

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
E DE COMPUTAÇÃO

*Sistema Especialista Nebuloso para  
Avaliação de Qualidade de Água na  
Bacia do Rio Meia Ponte*

Vinícius Sebba Patto

Orientador: Prof. Dr. Gélson da Cruz Júnior

Goiânia

2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

©Copyright 2005  
Vinícius Sebba Patto

VINÍCIUS SEBBA PATTO

*Sistema Especialista Nebuloso para  
Avaliação de Qualidade de Água na  
Bacia do Rio Meia Ponte*

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

**Área de Concentração:** Engenharia de Computação

**Orientador:** Prof. Dr. Gélson da Cruz Júnior

Goiânia

2005

Universidade Federal de Goiás  
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica e de Computação - CPPEEC

# FOLHA DE APROVAÇÃO

”Sistema Especialista Nebuloso para  
Avaliação da Qualidade de Água na Bacia do  
Rio Meia Ponte”

**VINÍCIUS SEBBA PATTO**

Dissertação defendida e avaliada pela banca examinadora constituída pelos senhores:

---

Prof. Dr. Gélson da Cruz Júnior, Orientador - EEEEC/UFG

---

Prof. Dr. Luis Maurício Bini - ICB/UFG

---

Prof. PhD. Marco Antonio Assfalk de Oliveira - EEEEC/UFG

Goiânia, 18 de maio de 2005

# *Dedicatória*

Aos meus adoráveis pais - Ivan Oliveira Patto e Maria do Rosário Sebba Patto, que sempre me apoiaram e incentivaram nos estudos e na busca da realização dos meus sonhos. São os maiores e melhores exemplos que tive na vida. Sempre procuraram fazer dos filhos homens de bem.

Ao meu irmão, Ivan Oliveira Patto Júnior, o primeiro amigo e companheiro, presente em todas as etapas de minha vida.

À minha querida namorada - Sarah Caroline Rocha de Carvalho, carinhosa, companheira e compreensiva.

# *Agradecimentos*

A Deus, pela oportunidade desta vida maravilhosa.

Ao Prof. Dr. Gélson da Cruz Júnior, orientador deste trabalho, pela dedicação e apoio durante estes anos de pesquisas e estudos.

Ao Prof. Ph.D. Marco Antonio Assfalk de Oliveira, pela atenção e apoio sempre dados, bem como pelos esclarecedores e produtivos momentos de debates e conversas.

Ao Prof. Dr. Luis Maurício Bini, especialista consultado para a formação da base de conhecimento do sistema especialista desenvolvido, pela paciência, dedicação e apoio dado neste trabalho.

À Bióloga Maura Francisca da Silva, Supervisora Operacional da ETE Goiânia, especialista consultada para a produção da base de conhecimento do sistema desenvolvido, pela paciência e apoio dado ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Cássio Dener Noronha Vinhal, pela atenção dada, antes e durante o curso de mestrado, bem como pelos esclarecedores e produtivos momentos.

Aos professores e colegas de mestrado, pelo proveitoso convívio e pelas suas importantes colaborações.

Ao CNPQ, pela ajuda financeira a este trabalho, materializada através de bolsa de estudos.

*"Haverá um dia em que a coragem do homem falhará, em que falharemos com os nossos amigos, traindo-lhes a sua devoção. Mas esse dia não é hoje. Um dia de lobos, em que espadas cairão e escudos quebrarão e os homens perderão essa Terra que lhes pertence. Mas esse dia não é hoje. Hoje nós lutamos. Lutamos por tudo que nos é querido, por esta Terra valiosa que nós temos."*

***Aragorn em Senhor dos Anéis, de J. R. R. Tolkien***



# *Resumo*

Este trabalho é referente a uma pesquisa para avaliação da qualidade de água mediante conceitos lingüísticos. São propostos três índices de qualidade de água, que são obtidos de acordo com o uso desta: ingestão sem tratamento, preservação da biota aquática e tratamento de água. O sistema utiliza lógica nebulosa para fazer a inferência sobre os parâmetros analisados e obter os índices. Os processos de racionabilidade verificados neste estudo foram implementados pela combinação de três métodos de composição (máximo dos mínimos, máximo dos máximos e soma limitada) com quatro métodos de *defuzzificação* (média ponderada, média dos máximos, primeiro dos máximos e último dos máximos). Pela análise dos resultados, constata-se que através da utilização dos índices obtidos pelo sistema, consegue-se avaliar mais adequadamente a qualidade de água do que através de modelos matemáticos obtidos pela variação daquele adotado pela CETESB, a partir de 1975, para a obtenção do índice de qualidade de água.

# *Abstract*

This work refers to a water quality assessment research by means of linguistic concepts. Three indices of water quality are proposed, and they are gotten accordingly to the usage of that: ingestion without treatment, aquatic biota preservation and water treatment. The system makes usage of fuzzy logic in order to make the inference about the analysed parameters and get the indices. The reasoning processes verified on this research were implemented by the combination of three composition methods (max-min, max-max and limited sum) with four defuzzification methods (weighted mean, mean of maximum, first of maximum and last of maximum). In agreement with the analysis results, it is evidenced that by the utilization of the system indices, the water quality can be more adequately evaluated then by the use of mathematical models gotten by the variation of that used by CETESB, after 1975, to obtain the water quality index.

# *Sumário*

**Lista de abreviaturas e siglas**

**Lista de símbolos**

**Lista de Figuras**

**Lista de Tabelas**

<b>Introdução</b>	p. 19
<b>1 Contexto</b>	p. 22
<b>2 Desenvolvimento Sustentável</b>	p. 25
2.1 Estratégia de Desenvolvimento Sustentável . . . . .	p. 26
2.2 Benefícios de Estratégias de Desenvolvimento Sustentável . . . . .	p. 27
2.3 Necessidade de Criar Novas Estratégias . . . . .	p. 28
2.4 Necessidade de Envolver Colaboradores . . . . .	p. 28
2.5 Alguns Desafios na Busca da Sustentabilidade na Bacia do Rio Meia Ponte	p. 29
<b>3 Indicadores Pesquisados para a Avaliação de Sustentabilidade na Bacia do Rio Meia Ponte</b>	p. 31
3.1 Concentração de Poluentes no Ar em Áreas Urbanas . . . . .	p. 32
3.2 Vazão . . . . .	p. 34
3.3 Concentração de Poluentes na Água . . . . .	p. 35
3.4 Tratamento de Esgoto . . . . .	p. 37

3.5	Uso de Fertilizantes . . . . .	p. 38
3.6	Uso de Agrotóxicos . . . . .	p. 39
3.7	Terras Adequadamente Manejadas . . . . .	p. 40
3.8	Queimadas e Incêndios Florestais . . . . .	p. 42
3.9	Áreas Remanescentes e Desflorestamento . . . . .	p. 43
3.10	Áreas Protegidas . . . . .	p. 44
3.11	Espécies Extintas e Ameaçadas de Extinção . . . . .	p. 44
3.12	Acesso ao Sistema de Abastecimento de Água . . . . .	p. 45
3.13	Acesso à Rede de Esgoto Sanitário . . . . .	p. 46
3.14	Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo Doméstico . . . . .	p. 47
3.15	Destinação Final do Lixo . . . . .	p. 47
3.16	Reciclagem . . . . .	p. 48
3.17	Crescimento da População . . . . .	p. 49
3.18	Concentração de Renda . . . . .	p. 50
3.19	Prevalência de Desnutrição Total . . . . .	p. 51
3.20	Mortalidade Infantil . . . . .	p. 51
3.21	Imunização Contra Doenças Infecciosas Infantis . . . . .	p. 53
3.22	Mortalidade Materna . . . . .	p. 54
3.23	Escolaridade . . . . .	p. 55
3.24	Escolarização . . . . .	p. 56
3.25	Alfabetização . . . . .	p. 56
3.26	Analfabetismo Funcional . . . . .	p. 57
3.27	Coeficiente de Mortalidade por Homicídio . . . . .	p. 58
3.28	Terras Aráveis . . . . .	p. 58
3.29	PIB <i>Per Capita</i> . . . . .	p. 59
3.30	Investimento no Município . . . . .	p. 60

3.31	Balança Comercial . . . . .	p. 60
3.32	Grau de Endividamento . . . . .	p. 61
3.33	Consumo de Energia <i>Per Capita</i> . . . . .	p. 62
3.34	Intensidade Energética . . . . .	p. 62
3.35	Participação de Fontes Renováveis na Oferta de Energia . . . . .	p. 63
3.36	Índice de Desemprego . . . . .	p. 64
3.37	Considerações Acerca do Uso dos Indicadores . . . . .	p. 65
3.38	Refinamento da Pesquisa . . . . .	p. 68
<b>4</b>	<b>Sistemas Especialistas</b>	p. 72
4.1	Conceitos Básicos . . . . .	p. 72
4.1.1	Inferência . . . . .	p. 74
4.1.2	Áreas de Atuação dos Sistemas Especialistas . . . . .	p. 76
4.1.3	Vantagens e Desvantagens em Adquirir um Sistema Especialista . . . . .	p. 77
4.1.4	Tipos de Sistemas Especialistas . . . . .	p. 80
4.2	Sistemas Nebuloso Baseado em Regras . . . . .	p. 81
4.2.1	Composição e Decomposição de Regras . . . . .	p. 82
4.2.1.1	Antecedentes Disjuntivos Múltiplos . . . . .	p. 83
4.2.1.2	Antecedentes Conjuntivos Múltiplos . . . . .	p. 83
4.2.1.3	Regras Aninhadas . . . . .	p. 84
4.2.1.4	Sentenças Condicionais com SENÃO e A MENOS QUE . . . . .	p. 84
<b>5</b>	<b>Sistema Especialista Nebuloso para Avaliação de Qualidade de Água</b>	p. 86
5.1	Índices de Qualidade da Água . . . . .	p. 87
5.1.1	Ingestão da Água . . . . .	p. 87
5.1.2	Tratamento de Água . . . . .	p. 88
5.1.3	Proteção da Biota . . . . .	p. 88

