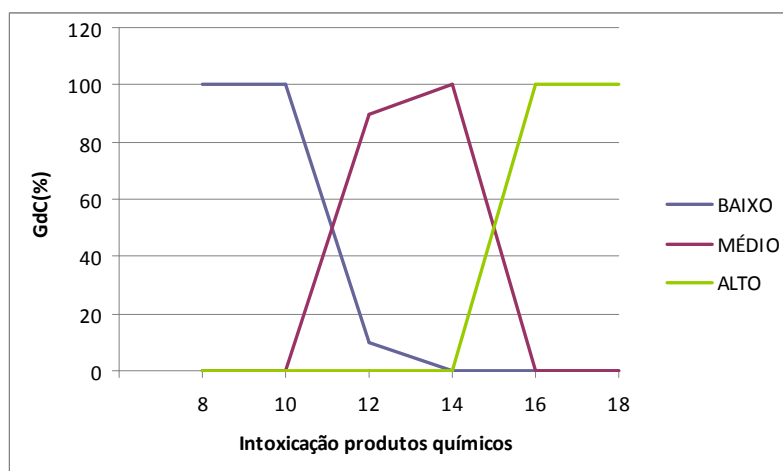


Figura 2.9 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Intoxicação”

Tabela 2.10 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Nervosismo e irritação”

Esp	Termo Lingüístico	Nervosismo e irritação					
		10	20	30	40	50	60
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
4	BAIXO	1	0	0	1	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	20	0	0	0	0
	MÉDIO	0	80	100	100	0	0
	ALTO	0	0	0	0	100	100

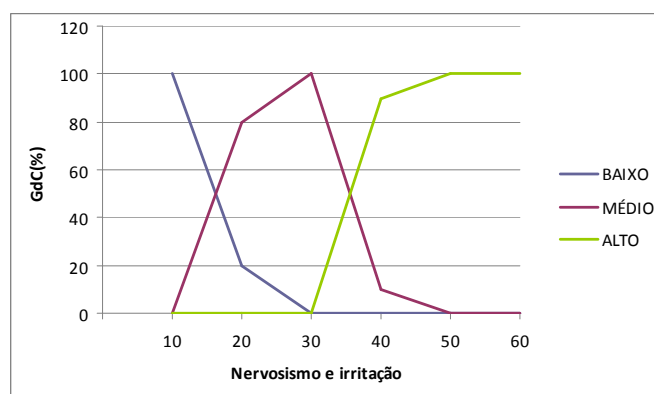


Figura 2.10 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Nervosismo e irritação”

Tabela 2.11 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Atropelamento de pessoas”

Esp	Termo	Atropelamento de pessoas					
	Lingüístico	2	4	6	8	10	12
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	30	0	0	0
	MÉDIO	0	0	70	100	0	0
	ALTO	0	0	0	0	100	100

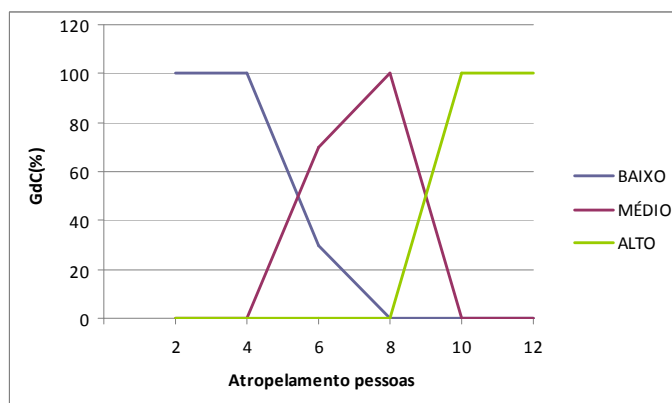


Figura 2.11: Conjuntos Fuzzy variável entrada “Atropelamento de pessoas”

Tabela 2.12 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Acidentes nas oficinas”

Esp	Termo Lingüístico	Acidentes nas oficinas					
		1	2	3	4	5	6
1	BAIXO	1	0	1	0	0	0
	MÉDIO	0	1	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	20	10	0	0	0
	MÉDIO	0	80	90	100	0	0
	ALTO	0	0	0	0	100	100

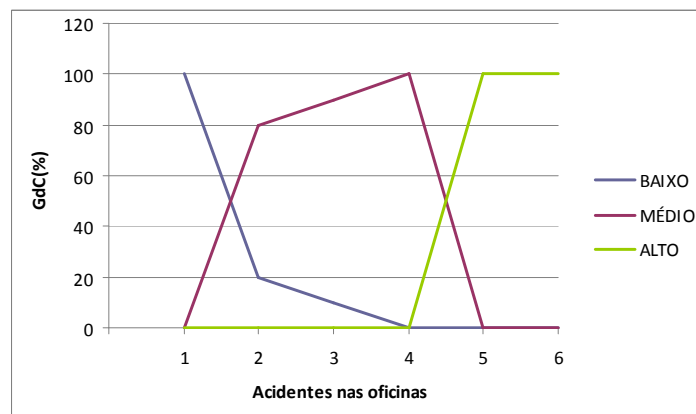


Figura 2.12 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Acidentes nas oficinas”

Tabela 2.13 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Acidentes operação equipamentos”

Esp	Termo Lingüístico	Acidentes operação equipamentos					
		1	2	3	4	5	6
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
5	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
9	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	1	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	20	0	0	0	0
	MÉDIO	0	80	100	60	0	0
	ALTO	0	0	0	40	100	100

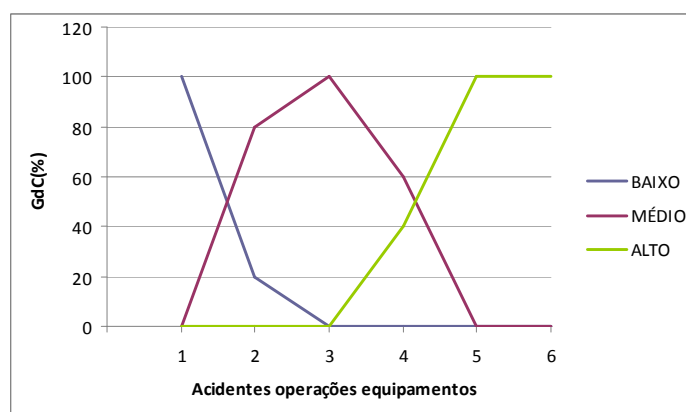


Figura2.13 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Acidentes operação equipamentos”