5.2	Variáveis Utilizadas pelo Sistema . . . . .	p. 89
5.2.1	Percentagem de Saturação de Oxigênio . . . . .	p. 89
5.2.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio . . . . .	p. 90
5.2.3	Turbidez . . . . .	p. 90
5.2.4	Potencial Hidrogeniônico . . . . .	p. 91
5.2.5	Coliforme Fecal . . . . .	p. 91
5.2.6	Fósforo Total . . . . .	p. 92
5.3	Curvas de Pertinência . . . . .	p. 92
5.4	Regras do Sistema . . . . .	p. 96
5.4.1	Regras para Classificação de Água para Tratamento . . . . .	p. 96
5.4.2	Regras para Classificação de Água para Ingestão . . . . .	p. 97
5.4.3	Regras para Classificação de Água para Preservação da Biota . . . . .	p. 97
5.5	Métodos de Composição e de <i>Defuzzificação</i> . . . . .	p. 98
<b>6</b>	<b>Resultados Obtidos</b> . . . . .	p. 99
6.1	Estudo de Caso . . . . .	p. 100
6.1.1	Estudo de Caso 1 . . . . .	p. 101
6.1.2	Estudo de Caso 2 . . . . .	p. 103
6.1.3	Estudo de Caso 3 . . . . .	p. 105
6.1.4	Estudo de Caso 4 . . . . .	p. 107
<b>7</b>	<b>Conclusões</b> . . . . .	p. 109
7.1	Aspectos Positivos da Ferramenta . . . . .	p. 109
7.2	Aspectos Negativos da Ferramenta . . . . .	p. 110
7.3	Trabalhos Futuros . . . . .	p. 111
	<b>Referências</b> . . . . .	p. 113

<b>Apêndice A – Lógica Nebulosa</b>	p. 116
A.1 Conceitos Básicos . . . . .	p. 117
A.2 Conjuntos Nebulosos e Pertinências . . . . .	p. 122
A.3 Características de Funções de Pertinência . . . . .	p. 124
A.4 Operações em Conjuntos Nebulosos . . . . .	p. 127
A.5 Raciocínio Nebuloso . . . . .	p. 132
A.5.1 Proposições Nebulosas . . . . .	p. 133
A.5.1.1 Proposições Condicionais . . . . .	p. 133
A.5.1.2 Proposições Incondicionais . . . . .	p. 134
A.5.1.3 Ordem de Execução de Proposições . . . . .	p. 134
A.5.2 Regras de Inferência Nebulosa . . . . .	p. 135
A.5.2.1 Regra de Composição Nebulosa do Máximo dos Mínimos	p. 135
A.5.2.2 Regra de Composição Nebulosa da Adição . . . . .	p. 137
A.5.3 Métodos de <i>Defuzzificação</i> . . . . .	p. 138
 <b>Anexo A – Dados Utilizados pelo Sistema</b>	 p. 144
A.1 Dados do Ponto 1 . . . . .	p. 145
A.2 Dados do Ponto 2 . . . . .	p. 146
A.3 Dados do Ponto 3 . . . . .	p. 147
A.4 Dados do Ponto 4 . . . . .	p. 148

# *Lista de abreviaturas e siglas*

BCG	Bacilo de Calmette e Guerin
BID	Banco de Desenvolvimento Internacional
BID	Banco Internacional de Desenvolvimento
CF	Coliforme Fecal
CID-10	Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DATA-SUS	Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	“Food and Agriculture Organization” (Organização de Agricultura e Alimentos)
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GIS	Geographic Information System
HIV	“Human Immunodeficiency Virus”(Vírus da Imunodeficiência Humana)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IQA	Índice de Qualidade de Água
IUCN	“International Union for Conservation of Nature and Natural Resources” (União Internacional para Conservação da Natureza e Recursos Naturais)
NTU	“Nephelometric Turbidity Units” (Unidades Nefelométricas de Turbidez)
OECD	“Organisation for Economic Co-operation and Development” (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos)
OMS	Organização Mundial de Saúde



ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Polietileno Tereftalato
PIB	Produto Interno Bruto
PT	Fósforo Total
TURB	Turbidez
UFG	Universidade Federal de Goiás
UNDP	“United Nations Development Programme” (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)
UNEP	“United Nations Environmental Programme” (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
UNESCO	“United Nations Educacional, Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)
UNFPA	“United Nations Population Fund” (Fundo de População das Nações Unidas)
WCMC	“World Conservation Monitoring Centre” (Centro de Monitoramento da Conservação Mundial)
WWF	“World Wildlife Fund” (Fundo Mundial para a Vida Selvagem)

# *Lista de símbolos*

$\%SO$	Porcentagem de Saturação de Oxigênio
$\lambda$	Restrição de domínio para um conjunto nebuloso
$\mu_C(x)$	Grau de pertinência da variável $x$ no conjunto nebuloso $C$
$\bar{A}$	Complemento do conjunto $A$
$\bar{x}$	Valor médio de $x$
$A/I$	Altura para Idade
$CO_2$	Gás carbônico
$mg/l$	miligrama por litro
$P/A$	Peso para Altura
$P/I$	Peso para Idade
$x^*$	Valor defuzzificado de $x$

# *Lista de Figuras*

1	Mapa hidrográfico da bacia do rio Meia Ponte (figura cedida pelo Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte). . . . .	p. 23
2	Grau de importância de indicadores em diferentes aspectos. . . . .	p. 32
3	Curvas de Pertinência para pH. . . . .	p. 93
4	Curvas de Pertinência para Percentagem de Saturação de Oxigênio. . . . .	p. 93
5	Curvas de Pertinência para Demanda Bioquímica de Oxigênio. . . . .	p. 94
6	Curvas de Pertinência para Turbidez. . . . .	p. 94
7	Curvas de Pertinência para Fósforo Total. . . . .	p. 95
8	Curvas de Pertinência para Coliformes Fecais. . . . .	p. 95
9	Curvas de Pertinência para Saída das Regras de IQA . . . . .	p. 96
10	Regiões de atuação de modelos: Complexidade do Sistema <i>Versus</i> Precisão do Modelo. . . . .	p. 116
11	Curva de pertinência do conjunto nebuloso PÉSSIMA. . . . .	p. 118
12	Conjunto nebuloso DEVASTADA. . . . .	p. 119
13	Conjunto nebuloso NÃO DEVASTADA. . . . .	p. 119
14	Conjunto nebuloso POUCO NÃO DEVASTADA. . . . .	p. 120
15	Conjunto nebuloso POUCO DEVASTADA. . . . .	p. 120
16	Conjunto nebuloso NÃO POUCO DEVASTADA. . . . .	p. 120
17	Modelo de um sistema nebuloso. . . . .	p. 121
18	Conjunto clássico das notas boas do teste de português. . . . .	p. 122
19	Conjunto nebuloso das notas boas do teste de português. . . . .	p. 123
20	Núcleo, suporte e fronteiras de um conjunto nebuloso. . . . .	p. 125

21	Conjunto determinado por <i>lambda-cut</i> . . . . .	p. 126
22	Gráfico do conjunto A. . . . .	p. 127
23	Gráfico do conjunto B. . . . .	p. 127
24	Gráfico da união de A com B. . . . .	p. 128
25	Gráfico do conjunto A. . . . .	p. 128
26	Gráfico do conjunto B. . . . .	p. 128
27	Gráfico da intersecção de A com B. . . . .	p. 129
28	Gráfico do conjunto A. . . . .	p. 129
29	Gráfico do complemento de A. . . . .	p. 130
30	Gráfico do conjunto A. . . . .	p. 130
31	Gráfico do complemento de A. . . . .	p. 131
32	Gráfico da intersecção de A com $\bar{A}$ . . . . .	p. 131
33	Gráfico da união de A com $\bar{A}$ . . . . .	p. 131
34	Gráfico de duas saídas de duas regras nebulosas. . . . .	p. 136
35	Gráfico da composição máximo dos mínimos. . . . .	p. 136
36	Gráfico de duas saídas de duas regras nebulosas. . . . .	p. 137
37	Gráfico da composição nebulosa de adição. . . . .	p. 138
38	Método da Pertinência Máxima. . . . .	p. 139
39	Método do Centróide. . . . .	p. 140
40	Método da Média Ponderada. . . . .	p. 140
41	Método da Pertinência Média dos Máximos. . . . .	p. 141
42	Método da Média Ponderada dos Centróides. . . . .	p. 141
43	Método do Centro de Maior Área. . . . .	p. 142
44	Método do Primeiro dos Máximos. . . . .	p. 143