Tabela 2.14 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Emissões CO₂ provocadas pela fumaça da locomotiva”

Esp	Termo Linguístico	Emissões CO ₂ provocadas pela fumaça da locomotiva (ton CO ₂)					
		160,8	180,8	200,8	220,8	240,8	260,8
1	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	30	0	0	0
	MÉDIO	0	0	70	100	20	0
	ALTO	0	0	0	0	80	100

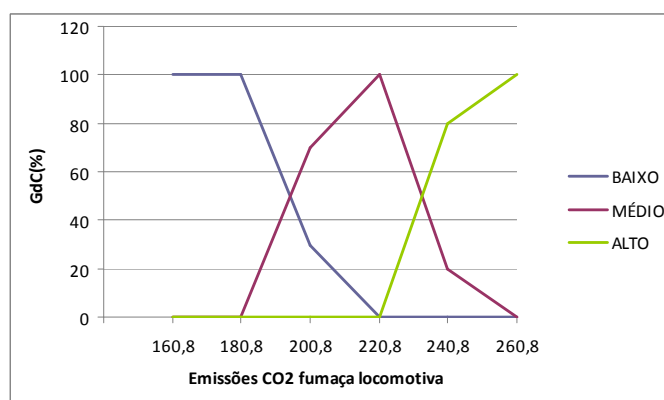


Figura 2.14: Conjuntos Fuzzy variável entrada “Emissões CO₂ provocadas pela fumaça da locomotiva”

Tabela 2.15 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Emissões CO₂ provocadas provocada pelos veículos”

Esp	Termo Lingüístico	Emissões CO ₂ provocadas provocada pelos veículos (ton CO ₂)					
		2050	2100	2150	2200	2250	2300
1	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1
2	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
3	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
4	BAIXO	1	1	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
7	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
8	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
9	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	40	10	0	0	0
	MÉDIO	0	60	90	100	20	0
	ALTO	0	0	0	0	80	100

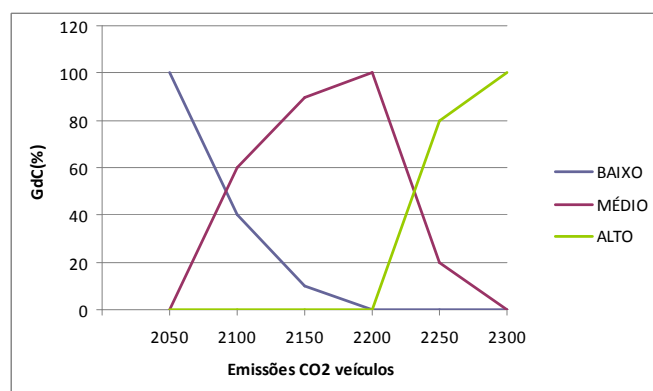


Figura 2.15 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Emissões CO₂ provocadas provocada pelos veículos”

Tabela 2.16 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Fuga de animais”

Esp	Termo Lingüístico	Fuga de animais									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BAIXO	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
2	BAIXO	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
3	BAIXO	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
5	BAIXO	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
6	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
7	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	BAIXO	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	100	80	50	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	20	50	100	80	60	20	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	20	40	80	100

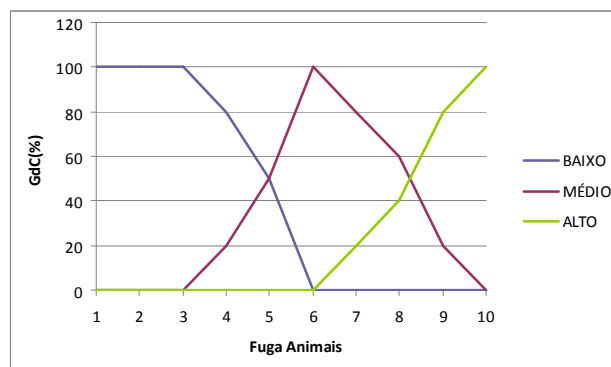


Figura 2.16 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Fuga de animais”

Tabela 2.17 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies animais por uso de herbicidas”

Esp	Termo Lingüístico	Diminuição espécies animais por uso de herbicidas									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BAIXO	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	BAIXO	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	BAIXO	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	ALTO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	BAIXO	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	BAIXO	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	BAIXO	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	MÉDIO	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	ALTO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	BAIXO	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
	MÉDIO	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
	ALTO	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	BAIXO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	MÉDIO	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	ALTO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	BAIXO	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	MÉDIO	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
	ALTO	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	BAIXO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	MÉDIO	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
	ALTO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GdC (%)	BAIXO	0	0	0	0	0	20	60	80	100	100
	MÉDIO	0	20	40	80	100	80	40	20	0	0
	ALTO	100	80	60	20	0	0	0	0	0	0

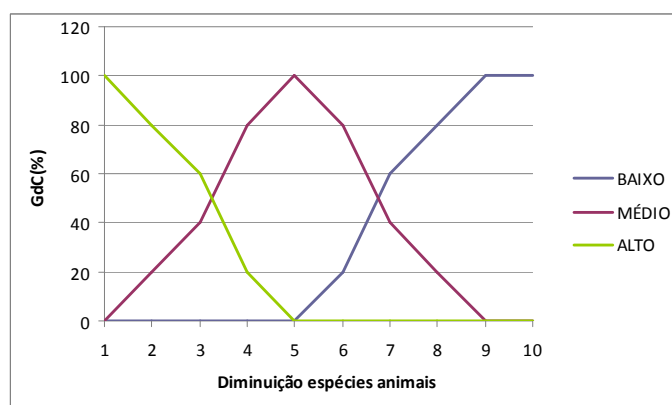


Figura 2.17 : Conjuntos Fuzzy variável entrada “Diminuição espécies animais”

Tabela 2.18 : Construção conjuntos Fuzzy variável entrada “Descaracterização da paisagem local”

Esp	Termo Lingüístico	Descaracterização da paisagem local									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
2	BAIXO	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
3	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
4	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
5	BAIXO	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
6	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
8	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
9	BAIXO	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	BAIXO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
GdC (%)	BAIXO	100	100	70	30	0	0	0	0	0	0
	MÉDIO	0	0	30	70	100	80	30	10	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	20	70	90	100	100

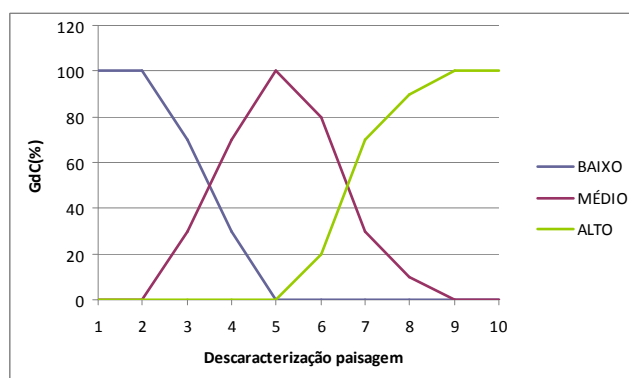


Figura 2.18: Conjuntos Fuzzy variável entrada “Descaracterização da paisagem local”



Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

COPPE/UFRJ

APÊNDICE III

BASES DE REGRAS

Tabela 3.1: Base de Regras do BI-1

REGRA	SE			ENTÃO	
	Ruído passagem composição	Poeira minério	Odores indesejáveis	Qualidade Ar	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
3	ALTO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	1,0
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	BAIXO	1,0
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	0,9
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	BAIXO	1,0
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,7
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	1,0
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0
19	BAIXO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	1,0
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,9
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,8; 0,0; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,8; 0,0; 0,8} --- BAIXO = 0,0
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,8; 0,0; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,8; 0,1; 0,2} --- BAIXO = 0,1
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,8; 0,1; 0,8} --- BAIXO = 0,1
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,8; 0,1; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,8; 0,0; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,8; 0,0; 0,8} -- BAIXO = 0,0
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,8; 0,0; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,2; 0,0; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,2; 0,0; 0,8} -- BAIXO = 0,0
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,2; 0,0; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,2; 0,1; 0,2} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,2; 0,1; 0,8} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,2; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,2; 0,0; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,2; 0,0; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,2; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,8; 0,0; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 1,0; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,0; 1,0; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 24: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 1,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,0; 0,0; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,0; 0,0; 0,8} -- ALTO = 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0

GdCQA = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}..., FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCQA = { BAIXO = 0,1; MÉDIO = 0,1; ALTO = 0,0}

Tabela 3.2: Base de Regras do BI-2

REGRA	SE		ENTÃO	
	Queda minério na via	Derramamento óleo diesel da locomotiva	Qualidade da Água/Solo	FC
1	ALTO	ALTO	BAIXO	0,9
2	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,7
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,6
4	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
6	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,9
7	BAIXO	ALTO	BAIXO	0,8
8	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,6
9	BAIXO	BAIXO	ALTO	0,9

Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,8\} \text{ -- BAIXO} = 0,1$

Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,6 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,2\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,8 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,8 ; 0,8\} \text{ -- MÉDIO} = 0,8$

Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,8 ; 0,2\} \text{ -- MÉDIO} = 0,2$

Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,6 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,8\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,2\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

$GdCQAS = \text{MAX } (FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} \text{, } FC9 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$

$GdCQAS = \{BAIXO = 0,1; MÉDIO = 0,8 ; ALTO = 0,0\}$

Tabela 3.3: Base de Regras do BI-4

REGRA	SE			ENTÃO	
	Fuga animais ruído trem	Atropelamento animais via férrea	Diminuição espécies animais uso herbicidas	Qualidade Fauna	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
3	ALTO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	BAIXO	0,6
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,9
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,8
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	0,7
19	BAIXO	ALTO	ALTO	BAIXO	0,8
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,7
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,6
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,1; 0,9; 0,1} -- BAIXO = 0,1
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,1; 0,9; 0,9} --- BAIXO = 0,1
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,1; 0,9; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,1; 0,1; 0,1} --- BAIXO = 0,1
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,1; 0,1; 0,9} --- MÉDIO = 0,1
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,1; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,1; 0,0; 0,1} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,1; 0,0; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,1; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,6 MIN {0,9; 0,9; 0,1} -- BAIXO = 0,1
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,9; 0,9; 0,9} -- BAIXO = 0,7
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,9 MIN {0,9; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,9; 0,1; 0,1} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,9; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,9; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,9; 0,0; 0,1} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,9; 0,0; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,9; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,1} -- BAIXO = 0,0
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,9} -- BAIXO = 0,0
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 0,1; 0,1} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,0; 0,1; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 24: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0; 0,0; 0,1} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,6 MIN {0,0; 0,0; 0,9} -- ALTO = 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0

GdCQFA = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}....., FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCQFA = { BAIXO = 0,7; MÉDIO = 0,1; ALTO = 0,0}

Tabela 3.4: Base de Regras do BI-5

REGRA	SE			ENTÃO	
	Doenças respiratórias poeira minério	Intoxicação uso herbicidas na via	Nervosismo pelo ruído da passagem da composição	Qualidade da Saúde Humana	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,8
3	ALTO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,9
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	0,7
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	BAIXO	1,0
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	1,0
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0
19	BAIXO	ALTO	ALTO	MÉDIO	1,0
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,7
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,5
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,7
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN { 1,0 ; 0,0 ; 0,9} -- BAIXO = 0,0
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {1,0 ; 0,0 ; 0,1} --- BAIXO = 0,0
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {1,0 ; 0,0 ; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {1,0 ; 0,9 ; 0,9} --- BAIXO = 0,8
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {1,0 ; 0,9 ; 0,1} --- BAIXO = 0,1
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {1,0 ; 0,9 ; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 1,0 MIN {1,0 ; 0,1 ; 0,9} -- BAIXO = 0,1
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {1,0 ; 0,1 ; 0,1} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {1,0 ; 0,1 ; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN { 0,0 ; 0,0 ; 0,9} -- BAIXO = 0,0
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0 ; 0,0 ; 0,1}-- MÉDIO = 0,0
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0 ; 0,0 ; 0,0}-- MÉDIO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,9}-- MÉDIO = 0,0
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,1}-- MÉDIO = 0,0
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,9}-- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,1} -- MÉDIO= 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN { 0,0 ; 0,0 ; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0 ; 0,0 ; 0,1} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0 ; 0,0 ; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,1} -- MÉDIO= 0,0
 Regra 24: FC1 MIN { GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,5 MIN {0,0 ; 0,9 ; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,9} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,1} -- ALTO= 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0 ; 0,1 ; 0,0} -- ALTO = 0,0