# *Lista de Tabelas*

2	Classificação de Água pelo IQA. . . . .	p. 35
3	Indisponibilidade de Dados para Indicadores. . . . .	p. 66
4	Dados Disponíveis não Aproveitáveis. . . . .	p. 67
5	Dados Disponíveis. . . . .	p. 67
6	Disponibilidade de Dados Ambientais. . . . .	p. 69
7	Disponibilidade de Dados ao Longo dos Anos. . . . .	p. 69
8	Encadeamentos para Inferência . . . . .	p. 75
9	Forma canônica para sistema nebuloso baseado em regras. . . . .	p. 83
10	Pontos de Amostragem de Água Estudados. . . . .	p. 100
11	Índice de Qualidade da Água para o Ponto 1. . . . .	p. 102
12	Índice de Qualidade da Água para o Ponto 2. . . . .	p. 104
13	Índice de Qualidade da Água para o Ponto 3. . . . .	p. 106
14	Índice de Qualidade da Água para o Ponto 4. . . . .	p. 108
15	Dados utilizados para o Estudo de Caso 1, Ponto 1. . . . .	p. 145
16	Dados utilizados para o Estudo de Caso 2, Ponto 2. . . . .	p. 146
17	Dados utilizados para o Estudo de Caso 3, Ponto 3. . . . .	p. 147
18	Dados utilizados para o Estudo de Caso 4, Ponto 4. . . . .	p. 148

# *Introdução*

As questões ambientais têm sido discutidas pelas autoridades, pelas empresas e pela comunidade em geral, especialmente nas últimas décadas. Nos anos 80, a constatação da redução da camada de ozônio foi um dos fatores que propiciaram essas discussões. No Brasil, estas aumentaram principalmente após o risco de queda de fornecimento de energia elétrica. Especialistas no setor vêm concentrando esforços na busca de soluções para os diversos tipos de problemas ambientais. Nesse sentido, aumenta-se a necessidade de mecanismos técnico-científicos capazes de converter dados em informações confiáveis. Tal necessidade tem guiado as pesquisas para o desenvolvimento de ferramentas que promovam o aprendizado, dando suporte à decisão e providenciando, assim, conhecimentos indispensáveis para a resolução de problemas ambientais mais amplos ou mais profundos, haja vista que a degradação ambiental acontece de forma rápida e brusca, enquanto a regeneração se dá de forma morosa.

As idéias e metodologias para desenvolver um melhor gerenciamento do meio ambiente têm crescido em número, no entanto, a sua aplicabilidade não tem ocorrido como desejado. As pesquisas desenvolvidas, em sua maioria, servem mais às comunidades científicas do que à comunidade em geral. O conhecimento se volta sobre si mesmo, em vez de se converter em ferramentas ou *frameworks* de trabalho e pesquisa, a fim de promover o bem estar social e o desenvolvimento científico.

Por meio de sistemas computacionais, é possível implementar certos conceitos e providenciar formas mais sistemáticas para a avaliação do meio ambiente, da sustentabilidade, entre outros aspectos. Determinados sistemas de análise de gerenciamento ambiental e de sustentabilidade já se encontram disponíveis para a Administração Pública e para as entidades privadas, por exemplo: BASINS (Better Assessment Science Integrating Pointing & Nonpointing Sources), EASY (Environmental Analysis System), GMBIS (Gulf of Maine Biogeographical Information System) etc. Muitos se encontram em processo contínuo de desenvolvimento. Geralmente, eles não devem ser padronizados, pois as particularidades dos países, regiões e municípios são consideradas no momento da escolha de indicadores para a averiguação dos mais relevantes aspectos socioeconômicos e ambientais.

Neste trabalho, alguns indicadores foram inicialmente investigados, inclusive junto a órgãos responsáveis por pesquisas primárias e suas publicações, com o intuito de desenvolver um sistema especialista que fosse capaz de providenciar uma análise de desenvolvimento sustentável para os municípios da bacia do rio Meia Ponte. Entretanto, para alguns índices não havia séries históricas. Os indicadores foram considerados de acordo com enfoques práticos e relevantes, já que representam aspectos ou ambientais, ou sociais, ou econômicos, ou mais de um deles concomitantemente. Embora a maioria dos indicadores seja de caráter quantitativo, alguns também representam aspectos qualitativos.

Concluída a primeira fase do trabalho, em que foram feitas pesquisas e entrevistas com especialistas de diversas áreas, foi constatado um alto grau de dificuldade de se elaborar uma ferramenta computacional que seguisse a idéia inicial proposta. Conseqüentemente, foram analisadas outras propostas de trabalho e definida qual delas poderia ser melhor desenvolvida e modelada.

Em face disso, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de viabilizar o conhecimento sobre a qualidade da água da bacia do rio Meia Ponte para os interessados sem conhecimento técnico. Este sistema disponibiliza índices de avaliação da qualidade da água, considerando três tipos de uso de água: consumo (sem tratamento), proteção da biota (que visa garantir as melhores condições para a flora e para a fauna aquática) e tratamento (que considera a dificuldade e o custo de tratamento da mesma). Nesse sentido, destacam-se duas principais funções: comunicação e suporte à decisão. Aquela busca basicamente o fornecimento de informações e esta, os alertas aos usuários sobre os aspectos operacionais considerados relevantes às decisões estratégicas.

Para tanto, ao se considerar limites temporais e espaciais, o método de construção do software visa contemplar algumas informações que conduzam a uma série de processos convenientes. No que diz respeito às análises, os resultados brutos são, por si próprios, insuficientes, e exigem referências e comparações.

De modo a preservar a harmonização e a padronização dos resultados, os usuários, em geral, não devem ter acesso irrestrito à base de dados dessa ferramenta. O uso de uma base de dados idônea e coerente é fator crucial para se conseguir acompanhar a linha de trabalho proposta aqui.

Sabe-se que método algum usado na construção de um software cobrirá, completamente, o meio ambiente como ele, de fato, deve ser considerado e nem as questões ligadas ao desenvolvimento sustentável. Nenhum software é capaz de tomar decisões e alcançar a resposta verdadeira. Ainda assim, essa aplicação é proposta como um guia à gerência

e como um provedor de informações concisas, dentro de seu respectivo domínio, considerando que facilita a manipulação dos dados e busca maior harmonização entre os conceitos de qualidade de água. Neste estudo, a cooperação e a complementação, entre outras situações, sugerem o que há de melhor para a solução de problemas de classificação de qualidade de água.

Algumas características da bacia do rio Meia Ponte e algumas informações importantes para a gestão ambiental desta bacia são apresentadas no capítulo 1. Em seguida, no capítulo 2, são descritos alguns aspectos de desenvolvimento sustentável: estratégias de desenvolvimento sustentável, benefícios das estratégias, necessidades de criar novas estratégias, necessidade de envolver colaboradores e alguns desafios na busca da sustentabilidade na bacia. Posteriormente, no capítulo 3, são apresentados os trinta e seis indicadores de desenvolvimento sustentável pesquisados e algumas observações acerca da disponibilidade de dados para trabalhos e para o desenvolvimento de um possível sistema. As informações mais relevantes sobre sistemas especialistas são descritas no capítulo 4, que trata também a possibilidade de desenvolvimento de um sistema especialista com a lógica nebulosa. O modelo para representar um sistema de avaliação de qualidade de água na bacia do rio Meia Ponte é exposto no capítulo 5, que traz, ainda, algumas características específicas do programa desenvolvido. Os resultados encontrados são apresentados no capítulo 6. No capítulo 7 são descritas as conclusões obtidas, baseadas nos resultados, e algumas propostas para possíveis trabalhos futuros. Detalhes sobre lógica nebulosa são encontrados no apêndice A. Os dados utilizados nos estudos de caso encontram-se no anexo A.



# 1 *Contexto*

O rio Meia Ponte, o maior manancial que percorre o Centro-Sul de Goiás, nasce próximo à divisa dos municípios de Taquaral e Itauçu e percorre aproximadamente 472 quilômetros até desaguar no Paranaíba, abaixo da Cachoeira Dourada, na divisa com Minas Gerais. O rio dá nome à mais importante bacia hidrográfica de Goiás e ocupa uma área de 12.180 km<sup>2</sup> do território goiano. Isso equivale a 3,57% da área total do estado. Ao longo de seu percurso, agrupam-se algumas das maiores cidades goianas, como: Goiânia, Aparecida de Goiânia e Anápolis. Aproximadamente, 2,2 milhões de pessoas (cerca de 47,5% da população goiana<sup>1</sup>) se valem do rio, de seus afluentes e de seus córregos tributários. Os recursos do rio também são explorados por grandes indústrias e projetos agropecuários.

Como afluentes do rio Meia Ponte, destacam-se o ribeirão João Leite e os rios Caldas e Dourados. A bacia ainda conta com aproximadamente 13% de sua vegetação nativa. Verifica-se cerca de 250 indústrias instaladas em seus arredores. Estima-se que 183 mil metros cúbicos de esgoto doméstico são despejados diariamente no rio Meia Ponte. As águas do rio servem à irrigação de lavouras (84%), ao abastecimento humano (9%) e ao lazer, à geração de energia e às atividades industriais e animais (7%).<sup>2</sup>

A bacia é composta de 38 municípios. Sem qualquer tipo de planejamento sustentável, as atividades agropecuárias se expandiram na região e hoje ocupam as terras mais férteis. Pequenos trechos de vegetação nativa foram poupados somente nos terrenos acidentados e distantes do rio.

---

<sup>1</sup>Conforme Censo Demográfico de 2000 realizado pelo IBGE

<sup>2</sup>Dados disponíveis no site do Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte. Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.meiaponte.org/bacia.htm>>. Acessado em março de 2003.