GdCQSH = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}....., FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCQSH = { BAIXO = 0,8; MÉDIO = 0,1; ALTO = 0,0}

Tabela 3.5: Base de Regras do BI-6

REGRA	SE			ENTÃO	
	Atropelamentos via férrea ou passagens de nível	Acidentes nos serviços de manutenção	Acidentes na operação dos equipamentos carga/descarga	Grau de Risco	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	0,9
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	ALTO	0,7
3	ALTO	ALTO	BAIXO	ALTO	0,8
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,8
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	0,9
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	ALTO	0,8
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	ALTO	0,9
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,7
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,8
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,8
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,7
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	BAIXO	0,7
19	BAIXO	ALTO	ALTO	ALTO	1,0
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	BAIXO	0,8

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN {1,0; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {1,0; 0,0; 0,8} --- ALTO = 0,0
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {1,0; 0,0; 0,2} --- ALTO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN {1,0; 0,9; 0,0} --- ALTO = 0,0
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {1,0; 0,9; 0,8} --- ALTO = 0,7
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {1,0; 0,9; 0,2} -- MÉDIO = 0,2
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,8 MIN {1,0; 0,1; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {1,0; 0,1; 0,8} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {1,0; 0,1; 0,2} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,0; 0,0; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,0; 0,9; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,0; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,0; 0,1; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,0; 0,1; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,0; 0,0; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,2} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 24: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,2} -- BAIXO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0; 0,1; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,1; 0,8} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,1; 0,2} -- BAIXO = 0,0

GdCGR = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}...., FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCGR = { BAIXO = 0,0; MÉDIO = 0,2; ALTO = 0,7}

Tabela 3.6: Base de Regras do BI-7

REGRA	SE		ENTÃO	
	Descaracterização paisagem local	Interferência atividades de recreação e lazer	Mudança uso do solo	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	1,0
2	ALTO	MÉDIO	ALTO	0,8
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,7
4	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
6	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
7	BAIXO	ALTO	ALTO	1,0
8	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
9	BAIXO	BAIXO	BAIXO	0,7

Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,1\} \text{ -- ALTO} = 0,1$

Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,0\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,2 ; 0,0\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,8 ; 1,0\} \text{ -- ALTO} = 0,7$

Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,8 ; 0,0\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,8 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,0 ; 1,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,0\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

$GdCMUS = \text{MAX } (FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} \text{, } FC9 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$

$GdCMUS = \{BAIXO = 0,0; MÉDIO = 0,0 ; ALTO = 0,7\}$

Tabela 3.7: Base de Regras do BI-8

REGRA	SE		ENTÃO	
	Qualidade do Ar	Qualidade da Água/Solo	IQMF	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	1,0
2	ALTO	MÉDIO	ALTO	0,9
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
4	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
6	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,7
7	BAIXO	ALTO	ALTO	1,0
8	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
9	BAIXO	BAIXO	BAIXO	0,7

Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,8\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,0 ; 0,1\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,8\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,1\} \text{ -- BAIXO} = 0,1$

Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,8\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,1\} \text{ -- BAIXO} = 0,1$

$GdCIQMF = \text{MAX } (FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} \text{, } FC9 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$

$GdCIQMF = \{BAIXO = 0,1; MÉDIO = 0,1 ; ALTO = 0,0\}$

Tabela 3.8: Base de Regras do BI-9

REGRA	SE		ENTÃO	
	Qualidade da Flora	Qualidade da Fauna	IQMB	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	1,0
2	ALTO	MÉDIO	ALTO	0,8
3	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
4	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,9
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,7
6	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
7	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,9
8	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
9	BAIXO	BAIXO	BAIXO	1,0

Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,1\} \text{ -- ALTO} = 0,1$

Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,7\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,1\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,6 ; 0,7\} \text{ -- BAIXO} = 0,5$

Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,0\} \text{ -- MÉDIO} = 0,0$

Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,1\} \text{ -- MÉDIO} = 0,1$

Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,7\} \text{ -- BAIXO} = 0,4$

$GdCIQMB = \text{MAX} (FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} \text{, } FC9 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$

$GdCIQMB = \{BAIXO = 0,5; MÉDIO = 0,1 ; ALTO = 0,1\}$

Tabela 3.9: Base de Regras do BI-10

REGRA	SE			ENTÃO	
	Qualidade da saúde humana	Grau de risco	Mudança uso do solo	IQMA	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,7
3	ALTO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,8
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,8
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	BAIXO	0,9
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,7
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,7
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,5
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,8
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,7
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	ALTO	0,9
19	BAIXO	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,9
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,9
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	0,8
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	0,8
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	1,0

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,8; 0,7; 0,7} -- BAIXO = 0,7
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,8; 0,7; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,8; 0,7; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,8; 0,9; 0,7} --- BAIXO = 0,6
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,8; 0,9; 0,0} --- MÉDIO = 0,0
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,8; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,8; 0,0; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,8; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,8; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,9; 0,7; 0,7} -- BAIXO = 0,6
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,9; 0,7; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,9; 0,7; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,9; 0,9; 0,7} -- MÉDIO = 0,5
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,9; 0,9; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,5 MIN {0,9; 0,9; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,9; 0,0; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,9; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,9 MIN {0,9; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 1,0 MIN {0,0; 0,7; 0,7} -- BAIXO = 0,0
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,0; 0,7; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,7; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 0,9; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 24: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,9; 0,0} -- BAIXO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0; 0,0; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0

GdCIQMA = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}....., FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCIQMA = { BAIXO = 0,7; MÉDIO = 0,5; ALTO = 0,0}