Figura 1: Mapa hidrográfico da bacia do rio Meia Ponte (figura cedida pelo Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte).

A poluição não é o único problema que afeta o rio Meia Ponte. A degradação das matas ciliares, a utilização não-racional da água em projetos industriais e agropecuários, o assoreamento e a contaminação por insumos agrícolas também contribuem para a configuração preocupante do cenário atual.

Da nascente do rio até Goiânia, as atividades de pecuária e agricultura são bastante desenvolvidas. O cerrado dá lugar às pastagens, sendo o limite das matas ciliares desrespeitado. A ausência dessas, às margens do rio, faz com que os mananciais fiquem expostos à degradação e sujeitos a receber os defensivos agrícolas escoados pela chuva.

No município de Inhumas, observa-se o aumento de indústrias, entre elas, frigoríficos, curtumes, destilarias de álcool e laticínios que poluem diretamente o rio e os córregos afluentes. Na Capital, o crescimento demográfico não planejado precipitou o desmatamento das matas ciliares. Surgiram as invasões de fundos de vale,<sup>3</sup> estabelecendo aproximação equivocada entre homem e água. Assim, apareceram esgotos clandestinos, erosões, ocor-

<sup>3</sup>Fundo de Vale é uma área protegida por legislação ambiental, em que é proibida a construção de qualquer tipo de edificação, fazendo parte da área de alagamento.

rendo despejo de lixo e, conseqüentemente, o assoreamento do leito. O curso de água, então, adquire a maior parte de seus efluentes. Ainda em Goiânia, depara-se com a péssima situação dos córregos Botafogo, Capim Puba, Cascavel e Macambira, que lançam suas águas no ribeirão Anicuns que, por sua vez, lança suas águas no rio Meia Ponte.

Em razão desse processo de degradação, a flora aquática tem alterado a sua composição. As algas alteram o ecossistema, devido à sua concentração. A turbidez é alta graças ao lodo escuro, formado a partir do esgoto, responsável também pelo mau cheiro. A situação é tão grave que, mesmo fora de Goiânia, segundo o Comitê da Bacia do Rio Meia Ponte,<sup>4</sup> cerca de 100 quilômetros a jusante, o nível de oxigênio dissolvido permanece ainda muito baixo.

Amostras colhidas próximo às nascentes são classificadas normalmente como *boa* e como *aceitável*<sup>5</sup> (mais detalhes sobre qualidade de água na seção 3.3, página 35). A poucos quilômetros dali, as águas começam a apresentar elementos poluentes, como o ferro. Em Goiânia, os parâmetros são criticamente alterados em fosfato, condutividade elétrica, demanda química e bioquímica de oxigênio. Do ponto de vista bacteriológico, a situação também é preocupante, pois a presença de coliformes fecais tem aumentado consideravelmente.

Os agressores do rio e de seus afluentes não percebem que a depredação leva à redução do crescimento econômico, à piora da qualidade de vida e ao aumento de gastos com o tratamento da água e com medidas para correção ou compensação de impactos ambientais. Isso tem provocado a redução do aproveitamento dos recursos hídricos. No que diz respeito ao abastecimento de água, a situação é tão preocupante que, para garantir o abastecimento da capital, pelo menos até 2025, o governo do estado investe na barragem do Ribeirão João Leite, construindo uma represa na região do Parque Ecológico Estadual Altamiro de Moura Pacheco - área de preservação ambiental.

O grande desafio para a comunidade é devolver a vida aos mananciais e praticar o desenvolvimento sustentável na região. O projeto Meia Ponte se mostrou uma alternativa viável ao desenvolvimento sustentável, pois busca mobilizar a iniciativa privada, organismos internacionais e a comunidade.

---

<sup>4</sup>Disponível no endereço eletrônico: <<http://www.meiaponte.org/bacia.htm>>. Acessado em março de 2003.

<sup>5</sup>Amostras coletadas e classificadas segundo a Agência Ambiental do Estado de Goiás.

## 2 *Desenvolvimento Sustentável*

O termo desenvolvimento sustentável surgiu em 1980<sup>1</sup> e foi consagrado em 1987, na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Brundtland, Noruega, por meio do relatório *Our Common Future*.<sup>2</sup> O termo foi inicialmente definido como um desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades dos dias atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazer as suas próprias necessidades.

O conceito foi desenvolvido para enfatizar a capacidade ambiental em suportar um determinado uso. As atividades sustentáveis seriam aquelas que não excederiam a capacidade de carga de um sistema natural. A idéia obteve ampla repercussão e rápida aceitação internacional. Formou a base para a Agenda 21, documento aprovado por mais de 180 países durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em 1992. Nessa conferência, o desenvolvimento sustentável foi estabelecido como a principal meta dos esforços de desenvolvimento de todos os países.

Assim, o desenvolvimento sustentável busca integrar, harmonicamente, aspectos ambientais, econômicos e sociais, garantindo o bem estar das futuras gerações. Isso significa buscar uma possível prática mutuamente suportável e que faça compensações necessárias. Sendo assim, a função do desenvolvimento sustentável é garantir a coerência e a complementação de políticas nos diversos setores, em resposta aos desafios dos complexos desenvolvimentos futuros.

Todavia, não foi definido um padrão para avaliar e mensurar o desenvolvimento sustentável. Cada país ou região deve traçar as suas diretrizes e metas no que diz respeito à busca do desenvolvimento, considerando sua cultura, história, geografia, prioridades sociais e econômicas, estruturas políticas e instituições predominantes. Nesse sentido, surgiram muitas interpretações para o que seria o desenvolvimento sustentável ideal, acar-

---

<sup>1</sup> *World Conservation Strategy: Living Resource Conservation for Sustainable Development*, publicação de 5 de março de 1980, elaborada pela IUCN, com a cooperação do UNEP, WWF, FAO e UNESCO.

<sup>2</sup> Publicado em português como “Nosso Futuro Comum” (1988).

retadas também pelo fato de os desafios ambientais serem reflexos de fatores ecológicos diversos, traduzidos por restrições altamente diferenciadas. Entretanto, alguns desafios dependem da cooperação e da união de esforços no contexto global. A preservação da camada de ozônio e a atenuação do aumento do aquecimento global são exemplos de problemas que requerem uma ação conjunta e integrada de todos os países.

Para se colocar em prática o desenvolvimento sustentável, é necessária uma profunda mudança estrutural em diversas áreas da vida econômica, social e política de um país, que inclui, por exemplo, a reforma de políticas fiscais. Esta, além de fortalecer a economia, pode proporcionar o aumento do envio de verbas destinadas a ações que promovam o bem estar social e a preservação ambiental. Os assuntos relacionados à injustiça e às desigualdades de acesso às vantagens e recursos devem ser discutidos e tratados mais atentamente. A longo prazo, as regiões terão de se certificar de que suas cadeias de recursos permanecerão constantes ou até aumentarão. Isso recairá nos preços de mercado, que são vinculados a custos ambientais e sociais de produção e de consumo.

O desenvolvimento sustentável pode ir de encontro às prioridades globais, nacionais e locais, especialmente num curto espaço de tempo. Por exemplo, a conservação da biodiversidade global requer a preservação de *habitats* naturais; mas a necessidade de água cresce e as autoridades encorajam a construção de barragens com grande potencial de inundação. Dessa forma, países ou regiões podem se ver diante de impasses. Para que o desenvolvimento sustentável seja viabilizado, é necessário o confronto de interesses. A habilidade em vencer essa dificuldade está ligada ao estabelecimento de prioridades vinculadas à paz e à segurança, levando-se em conta os diversos sistemas políticos, normas culturais e disposições institucionais. O desenvolvimento sustentável está invariavelmente ligado à tarefa de transformação político-governamental.

## **2.1 Estratégia de Desenvolvimento Sustentável**

A integração de objetivos de caráter socioeconômico e ambiental abarca as diferenças entre os grupos sociais e as futuras gerações, impondo dificuldades técnicas e políticas. Para realizar tal integração, os municípios necessitam ter uma visão de progresso diferenciada, em que pese a história local. Nesse sentido, é de grande valia a realização de fóruns compostos por diversos membros (da Administração Pública aos administrados), a fim de examinar as opções políticas disponíveis e traçar objetivos específicos a curto e a longo prazo, em nível regional e local.

Por essa razão, os mecanismos para a integração de políticas de setores diversos são essenciais para auxiliar a tomada de decisão em diferentes níveis e em diferentes setores e para auxiliar a identificação das implicações para grupos socioeconômicos distintos. Além disso, esses mecanismos devem promover participações ativas de representantes da comunidade na formulação de políticas e planos em diferentes níveis. Não menos importante é a necessidade de concentração de esforços com o objetivo de obter meios aptos para monitorar as atuais condições sociais, econômicas e ambientais, assim como para prever tendências futuras.

Segundo (OECD, 2001), o termo estratégia não se reduz a um plano brilhante ou a um conjunto de planos, mas também abarca um conjunto de instrumentos e formas capazes de lidar, de uma maneira dinâmica e coerente, com os desafios do desenvolvimento sustentável.

## **2.2 Benefícios de Estratégias de Desenvolvimento Sustentável**

Esta nova tendência de trabalho implica custos adicionais. Engajar a comunidade e representantes do setor privado em planejamento e tomadas de decisão, por exemplo, é oneroso e requer tempo. Conforme (OECD, 2001), os benefícios a longo prazo requerem altos custos e superá-los é, muitas vezes, o principal desafio. Uma vez resolvido esse problema, os benefícios de uma ampla participação tornam-se claros, e proporcionam uma estimativa mais realística de políticas e opiniões de investimento. Isso possibilita oportunidades de identificação e correção prematura de práticas inapropriadas ou ineficientes, conduzindo a uma alternativa mais adequada de investimento. As participações ajudam a motivar os investidores a aceitar os objetivos e a fornecer recursos (financeiros, humanos, de materiais e tecnológicos) necessários à manutenção de iniciativas de desenvolvimento. Sendo assim, torna-se fundamental identificar conflitos entre diferentes grupos de investidores para que as diferenças não se tornem confrontos contraproducentes.

Na maioria dos países, práticas tecnocráticas<sup>3</sup> não viabilizam o desenvolvimento. Buscar um consenso no que se refere a planos e programas de desenvolvimento não é simplesmente uma opção, mas uma pré-condição para a sua efetiva implementação. Similarmente, as tomadas de decisão contra-setoriais e práticas de planejamento geram dificuldades adi-

---

<sup>3</sup>Práticas tecnocráticas: quando o político ou administrador faz prevalecer a análise técnica do problema em detrimento da de cunho social e humano. Fonte: Priberam, Dicionário da Língua Portuguesa On-Line. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>>. Acessado em março de 2003.

cionais, no entanto, minimiza-se as decisões contraditórias (que surgem em razão dos diferentes interesses setoriais), reduzindo duplicação de esforços e auxiliando a identificação de complementações. No caso de planos de desenvolvimento agrícola, estes devem levar em conta as políticas e os planos nos setores de transporte e de fornecimento de água, já os esforços na área da saúde devem se orientar levando em consideração as questões de saneamento, a limpeza urbana e o controle de poluição.

## **2.3 Necessidade de Criar Novas Estratégias**

Apesar de a prática do desenvolvimento sustentável levar em conta as particularidades de cada país ou região, esta não implica, necessariamente, novos processos, novos planos ou novas instituições. Certamente, um país ou região pode ter mecanismos políticos e institucionais que conduzam ao desenvolvimento sustentável, ainda que não possua uma estratégia ou documento formal. Por outro lado, um país ou região pode ter uma estratégia de desenvolvimento sustentável formalizada em um documento oficial que no entanto, não tenha sido implementada. Considerando-se que os desafios encontrados são diversos, as estratégias de desenvolvimento sustentável são traçadas de diferentes formas e amplitudes. Conforme (OECD, 2001), planos de processos estratégicos estabelecidos, como Estratégias de Conservação de Recursos Naturais, Estratégia de Redução de Miséria, Agenda 21, nacional ou local, oferecem proveitosos pontos de partida para a criação de planos estratégicos, de acordo com os princípios já citados, colocando, em seus devidos lugares, os mecanismos e processos necessários à sua implementação.

## **2.4 Necessidade de Envolver Colaboradores**

Segundo (OECD, 2001), os colaboradores, mediante auxílios técnicos e financeiros, fornecem suporte ao desenvolvimento de padrões em uma larga variedade de setores, engajando-se em assuntos governamentais e políticos. Nesse sentido, os colaboradores podem fortalecer um processo de plano estratégico. Contudo, dependendo de como são feitos tais suportes, o processo pode ser enfraquecido. Por exemplo, colaboradores podem requerer ao Estado, por causa da sua condição de parceiro, que ele prepare um novo tipo de plano ou estratégia como uma condição de assistência - uma prática antiga, porém ainda presente - tanto em nível regional quanto nacional. Outro problema pode surgir quando diferentes colaboradores insistem em diferentes regras ou processos. Vale lembrar, no entanto, que os colaboradores têm um forte interesse em verificar se os recursos forne-

cidos por eles estão sendo usados eficientemente, se estão sendo destinados diretamente às necessidades prioritárias e se têm propiciado benefícios duráveis. Dessa forma, a existência de um gerador de políticas eficientes e um bom modelo de planejamento facilita muito a provisão de suporte externo e sua utilização.

## 2.5 Alguns Desafios na Busca da Sustentabilidade na Bacia do Rio Meia Ponte

O Brasil, por se tratar de um país continental, apresenta muitas diferenças: cultural, econômica, geográfica, social e outras. Certos problemas são crônicos e atingem todo o país, especialmente a corrupção e a má administração pública. Juntos, estes últimos, acarretam à sociedade uma série de outros transtornos de difícil superação. Uma análise mais minuciosa e regionalizada pode facilitar a identificação dos atuais e até dos futuros problemas que afligem o país. Dentre eles, nesse contexto, destacam-se:

- o aumento do nível de consumo dos recursos naturais por uma população crescente. No Brasil, contrariamente a muitos outros países, o aumento do consumo preocupa mais que o próprio aumento do número de pessoas;
- as instabilidades e divergências políticas que conduzem a conflitos, retardando o progresso socioeconômico e a má distribuição de renda nos municípios da bacia, que propicia a marginalização social;
- a poluição e a degradação ambiental contínua (erosão do solo, assoreamento de rios, destruição de florestas, de *habitats*, da biodiversidade e de reservas de peixes, etc). Os padrões atuais de produção e consumo despertam discussões sobre a capacidade contínua dos recursos básicos naturais em alimentar e sustentar o crescimento da população;
- doenças como a AIDS e o Dengue, e também outras menos visíveis, as de animais, como a Febre Aftosa,<sup>4</sup> as de vegetais, como a Ferrugem Asiática,<sup>5</sup> que no Brasil afeta principalmente a soja, reduzindo a produtividade da lavoura e aumentando

---

<sup>4</sup>Febre Aftosa: doença altamente contagiosa que atinge rebanhos bovinos, ovinos, caprinos e suínos. Pode ser causada por sete tipos diferentes de vírus. Causa febre alta, muita salivação e vesículas na gengiva, lábios, língua, mamas e patas. Impedimenta que o animal seja abatido, exportado e causa muito prejuízo ao produtor.

<sup>5</sup>Ferrugem Asiática: doença provocada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* capaz de infectar 95 espécies de plantas em mais de 42 gêneros - conforme publicação da Embrapa, disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/doenca.htm>>. Acesso em abril de 2004.



os custos de produção, degradam a estrutura produtiva e social da região, custando caro ao Estado e à população;

- a vulnerabilidade das regiões em desenvolvimento aos impactos da mudança do clima global. A região, cujo sustentáculo econômico está na agricultura e na pecuária corre mais riscos, entretanto, contribui muito pouco para a resolução da questão - trata-se de um problema global que exige a participação efetiva de todos os países;
- a extrema pobreza e mazelas sociais associadas à fome, às doenças, à desagregação familiar, à violência e ao uso de drogas, que aumentam na região;
- a marginalização. O Estado trava uma verdadeira batalha contra a lentidão do crescimento econômico, acarretada por pesadas dívidas, altas taxas de impostos e de juros, além da incidência de diferentes interesses externos por parte dos grandes provedores de recursos, como o FMI e investidores. A região também sofre com as ações protecionistas dos países ricos, que oferecem altos subsídios aos seus produtos agropecuários. Além disso, muitas vezes, Goiás não é favorecido pelas políticas de desenvolvimento nacional, orientadas a estados mais expressivos, como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

### *3 Indicadores Pesquisados para a Avaliação de Sustentabilidade na Bacia do Rio Meia Ponte*

O modelos de sistemas econômicos se desenvolveram ao longo dos anos baseados na ganância e na ambição indiscriminada. Foram sustentados pelo uso intensivo, crescente e, acima de tudo, irresponsável dos recursos naturais. Estes, por sua vez, eram explorados como fontes infinitas e inesgotáveis: a capacidade de recuperação da natureza era desconsiderada, ou simplesmente desconhecida.

Paralelamente, surgiu um modelo social no qual uma pequena parcela da população abusava do consumismo, do luxo, da opulência e do desperdício, enquanto uma grande parte travava lutas diárias em prol da sobrevivência, em meio à miséria e à exclusão social.

Tal forma de condução socioeconômica é reconhecida como imprópria e insustentável pela maioria das nações, contudo, ela ainda é predominante na maior parte do mundo. Nesse sentido, alguns governos, juntamente com os seus órgãos, e algumas pessoas jurídicas de direito privado fazem uso de publicações capazes de maquiagem a realidade com o intuito de continuarem com suas atividades e satisfazerem os seus interesses. Por outro lado, há grupos de ambientalistas e ativistas que geralmente são taxados de neuróticos e inconseqüentes quando contradizem os primeiros - muitas vezes há o objetivo de reduzir as desigualdades sociais e preservar os recursos naturais; no entanto, outras vezes existem apenas interesses pessoais, políticos e/ou econômicos. Dessa forma, o esclarecimento da população acaba sendo prejudicado.

O desenvolvimento sustentável destaca-se como um modelo imparcial de desenvolvimento, que busca o bem coletivo e a preservação dos recursos naturais. Em sua proposta, percebe-se certos indicadores que podem ser relacionados para que seja possível refletir sobre aspectos de cunho social, econômico e ambiental de forma ampla e significativa.

Porém, vale lembrar que, embora um indicador possa refletir mais significativamente sobre um desses aspectos, muitas vezes, ele está relacionado a outros aspectos e a outros indicadores. Essa correlação não é muito clara e torna mais difícil as considerações sobre os indicadores. Se for atribuído graus de representatividade de um indicador para os três aspectos mencionados anteriormente (econômico, social e ambiental), variando de 0 a 1, por exemplo, nem sempre serão encontrados os mesmos valores para um indicador. A atribuição está sujeita as características da região estudada. Observe a figura 2.