Tabela 3.10: Base de Regras do BI-11

REGRA	SE			ENTÃO	
	IQMF	IQMB	IQMA	IP	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	BAIXO	0,9
2	ALTO	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,7
3	ALTO	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,6
4	ALTO	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,7
5	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
6	ALTO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
7	ALTO	BAIXO	ALTO	BAIXO	0,7
8	ALTO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
9	ALTO	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	0,7
10	MÉDIO	ALTO	ALTO	BAIXO	0,6
11	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
12	MÉDIO	ALTO	BAIXO	MÉDIO	0,8
13	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,8
14	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	1,0
15	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,7
16	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,6
17	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
18	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	ALTO	0,8
19	BAIXO	ALTO	ALTO	MÉDIO	0,9
20	BAIXO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
21	BAIXO	ALTO	BAIXO	ALTO	0,7
22	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	0,7
23	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	0,6
24	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,8
25	BAIXO	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,7
26	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,8
27	BAIXO	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,0; 0,8; 0,7} -- BAIXO = 0,0
 Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN {0,0; 0,8; 0,5} --- BAIXO = 0,0
 Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,6 MIN {0,0; 0,8; 0,0} --- BAIXO = 0,0
 Regra 4: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0; 0,6; 0,7} --- BAIXO = 0,0
 Regra 5: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,0; 0,6; 0,5} --- MÉDIO = 0,0
 Regra 6: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,0; 0,6; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 7: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,0; 0,0; 0,7} -- BAIXO = 0,0
 Regra 8: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,0; 0,0; 0,5} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 9: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,0; 0,0; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 10: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,6 MIN {0,7; 0,8; 0,7} -- BAIXO = 0,4
 Regra 11: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,7; 0,8; 0,5} -- MÉDIO = 0,4
 Regra 12: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,7; 0,8; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 13: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN {0,7; 0,6; 0,7} -- MÉDIO = 0,5
 Regra 14: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 1,0 MIN {0,7; 0,6; 0,5} -- MÉDIO = 0,5
 Regra 15: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,7; 0,6; 0,0} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 16: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,6 MIN {0,7; 0,0; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 17: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,9 MIN {0,7; 0,0; 0,5} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 18: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,7; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 19: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN {0,1; 0,8; 0,7} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 20: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,1; 0,8; 0,5} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 21: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO, GdCBAIXO} = 0,7 MIN {0,1; 0,8; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 22: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,1; 0,6; 0,7} -- MÉDIO = 0,1
 Regra 23: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,6 MIN {0,1; 0,6; 0,5} -- ALTO = 0,1
 Regra 24: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN {0,1; 0,6; 0,0} -- ALTO = 0,0
 Regra 25: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,7 MIN {0,1; 0,0; 0,7} -- MÉDIO = 0,0
 Regra 26: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN {0,1; 0,0; 0,5} -- ALTO = 0,0
 Regra 27: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN {0,1; 0,0; 0,0} -- ALTO = 0,0
 GdCIP = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO, GdCALTO}, FC27 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO, GdCBAIXO})
 GdCIP = { BAIXO = 0,4; MÉDIO = 0,5; ALTO = 0,1}

Tabela 3.11: Base de Regras do BI-12

REGRA	SE		ENTÃO	
	Emissões CO ₂ fumaça locomotiva	Emissões CO ₂ veículos	ITC	FC
1	ALTO	ALTO	ALTO	0,9
2	ALTO	MÉDIO	ALTO	0,8
3	ALTO	BAIXO	ALTO	1,0
4	MÉDIO	ALTO	ALTO	0,8
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,7
6	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	0,8
7	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,9
8	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	0,8
9	BAIXO	BAIXO	BAIXO	0,9

Regra 1: FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO} = 0,9 MIN { 0,0 ; 0,8 } -- ALTO = 0,0

Regra 2: FC1 MIN {GdCALTO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN { 0,0 ; 0,2 } -- ALTO = 0,0

Regra 3: FC1 MIN {GdCALTO, GdCBAIXO} = 1,0 MIN { 0,0 ; 0,0 } -- MÉDIO = 0,0

Regra 4: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCALTO} = 0,8 MIN { 0,7 ; 0,8 } -- ALTO = 0,6

Regra 5: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCMÉDIO} = 0,7 MIN { 0,7 ; 0,2 } -- MÉDIO = 0,1

Regra 6: FC1 MIN {GdCMÉDIO, GdCBAIXO} = 0,8 MIN { 0,7 ; 0,0 } -- BAIXO = 0,0

Regra 7: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCALTO} = 0,9 MIN { 0,3 ; 0,8 } -- MÉDIO = 0,3

Regra 8: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCMÉDIO} = 0,8 MIN { 0,3 ; 0,2 } -- MÉDIO = 0,2

Regra 9: FC1 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO} = 0,9 MIN { 0,3 ; 0,0 } -- BAIXO = 0,0

GdCITC = MAX (FC1 MIN {GdCALTO, GdCALTO} ..., FC9 MIN {GdCBAIXO, GdCBAIXO})

GdCITC = {BAIXO = 0,0; MÉDIO = 0,3 ; ALTO = 0,6}

Tabela 3.12: Base de Regras do BI-13

REGRA	SE		ENTÃO	
	IP	ITC	IGDA	FC
1	ALTO	ALTO	BAIXO	1,0
2	ALTO	MÉDIO	BAIXO	0,7
3	ALTO	BAIXO	BAIXO	0,8
4	MÉDIO	ALTO	BAIXO	0,7
5	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	0,9
6	MÉDIO	BAIXO	ALTO	0,7
7	BAIXO	ALTO	MÉDIO	0,8
8	BAIXO	MÉDIO	ALTO	0,6
9	BAIXO	BAIXO	ALTO	1,0

Regra 1: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,6\} \text{ -- BAIXO} = 0,1$

Regra 2: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCMÉDIO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,3\} \text{ -- BAIXO} = 0,1$

Regra 3: $FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCBAIXO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,1 ; 0,0\} \text{ -- BAIXO} = 0,0$

Regra 4: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCALTO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,5 ; 0,6\} \text{ -- BAIXO} = 0,4$

Regra 5: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCMÉDIO\} = 0,9 \text{ MIN } \{0,5 ; 0,3\} \text{ -- MÉDIO} = 0,3$

Regra 6: $FC1 \text{ MIN } \{GdCMÉDIO, GdCBAIXO\} = 0,7 \text{ MIN } \{0,5 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

Regra 7: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCALTO\} = 0,8 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,6\} \text{ -- MÉDIO} = 0,3$

Regra 8: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCMÉDIO\} = 0,6 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,3\} \text{ -- ALTO} = 0,2$

Regra 9: $FC1 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\} = 1,0 \text{ MIN } \{0,4 ; 0,0\} \text{ -- ALTO} = 0,0$

$GdCITC = \text{MAX} (FC1 \text{ MIN } \{GdCALTO, GdCALTO\} \text{}, FC9 \text{ MIN } \{GdCBAIXO, GdCBAIXO\})$