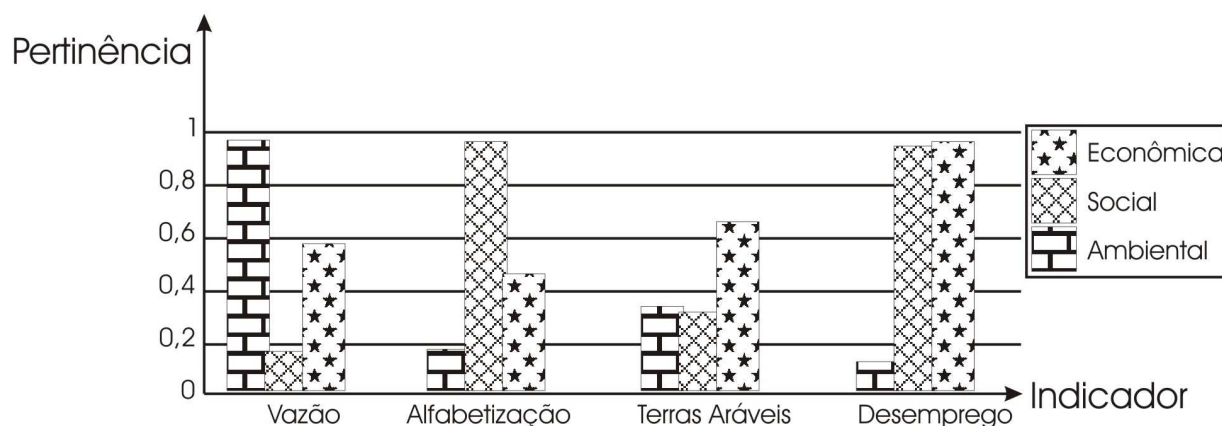


Figura 2: Grau de importância de indicadores em diferentes aspectos.

Pelo fato da economia da bacia do rio Meia Ponte ser fortemente influenciada pela agricultura e pela pecuária, e pelo fato de a geração de energia elétrica ser praticamente feita a partir de hidrelétricas, o indicador vazão apresenta considerável importância econômica. Entretanto, dependendo da região, o mesmo indicador pode apresentar uma importância econômica muito pequena.

### 3.1 Concentração de Poluentes no Ar em Áreas Urbanas

O oxigênio é de suma importância para a perpetuação de diversas espécies. Para a boa qualidade de vida dos seres vivos e, é claro, do meio ambiente, é essencial uma boa qualidade do ar. O aumento de poluentes no ar é acarretado, principalmente, pela emissão de gases nocivos na atmosfera e, há algumas décadas, tem sido o foco de discussões em diversos encontros, seminários e palestras no mundo todo. Este é um problema que acarreta efeitos nocivos de toda sorte:

- o surgimento de doenças respiratórias, principalmente em crianças;

- a destruição da flora pelas chuvas ácidas;
- alterações climáticas e no regime das chuvas;
- e a redução da camada de ozônio.

As mudanças climáticas são constatadas já há algum tempo. Atualmente, essas mudanças estão mais preocupantes, principalmente no que diz respeito ao aumento da temperatura média global. Segundo especialistas, o aumento da temperatura se deve, em grande parte, a atividades humanas responsáveis pela emissão cada vez maior de gases e partículas que afetam a absorção e a reflexão da radiação solar e o fluxo de massas de ar pela atmosfera.

Ações concretas foram feitas no sentido de corrigir o problema, tendo algum êxito. O Tratado de Kyoto, assinado em 1997, por exemplo, é uma das iniciativas que se destacam nesse sentido, pois prevê uma drástica redução no nível de emissão de gases poluentes na atmosfera. O tratado obriga os países industrializados a manter a emissão de dióxido de carbono, no período de 2008 a 2012, em, pelo menos, 5% em relação ao ocorrido no ano de 1990.

Em determinadas unidades federativas ou municípios brasileiros existem formalizações que procuram implementar as diretrizes da Resolução CONAMA nº 03 (CONAMA, 1990) para atender os padrões de qualidade do ar. Todavia, muitas vezes, essas normas não se materializam, pois que não há um trabalho de fiscalização eficiente. Ainda que existam definições criminais e cominações penais legais, estas não são aplicadas como se deve. Para se ter uma idéia, na bacia do Meia Ponte, existem poucos pontos de amostragem do ar em Goiânia e em Anápolis; além disso, não são feitos registros periódicos regulares dessas leituras.

Enfim, sabe-se que a qualidade do ar é de grande valor para o bem-estar social e ambiental. Há leis que definem padrões de qualidade do ar, nos municípios da Bacia do Rio Meia Ponte como em muitos outros municípios brasileiros, mas não há um trabalho de fiscalização que busque, de fato, o cumprimento dessas normas e que monitore os níveis de emissão das fontes poluidoras. Assim, muitos trabalhos e estudos ficam comprometidos e inviabilizados.

## 3.2 Vazão

O múltiplo uso das águas da bacia acarreta conflitos, envolvendo diversos setores da sociedade. O rio Meia Ponte e seus afluentes desempenham direta e indiretamente um importantíssimo papel socioeconômico, porque são vitais para atividades como: abastecimento público, geração de energia, irrigação, diluição de grande parte do esgoto industrial e residencial, pesca e atividades de lazer.

Com a ocupação da bacia, foram intensificadas as atividades agropecuárias, especialmente nas últimas décadas, e aumentadas as cargas sobre os recursos hídricos. Concomitantemente, aumentaram-se os impactos provocados pelas atividades industriais e das populações dos centros urbanos. Como resultado, apareceram alguns problemas, entre eles: assoreamento, erosões, destruição de matas ciliares e contaminação por defensivos agrícolas, fertilizantes e esgotos. O aumento das atividades agropecuárias e urbanas trouxe um grande crescimento da demanda de água, elevando o consumo coletivo nos centros urbanos e no campo, em virtude da falta de conscientização da população e do aumento do uso de irrigação nas lavouras.

Em um sistema de monitoramento e verificação de potencial hidrológico, a vazão do rio é um indicador de grande importância, porque além de refletir o uso das águas ainda é capaz de refletir alterações de outros aspectos na bacia. Do ponto de vista prospectivo, o indicador é fundamental para a predição de potencial econômico da região da bacia, considerando que a maior parte da economia baseia-se na agricultura e na pecuária.

No entanto, em um sistema de avaliação ambiental ou de desenvolvimento sustentável não é fácil fazer uma modelagem ou estabelecer regras que sejam capazes de relacionar o regime das vazões com as causas, e, a partir daí, fazer inferências sobre a preservação ambiental. Tal é a sensibilidade e a amplitude do sistema, que: (a) fenômenos como o *El Niño* ou *La Niña* podem afetar o regime das chuvas em regiões muito preservadas, como nas áreas de proteção ambiental no interior da Amazônia; e (b) o aumento da produção de energia hidrelétrica, causada pelo aquecimento da economia em uma comunidade rica e ecologicamente correta, pode reduzir o nível de água nos reservatórios. Portanto, a alteração na vazão de um rio não significa, necessariamente, que o sistema esteja sendo agredido - mudanças climáticas e ambientais sempre ocorreram e continuarão ocorrendo. Por esta razão, essa variável pode ser mal interpretada, como um indicador não-confiável para a averiguação de sustentabilidade.

### 3.3 Concentração de Poluentes na Água

O aumento constante da poluição no rio Meia Ponte é um fator de grande relevância. Não é necessário muito estudo para perceber a piora da qualidade da água ao longo dos anos.

A verificação da concentração de poluentes na água pode ser obtida por um indicador capaz de informar a qualidade das águas do rio. Uma informação coerente sobre a qualidade da água é imprescindível para o desenvolvimento de qualquer ferramenta de apoio e suporte à decisão, tanto para o gerenciamento de recursos hídricos quanto para a verificação do desenvolvimento sustentável, pois fornece subsídios necessários para uma gestão ambiental eficiente.

Pela qualidade da água, depreende-se a sua forma de uso, definem-se os cuidados e os tratamentos que devem ter sido feitos em seus efluentes, nas matas ciliares, diagnosticando-se, até, como se deu a ocupação da bacia. Trata-se de uma variável muito rica em informações.

A água admite uma diversidade de usos e, conseqüentemente, uma diversidade de formas para a verificação de sua qualidade. A Agência Ambiental de Goiás, por exemplo, apresenta um índice baseado no modelo matemático para a averiguação do IQA (Índice de Qualidade de Água) adotado pela CETESB.<sup>1</sup> Esse índice, fixado em uma escala de 0 a 100, classifica a água em 5 conceitos. Essa classificação é listada na tabela 2.

Conceito	Faixa
Péssimo	0 - 19
Ruim	20 - 36
Regular	37 - 51
Bom	52 - 79
Ótimo	80 - 100

Tabela 2: Classificação de Água pelo IQA.

O IQA é obtido pela seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{W_i} \quad (3.1)$$

<sup>1</sup>Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acessado em: 05/2003.

Em que:

- $n$  = número de parâmetros;
- $q_i$  = qualidade do  $i$ ésimo parâmetro (número de 0 a 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade em função de sua concentração);
- e  $W_i$  = peso correspondente ao  $i$ ésimo parâmetro (número de 0 a 1, atribuído de acordo com a sua importância).