$GdCIGDA = \{BAIXO = 0,4; MÉDIO = 0,3 ; ALTO = 0,2\}$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANCHES, S., 2007, *Índice de Desempenho Ambiental*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. disponível http://www.atualleiloes.com/i_noticias_detalhes.asp?CodNoticia=500, capturado 2008.
- AETT. Anuário Estatístico de Transporte Terrestre. Mapas das Dutovias. Disponível http://www.antt.gov.br/aett/aett_2006/Mapas/MapaDutoviario.htm capturado 2008
- ALMEIDA, R. J., MELLO, S. C., CAVALCANTI, Y., 2002, *Gestão Ambiental: Planejamento, Avaliação, Implantação, Operação e Verificação*, Rio de Janeiro.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Transporte Aquaviário. Disponível www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/6-6Transporte.pdf
- ANA. Agência Nacional de Águas. Transporte Aquaviário. Situação atual. Disponível <http://www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/6-6Transporte.pdf> capturado 2008
- ANDRADE, S. M. M., 2004, *Metodologia para Avaliação de Impacto Ambiental Sonoro da Construção Civil no Meio Urbano*, Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ANDRIANTIATSAHOLINIAINA, L.A., KOUIKOGLLOU, V.S., PHILLIS, Y.A., 2004, “Evaluating strategies for sustainable development: fuzzy logic reasoning and sensitivity analysis”, *Ecological Economics*, 48 (2004), pp. 149–172.
- ANP. 2007, Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural.
- ARAÚJO, A. G., 2004, *Estimativa e Classificação da Compactação do Solo pelo Tráfego de Máquinas Agrícolas através da Modelagem Nebulosa*. Tese (Doutorado), POLI/USP, São Paulo, SP, Brasil.
- ANTF, Material Rodante, Locomotivas e Vagões. Disponível http://www.antfferovias.org.br/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=107 capturado 2009
- ANTT. 2007, Evolução recente do Transporte Ferroviário. Disponível www.antt.gov.br/concessaofer/EvolucaoFerroviaria20080707.pdf capturado 2008
- ANTT. 2007, Anuário Estatístico do Transporte Terrestre. Disponível http://www.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2008/principal.asp capturado 2008

- ANTT. 2003, Relatório Anual de acompanhamento das Concessões Ferroviárias. Disponível
<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2003/index.asp>
 capturado 2009
- ANTUNES, P., SANTOS, R., LOBO G., 2003, *Estudo sobre Sector Elétrico e Ambiente, 4º Relatório, Estratégias Ambientais das Empresas do Sector Elétrico*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, disponível
<http://www.erse.pt/files/SecP33.pdf>. capturado 2009
- BADANHAN, F. L., 2001, *Indicadores e padrões de qualidade ambiental na construção de dutovias para o transporte de gás natural*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas. São Paulo.
- BINAS, F., 2009, *Carga aérea vê exportação recuar enquanto logística interna avança*. Diário Comercio Industrial-DCI,. Disponível
http://www.dci.com.br/noticia.asp?id_editoria=9&id_noticia=272014. capturado 2009
- BOCLIN, A.S.C., MELLO, R., 2006, “A decision support method for environmental impact assessment using a fuzzy logic approach”, *Ecological Economics*, vol. 58, issue 1, pp 170-181
- BORRI, D., CONCILIO, G., CONTE, E., 1998, “A Fuzzy Approach for Modelling Knowledge in Environmental Systems Evaluation”, *Comput., Environ. and Urban Systems*, vol. 22, n. 3, pp 299-313.
- BRAGA, B., HESPANOL, I., LOTUFO, C. J. G. L., BARROS, M. T., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S., 2002, *Introdução à Engenharia Ambiental*, São Paulo.
- BRANDÃO, B. G., 1996, *Transporte e o Meio Ambiente no Brasil*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia- IME, Rio de Janeiro.
- BRASILEIRO, A., SANTOS, E. M., ARAGÃO, J. J. G., SENNA, M. J., NETO, O. M., ORRICO, D. R., 2001, *Transportes no Brasil: Historia e Reflexões*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes/GEIPOT. Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- BRINA, H. L., 1982, *Estradas de Ferro, Volume I e II*, Rio de Janeiro, LTC: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

- BRUNA, G. C., 2004, *Transporte e Meio Ambiente*, Curso de Gestão Ambiental. Coleção Ambiental 1. Universidade de São Paulo. Editora Manole. São Paulo.
- CALABREZI, S. R. S., A., 2005, *Multimodalidade para o Transporte de Cargas: Identificação de problemas em Terminais visando à Integração dos modais aéreo e Rodoviário*. Dissertação (Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. São Paulo.
- CALDEIRA, A. C., MACHADO, M.A.S., SOUZA, R. C., TANSCHKEIT, R. 2007, *Inteligência Computacional aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab*. Editora Thomson, São Paulo.
- CARVALHO, N. R. V., 2005, *Indicadores Ambientais para o Transporte com Foco na Qualidade do Ar*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro.
- CENTRAN. 2007, PNLT-Programa Nacional de Logística e Transporte. Relatório Executivo. Rio de Janeiro.
- CEPA. Disponível em <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/transportebrasil.htm> capturado 2008
- CETESB, Acidentes em São Paulo. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/aa_causas.asp, capturado 2008.
- CHANA, C.W., HUANG, G. H., 2003, Artificial intelligence for management and control of pollution minimization and mitigation processes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 16, 75–90.
- CNT. Boletim Estatístico. Movimentação 2007. disponível <http://www.cnt.org.br/>
- CNT/COPPEAD, 2002, *Transportes de Carga no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País*, disponível, http://www.cel.coppead.ufrj.br/pesq-trans/DIAGNOSTICO_e_PLANO_DE_ACAO.pdf capturado 2009
- Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Governo Federal. 2008. *PNMC- Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Brasília.
- Confederação Nacional de Transporte. CNT. 2006. Boletim Ambiental Despoluir
- CRUZ, I., RIBEIRO, S. K., SINAY, M. C. F., 2007, “Importância de um Índice Global para Avaliar o Desempenho Ambiental dos Sistemas de Transporte de Carga”. In:

- Safety, Health and Environmental World Congress, pp. 382-386, SHEWC, Santos, SP, Brasil, Julho.
- CRUZ, I., 2004, *Gestão Ambiental da Operação do Transporte Ferroviário de Carga*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- CUNHA, R. S., 2001, *Avaliação do Desempenho Ambiental de uma Indústria de Processamento de Alumínio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CURY, M. V. Q., 1999, *Modelo Heurístico Neuro -Fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- DINIZ, M., 2007, *Sistema de Gestão Ambiental para Obras Fluviais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- DIXON, B., 2005, "Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: a GIS-based sensitivity analysis", *Journal of Hydrology*, 309, pp. 17-38
- DNIT. PNV. Plano Nacional de Viação. 2006, disponível http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/rodoviasfederais/Apresentacao_PNV_v2006.pdf capturado 2008
- DRUMOND, M. A. B., 2008, *Uma contribuição ao estudo dos custos de Transporte Doméstico de Carga no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE.
- ECOLATINA, 2007, *Relatório do IPCC/ONU, Novos Cenários Climáticos*. Disponível www.ecolatina.com.br. capturado 2009
- ENEA, M., SALEMI, G., 2001, "Fuzzy approach to the environmental impact evaluation", *Ecological Modelling*, 135, pp. 131-147.
- ENVOLVERDE. 2008, *Sustentabilidade cai nas graças dos investidores*. Disponível http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/3748 capturado 2009
- ERCANOGLU, M., GOKCEOGLU, C., 2002, "Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach", *Environmental Geology*, 41, pp. 720-730.

- ERHART, S., PALMEIRA E. M., 2006, "Análise do Setor de Transportes" en Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 71. Texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/> capturado 2008
- FERREIRA, A. S., 2006, *Modelagem de Sistemas de Informação para os Transportes em Ambientes Logísticos Geo-Referenciados com o emprego da Lógica Fuzzy*. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- FERREIRA FILHO, A.S.; PORTUGAL, L.S.; NASSI, C.D., 2001, "Possibilidades de Aplicação da Lógica Fuzzy no Problema de Roteamento e Estacionamento de Veículos". In: XI CLATPU – Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, Havana, Cuba.
- FETRANSPOR disponível
http://www.fetranspor.com.br/revista25_historia_transporte.htm capturado 2008
- FIDALGO, E. C. C., 2003, *Crerios para a Análise de Métodos e Indicadores Ambientais usados na Etapa de Diagnóstico de Planejamentos Ambientais*. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.
- FILHO, P. C., 2004, *Método para Apoio à Decisão na Verificação da Sustentabilidade de uma Unidade de Conservação, usando Lógica Fuzzy*. Tese (Doutorado), UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.
- FILIPPO, S., 2008, *Metodologia para Gerenciamento do Passivo Ambiental de Rodovias utilizando Métodos de Apoio à Tomada de Decisão*. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE.
- FILIPPO, S., RIBEIRO, P. C. M., RIBEIRO, S. K., 2007, "A Fuzzy Multi-Criteria Model applied to the management of the environmental restoration of paved highways". *Transportation Research - Part D*, v. 12, n.6, pp. 423–436.
- FILIPPO, S.; RIBEIRO, S. K., 2005, *A Importância da Avaliação Ambiental Estratégica para redução dos Passivos Ambientais de Rodovias*. In: III Rio de Transportes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FILIPPO, S., 2000, *Subsídios para a Gestão Ambiental do Transporte Hidroviário interior no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- FLEURY, P. F., 2002, *Gestão Estratégica do Transporte*. Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>>. Acesso em 2007

- FOGLIATTI, M. C., 2005, Notas de Aula Curso MBE Logística. COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro.
- FOGLIATTI, M. C., FILIPPO, S., GOUDARD B., 2004, *Avaliação de Impactos Ambientais: Aplicação aos Sistemas de Transporte*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência.
- FRANCA, L. P., 2001, *Indicadores Ambientais Urbanos*. Disponível <http://www.sustentabilidade.org.br/downloads/Indicadores%20Urbanos.pdf>, capturado 11/2003.
- GEIPOT, 1992, *Diretrizes Ambientais para o Setor Transportes*, Convênio: DNER / Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Brasília.
- GOMES, M. L., MARCELINO, M. M., ESPADA, M. G., 2000, *Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*, Direção Geral do Ambiente, Direção de Serviços de Informação e Acreditação, Portugal, disponível, http://www.portal.economia.ufpr.br/desenvolvimento_economico/textos_desenvolvimento/sids.pdf, capturado 11/2003.
- GONZÁLEZ, B., ADENSO-DÍAZ, B., GONZÁLEZ-TORRE. P.L., 2002, A fuzzy logic approach for the impact assessment in LCA. *Resources, Conservation and Recycling* 37, 61–79.
- GOUDARD, B., 2001, *Avaliação Ambiental de alternativas de projetos de Transporte Rodoviário com o uso da Lógica Fuzzy*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro.
- GROVER, V. I., 2001, *Índices Ambientais: Uma Visão Geral*, Revista Iswa Times, EDIÇÃO Nº 3 - P. 04, disponível <http://www.abrelpe.com.br/iswa/iswa-0018.html>, capturado 11/2003
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2002, *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002*. (Série Estudos e Pesquisa. Informação Geográfica), Rio de Janeiro.
- INFRAERO. Disponível <http://www.infraero.gov.br/aero.php> capturado 2009
- JUANG, C. H., JHI, Y., LEE, D., 1998, “Stability analysis of existing slope considering uncertainty”, *Engineering Geology*, 49, pp. 111-122.
- LACERDA, S. M., 2004, *Evolução recente do Transporte Hidroviário de Cargas*. BNDES Setorial. Rio de Janeiro. Disponível em www.bndes.gov.br/. capturado 2008

- LAGE, J. T., 2003, *Níveis de Ruído no Interior de Trens Metropolitanos - Caso São Paulo*, 156 p., Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- LEONARDO, H. C. L., 2003, *Indicadores de Qualidade de Solo e Água para Avaliação do Uso Sustentável da Microbacia Hidrográfica do Rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná*, 121 p., Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- LOPES, S. S., CARDOSO, M. P., PICCININI, M. S., 2008, Revista do BNDES, *O Transporte Rodoviário de Carga e o papel do BNDES*. Rio de Janeiro, v. 14, n. 29, p. 35-60, jun.
- LOUREIRO, S. M., 2005, *Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos-IDS*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.
- LUZ, S. O. C., SELLITO, M. A., GOMES, L. P., 2006, *Medição de Desempenho Ambiental baseada em Método multicriterial, de apoio à decisão: Estudo de caso na Indústria Automotiva*. Revista Gestão & Produção, versão 13, número 3, disponível <http://www.scielo.br/pdf/gp/v13n3/15.pdf> capturado 2009
- MAGALHÃES, A. P., 2007, *Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos*. Editora Bertran Brasil, Rio de Janeiro.
- MAGRINI, A., 2001, *Política e Gestão Ambiental: conceitos e instrumentos*, Revista Brasileira, Junho.
- MCNEILL, D., FREIBERGER, P, 1994, *Fuzzy Logic*. 1 ed. New York, EUA, Touchstone and Colophon.
- MINISTERIO DOS TRANSPORTES, 2002, ***Política Ambiental do Ministério dos Transportes***, Brasília.
- MINISTÉRIO DA DEFESA, CENIPA, Estatísticas Aviação Geral, disponível em http://www.cenipa.aer.mil.br/estatisticas/aviacao_geral.pdf. capturado 2008
- MME. Ministério de Minas e Energia, 2008, *Resenha Energética Brasileira*. Exercício 2007. Brasília.
- MORAES, N. G., 2005, *Avaliação das tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes No Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