Contudo, deve ser respeitada a seguinte restrição:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (3.2)$$

O índice é, então, composto por diversas variáveis. Cada uma representa aspectos distintos da água, como exemplos:

1. pH: indica a acidez ou a alcalinidade da água; não é medida de pureza, ele implica o controle de corrosão da água, no amolecimento de águas, na desinfecção e na coagulação química;
2. coliforme fecal: expressa as características sanitárias da água; indica a contaminação da água por microorganismos intestinais patogênicos;
3. turbidez: diz respeito à presença de partículas em suspensão na água; o seu aumento reduz a penetração da luz, o que pode ser um indicador de fontes poluidoras;
4. oxigênio dissolvido: indica as condições aeróbicas na água - muito importante para esta análise, haja vista que o oxigênio dissolvido é responsável pelo equilíbrio da fauna e da flora aquática;
5. demanda bioquímica de oxigênio: permite avaliar o grau de poluição pela quantidade de oxigênio consumido por microorganismos, pela autodepuração dos corpos d'água e mesmo pelo tratamento de esgotos;
6. resíduos totais: apontam a presença de material sólido na água; os resíduos totais são encontrados na matéria residual após a evaporação da água na temperatura entre 103° C a 105° C.

Sendo assim, o índice de qualidade de água não expressa somente a presença de micro-organismos patogênicos, mas uma série de outros aspectos provenientes de diversas fontes. Vale dizer que o uso de um índice como este não é capaz de representar adequadamente a qualidade da água, porque essa representação depende do tipo de uso da mesma.

## 3.4 Tratamento de Esgoto

Tão agradável quanto encontrar uma cidade arborizada e limpa é encontrar rios e lagos limpos e sem dejetos de poluição trazidos pelos esgotos. Todavia, onde quer que vá, o homem leva consigo o lixo. Conseqüentemente, muitas pessoas são expostas diariamente a um ambiente desagradável. A higiene, com o desenvolvimento do saneamento básico, traz melhoras para a saúde. Ainda sim, em muitas regiões, o esgoto e o lixo não têm um destino final adequado. Nos grandes aglomerados urbanos, principalmente nos mais pobres, os riscos de doenças infecciosas são maiores, sendo os grupos mais vulneráveis as crianças mais jovens e as pessoas com idade avançada.

A contaminação dos rios e de outros corpos de água não traz risco somente para os seres humanos: outras espécies também são afetadas, ameaçando o equilíbrio ecológico. O despejo de esgotos sem tratamento nos corpos de água pode afetar a saúde humana por diversas vias:

- pela água poluída que bebemos;
- pelos alimentos, como: hortaliças, frutas, vegetais e peixes;
- pelo banho, recreação e outras formas de contato com água contaminada;
- pela perda de proteínas dos peixes, em virtude da poluição etc.

O tratamento de esgoto é importante do ponto de vista sanitário e do ponto de vista econômico. Economizam-se R\$ 4,00, no setor da saúde, nos dez próximos anos, para cada R\$ 1,00 investido em saneamento, de acordo com (FUNASA, 2004). Além disso, o tratamento de esgoto por uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) em um município implica menores custos para o tratamento de água logo abaixo, ou seja, para tornar a água potável na ETA (Estação de Tratamento de Água), localizada a jusante do ponto de lançamento do esgoto.

Sendo assim, constatam-se vantajosos aspectos ao se investir em tratamento de esgoto e também a importância desse indicador no que diz respeito ao desenvolvimento susten-



tável. Porém, é fato que o percentual de esgoto tratado em um município não reflete bem a agressão que este causa, realmente, ao meio ambiente. Outras informações devem, acompanhar o índice, como a relação entre o esgoto e a vazão do rio no lugar onde é despejado e uma série de outros parâmetros que referenciem a qualidade do tratamento e a qualidade da água a montante e a jusante em relação ao ponto de lançamento.

### 3.5 Uso de Fertilizantes

Um dos problemas ambientais que mais preocupam é a poluição da água. A poluição afeta os ecossistemas da água doce e da salgada, prejudicando os animais e as plantas diretamente ligados a elas. Algumas medidas já foram tomadas no sentido de recuperar a fauna e a flora da bacia do rio Meia Ponte, mas ainda há muito o que considerar.

A indústria, responsável por boa parte da poluição, é considerada a maior vilã pelo senso comum. No entanto, é relativamente fácil controlar a atividade industrial, forçando-a a melhorar a eficiência, a reduzir o consumo de água e a poluição. Uma das maiores fontes de poluição, e de difícil controle, não é a indústria, e sim o uso abusivo de fertilizantes, adubos e agrotóxicos na agricultura intensiva. As águas das chuvas entram em contacto com essas substâncias, levando-as para os córregos, para os rios e para o mar. Constata-se isso averiguando a qualidade da água às nascentes do rio Meia Ponte. Por se tratar de uma área rural afastada de aglomerados urbanos e de indústrias e, principalmente, por estar próxima às nascentes, espera-se que tal água tenha qualidade boa ou ótima. No entanto, os índices são aceitáveis e, nos melhores casos, bons, segundo revelam os relatórios técnicos anuais sobre o índice de qualidade de água da Agência Ambiental de Goiás.<sup>2</sup>

Os problemas relacionados ao uso de fertilizantes agrícolas se devem ao escoamento de fósforo e de nitrogênio para a água. Daí, pode surgir a eutrofização: processo em que a oxigenação das águas é reduzida por causa do crescimento desordenado de algas tóxicas. Este processo, dependendo do grau em que se encontra, acaba com a fauna e a flora aquáticas, sendo fatal também para outras espécies que se valem dessa mesma água.

Outra questão que merece atenção é o problema do uso de fertilizantes industrializados e não-orgânicos. Pode-se substituir parte destes pelo uso dos resíduos finais do processo de tratamento de esgoto. Esse material pode ser uma excelente fonte de nutrientes para o solo, beneficiando-se o meio ambiente pela troca de lixo por um recurso valioso à agricultura. Lixo este que provavelmente teria como destino lixões, aterros sanitários ou incineradores.

---

<sup>2</sup>Disponíveis na própria Agência Ambiental de Goiás.

Outra vantagem desse processo de troca é o baixo custo do material e a preservação de recursos para a obtenção de fertilizantes industrializados. Por outro lado, deve-se lembrar que os metais pesados encontrados nesses resíduos podem apresentar riscos ao meio ambiente. A aplicação desse tipo de recurso não deve desconsiderar a presença de certos nutrientes e de certas substâncias tóxicas que acabam chegando aos lençóis e corpos de água. Assim, algumas práticas de controle, como o equilíbrio na utilização de fertilizantes orgânicos e não-orgânicos, podem maximizar o benefício do uso de resíduos de tratamento de esgoto.

Visando reduzir gastos e reaproveitar recursos até então simplesmente descartados, sugere-se a busca de formas saudáveis de recuperação do solo, evitando o seu rápido empobrecimento e, conseqüentemente, minimizando o uso de fertilizantes na produção agrícola.

Entretanto, não é possível fazer avaliações ou modelagens para o uso de fertilizantes, sugerido em quilogramas por hectare em obras como (IBGE, 2002). A agressividade ao meio ambiente depende de uma série de fatores, tais como: declividade do relevo; presença ou não de curvas de nível; cultura desenvolvida, bem como a sua distância dos corpos de água; composição do solo; tipo de fertilizante usado e a sua quantidade etc. A utilização desse indicador ficou inviável neste estudo porque não há dados disponíveis suficientes para desenvolver um estudo de caso e também porque não há um consenso entre os pesquisadores e os cientistas da área.

## 3.6 **Uso de Agrotóxicos**

Existem relatos do uso de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas na agricultura desde a Antigüidade. Já no início do século XX, iniciaram-se estudos sistemáticos sobre o uso de substâncias inorgânicas como os defensivos agrícolas. Desde então, os agrotóxicos passaram a ser desenvolvidos comercialmente e empregados na agricultura, especialmente após a década de 60, quando foram amplamente difundidos.

Os agrotóxicos acarretam diversos danos à saúde humana. Seus efeitos não são muito estudados, apesar de sabidamente nocivos, podendo ser classificados como agudos e crônicos. Vários agrotóxicos são potencialmente carcinogênicos<sup>3</sup> para o ser humano. Outros

---

<sup>3</sup>Um processo é dito carcinogênico quando é decorrente de um caminho complexo, que envolve a combinação da inativação de genes inibidores tumorais e a ativação de genes promotores tumorais (oncogenes). Fonte: *Terapia Gênica: o urologista de olho no futuro*. Disponível em: <<http://www.unifesp.br/dcir/urologia/uronline/ed1098/terapia.htm>>. Acessado em novembro de 2003

efeitos podem ocorrer, como: lesões no sistema nervoso central, neurotoxicidade retardada, formação de catarata, reações alérgicas, redução de fertilidade, evidências de mutagenicidade, efeitos teratogênicos (que acarretam a malformação do feto) e lesões no fígado. Isso se deve a fato de os agrotóxicos serem desenvolvidos para ter uma ação biocida, sendo, é claro, potencialmente danosos aos organismos vivos.

Os efeitos e as conseqüências ambientais causadas pelos agrotóxicos variam bastante. Os efeitos podem interferir na disponibilidade de alimentos, na biodiversidade e nos *habitats*. Além disso, os efeitos também afetam os inimigos naturais das pragas e a resistência das pragas induzida aos próprios agrotóxicos.