- MOREIRA, M. S., 2001, *Estratégia e Implantação do Sistema de Gestão Ambiental (Modelo ISO 14000)*. Editora de Desenvolvimento Gerencial - DG. Belo Horizonte.
- MURTA, A. L. S., 2003, *Subsídios para o desenvolvimento de estudos de impactos ambientais para Projetos de Transporte Dutoviário*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro.
- OECD, 1998, *Towards Sustainable Development – Environmental Indicators*. OECD.Publications, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económicos, Paris.
- OECD, 1993, *OECD Core Set os Indicators for Environmental Performance Reviews*. OECD Publications, Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económicos, Paris.
- OLIVEIRA, R. L. M., 2004, *Modelo Neuro-Fuzzy para Escolha Modal no Transporte de Cargas*, Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- ORTEGA, N. R. S., 2001, *Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina*. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, Instituto de Física. São Paulo.
- ÖZESMI, U., ÖZESMI, S.L., 2004, Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling* 176, 43–64.
- PAES, G. K. A. A., 2006, *Sustentabilidade Ambiental dos Sistemas de Transportes Públicos em Centros Urbanos*. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- PAIVA, K., 2004, *Subsídios para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental para Operação de Rodovias*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- PEDRO, F. G., 2006, *Acidentes com Transporte Rodoviário de produtos perigosos: Análise e aplicação de modelo conceitual georreferenciado para avaliação de risco ambiental no Município de Campinas-SP*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. São Paulo.
- PEREIRA, A. P. O., 2000, *Subsídios para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Ferrovias*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.

- PIMENTEL, A. L. G., 1999, *Uma contribuição ao Estudo da Intermodalidade no Transporte de Carga no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE.
- PUC-Rio. Transporte de Carga no Brasil. Certificação Digital N° 0321305/CA
- PUC-RIO. Transporte Dutoviário. Certificação Digital 0311068/CA
- RIBEIRO, N., 2005, *Indicadores ambientais para o transporte com foco na qualidade do Ar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE.
- RIBEIRO, P. C. C., Ferreira, K. A. 2002, *Logística e Transportes: Uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama Brasileiro*. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba.
- RIBEIRO, S. K., COSTA, C. V., DAVID, E. G., REAL, M. V., D’AGOSTO, M. A., 2000, *Transporte e Mudanças Climáticas*. MAUAD Editora Ltda. Rio de Janeiro.
- RIBEIRO, S. K., ARAÚJO, A. M., SCATOLINI, F., FERNANDES, M. T. G., REIS, N. R., 2003, *Transporte Mais Limpo*. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- REIS, M. M., 2004, *Ecoeficiência na utilização dos Recursos Hídricos em Aeroportos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro.
- REZNIK L., 1997, *Fuzzy Controllers*. Newnes, Reino Unido.
- SADIQ, R., HUSAIN, T., 2005, “A Fuzzy-based Methodology for an Aggregative Environmental Risk Assessment: a Case Study of Drilling Waste”, *Environmental Modelling & Software*, 20, pp. 33-46.
- SALGADO, V. G., 2004, *Proposta de Indicadores de Ecoeficiência para o Transporte de Gás Natural*, Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SANTOS, R. J. S., 2004, *Seleção de indicadores da qualidade do transporte público urbano de passageiros por ônibus*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- SHAW, I. S., SIMÕES, M. G., 2001, *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2 ed. São Paulo.
- SHAW, S. I., SIMÕES, M. G., 1999, *Controle e Modelagem Fuzzy*, Editora Edgard Blucher LTDA, FAPESP.
- SILVA, H. V. O., 2008, *O uso de Indicadores Ambientais para aumentar a efetividade da Gestão Ambiental Municipal*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

- SILVA, P. J., 2004, *Estrutura para Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais em Obras Hidroviárias*. Tese (Doutor em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SILVA, M. A. B., 2005, *Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas*. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SILVERT W., 2000, “Fuzzy indices of environmental conditions”, *Ecological Modelling*, 130, pp. 111–119.
- SIMÕES, A. F., 2003, *Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação*. Tese (Ciências em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. Rio de Janeiro.
- SINAY, M. C. F., 1997, ***Terminais de Carga***, Apostila, Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- SOUZA, H. H. H., 2001, *Avaliação do Desempenho de Sistemas de Transporte Público Urbano sob a ótica da eficácia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro.
- SUCENA, M. P., 2007, *Modelo fuzzy para subsidiar a alocação de recursos financeiros em sistemas de transportes sobre trilhos*. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – PET – COPPE.
- TATIBANA, C. Y. & KAETSU, D. Y. *Uma introdução às redes neurais*. Departamento de informática. Universidade Estadual de Maringá, PR. Disponível em: <http://www.din.uem.br/ia/neurais>. capturado 2008
- URICCHIO, V. F., GIORDANO, R., LOPEZ, N., 2004, A fuzzy knowledge-based decision support system for groundwater pollution risk evaluation. *Journal of Environmental Management* 73, 189–197.
- VALLE, C. E., 2000, *Como se preparar para as normas ISO 14000: qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente*, São Paulo.
- VON ALTROCK, C., KRAUSE, B., 1994, “Multi-criteria Decision Making in German Automotive Industry Using Fuzzy Logic”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 63, pp. 375-380.
- YEN J. & LANGARI R., 1999, *Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Information*. Prentice Hall, EUA.
- ZADEH, L. A., 1965, “Fuzzy Sets”, *Inform and Control*, vol. 8, pp. 338-353