Sabe-se que os agrotóxicos afetam os processos de respiração do solo e de quebra de matéria orgânica, o ciclo de nutrientes e a eutrofização das águas. Além dos problemas relacionados à saúde, o uso dos agrotóxicos está diretamente ligado ao preço dos produtos. Considerando que grande parte da economia goiana gira em torno da agricultura e que os danos e implicações provocados pelos agrotóxicos afetam o meio ambiente, a saúde humana e a economia, a verificação histórica do uso destes é de suma importância em um plano de desenvolvimento sustentável.

No entanto, assim como ocorre no caso dos fertilizantes, não é fácil desenvolver um conjunto de regras ou um modelo no qual seja possível considerar o uso de agrotóxicos na configuração de um sistema de avaliação de sustentabilidade. Aqui também é necessário saber a declividade do relevo, a presença ou não de curvas de nível, a cultura que está sendo desenvolvida e a sua distância em relação aos corpos de água, a composição do solo, o tipo de agrotóxico usado bem como a sua quantidade e uma série de outros fatores importantes.

O conhecimento de vários aspectos é necessário para que se possa fazer uma boa consideração. Para este estudo faltam dados. Seriam necessários o mapeamento da região e o rastreamento de todos os agrotóxicos vendidos e aplicados nela. Certas literaturas, como (IBGE, 2002), sugerem a utilização de quilogramas de agrotóxico por hectare como indicador, mas assim a análise fica pobre e inexpressiva. Por esta razão, o uso de agrotóxico é inviável como indicador para este estudo.

### 3.7 Terras Adequadamente Manejadas

O adequado manejo do solo é fundamental para a preservação do rio Meia Ponte e de seus afluentes, bem como de todo o ecossistema da bacia. O bom manejo do solo traz

benefícios ao meio ambiente e à economia. O uso e o manejo inadequado do solo trazem vários prejuízos à bacia, por exemplo:

- surgimento de erosões;
- assoreamento dos córregos e rios;
- maior contaminação dos corpos d'água pelos defensivos agrícolas e fertilizantes;
- empobrecimento do solo, obrigando os agricultores a aumentar, ainda mais, o uso de fertilizantes;
- aumento das despesas com a correção e o preparo do solo.

Conseqüentemente, os preços dos produtos agrícolas também sobem. A disponibilidade de água para a própria agricultura, para o abastecimento urbano e para as demais atividades é atingida, pois o assoreamento provoca a diminuição do volume de água nos córregos, lagos e rios. O empobrecimento do solo muitas vezes inviabiliza o desenvolvimento de certa atividade em uma área, levando o homem a se comportar como nômade, desmatando novas áreas e degradando outros solos. Contudo, existem formas de se prevenir, ou minimizar tais problemas. Dentre elas:

- preservação da vegetação nativa, especialmente nas áreas de encostas, próximas aos córregos e rios, e entre as lavouras;
- uso de curvas de nível nos plantios;
- rotatividade de culturas e sistemas de plantio direto.

No momento em que os produtores se dispõem a tomar cuidados simples como estes, percebem que se tornam os mais beneficiados. No entanto, a maioria dos agropecuaristas não percebeu que quem mais lucra com o manejo adequado do solo são eles. Não basta que a região apresente um grande potencial agrícola, é necessário que esse potencial seja devidamente aproveitado. Todavia, não há levantamentos de dados sobre o manejo de solo nas propriedades rurais e nas lavouras nos municípios da bacia do Meia Ponte suficientes para se fazer um estudo de sustentabilidade, ao menos, municipal. Assim, a utilização dessa variável se torna inviável.

## 3.8 Queimadas e Incêndios Florestais

As matas e os campos são habitados por diversos tipos de animais, sendo composta por uma grande variedade de plantas e árvores. A vegetação serve tanto como alimento quanto como abrigo para os animais. A perda da cobertura vegetal, seja por desmatamento, seja por queimadas, pode causar, assim, a extinção de espécies animais bem como vegetais. Outros danos, não menos importantes, são o assoreamento de córregos e rios, a erosão, as alterações climáticas, entre outros.

Ao serem queimadas, as florestas dificilmente conseguem se recuperar. O fogo destrói a vegetação, consome grande parte da matéria orgânica do solo, queima as sementes caídas no chão e as mudas que brotam.

O fogo geralmente se espalha muito rápido, queimando também os animais, especialmente os filhotes e aqueles de locomoção mais lenta. Parte dos animais não mortos diretamente pelo fogo morre por causa da fome e da falta de abrigo.

O fogo também acarreta:

- a deterioração da qualidade do ar;
- a degradação do solo química e biologicamente;
- o agravamento do efeito estufa;
- a redução da visibilidade, provocando, às vezes, o fechamento de aeroportos ou causando acidentes em estradas e rodovias;
- o comprometimento da saúde humana;
- a destruição de patrimônios públicos e privados;
- a redução da camada de ozônio.

Reduzir e controlar o número de queimadas é de grande importância para o meio ambiente e para o homem conseqüentemente. O controle de queimadas pode ser feito, inclusive, pelo fogo, de maneira preventiva.

Algumas publicações como as do IBGE (IBGE, 2002), citam a contagem de focos de calor, via satélite, como meio para a detecção de queimadas. Esse princípio é ineficaz porque é incapaz de distinguir um incêndio florestal de uma queimada controlada em um pasto, por exemplo. Não é possível precisar o dano causado pelo fogo. Melhor seria

fazer o mapeamento das áreas de pastagens, de lavouras e de matas nativas, e só então procurar fazer o levantamento das queimadas pelo tamanho da área lesada e pelo tipo de vegetação queimada. Entretanto, não existem dados desse tipo. Assim, ainda não é possível fazer tal consideração. Embora o número de focos de calor seja de fácil acesso e haja disponibilidade do nome do município, do dia, da hora e das coordenadas do foco, o número de focos de queimada é um indicador muito pobre e suscetível a críticas, motivo pelo qual foi desconsiderado como um indicador de desenvolvimento sustentável.

### 3.9 Áreas Remanescentes e Desflorestamento

Entende-se por desflorestamento uma prática de queimada, corte ou destruição por meios químicos da cobertura vegetal em uma determinada área, para fins agropecuários ou de expansão urbana.

Com o desflorestamento, surgem conseqüências negativas, como: a possibilidade de surgimento ou aumento da erosão, o comprometimento dos cursos de água, a perda da biodiversidade e mudanças climáticas e no regime das chuvas.

A economia também é afetada pelos danos ambientais. O empobrecimento da flora, inviabiliza o seu uso sustentável. O *habitat* natural é descaracterizado, implicando um impacto ambiental de grande relevância. O desmatamento deve ser evitado e praticado somente em último caso.

Sendo a área ainda madeirável,<sup>4</sup> o desmatamento deve ser evitado, sugerindo-se implantar um plano de manejo florestal sustentado. Quando o desflorestamento for conseqüência da formação de lavouras, pode-se intercalar as áreas de plantio com faixas de vegetação nativa, e, assim, minimizar impactos nocivos como a erosão e o empobrecimento do solo. Caso a intenção seja a de formar pastagens, pode-se optar pelo plantio direto, dependendo da tipologia da vegetação nativa - na maior parte da bacia do rio Meia Ponte predomina o cerrado, que geralmente permite esse plantio.

Não há como negar a importância da averiguação das áreas remanescentes e das de desflorestamento para se verificar o êxito ou o fracasso das políticas ambientais. Nesse sentido, o índice apresenta grande relevância. Porém, não há mapeamento dessas áreas, conseqüentemente, não há histórico das mesmas. Tal fato impossibilita, hoje, a adoção

---

<sup>4</sup>O termo madeirável diz respeito a uma área que possui madeira de boa qualidade e em quantidades economicamente viável, sugerida no uso sustentável. Fonte: Coordenação de Monitoramento e Controle Florestal. Disponível em: <[http://www2.ibama.gov.br/desmatamento/home\\_conceitos.htm](http://www2.ibama.gov.br/desmatamento/home_conceitos.htm)>. Acesso: 01/2004.

desse indicador para avaliar aspectos de preservação ambiental.

### 3.10 Áreas Protegidas

Um modelo de desenvolvimento racional e sustentável deve levar em consideração a preservação dos recursos, assegurando-os às gerações futuras. Uma das formas mais viáveis para garantir a perpetuação das espécies é por meio da criação de áreas protegidas por instrumentos legais.

Alguns países possuem áreas de conservação que cobrem grande parte de seu território. Isto não ocorre somente nos países de primeiro mundo, como a Dinamarca, com 32% de seu território protegido, mas também em países subdesenvolvidos, como a Etiópia, com 16,9%, a Guatemala, com 19,9% e a Indonésia, com 18% de seu território protegido. O Brasil, no entanto, segue um pouco de longe essa tendência, apresentando apenas 6,2% de seu território protegido (UNEP, 2003). O total das áreas protegidas da bacia do rio Meia Ponte é ainda pior: não chega a 0,5% de seu território total (AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS, 2003). Os números traduzem o descaso das autoridades pelo meio ambiente ao longo dos anos.

De modo a garantir a sobrevivência da fauna e da flora da região, mantendo o equilíbrio do ecossistema e a preservação dos recursos hídricos, deve-se adotar medidas no sentido de criar unidades de conservação, algo imprescindível para a perpetuação das espécies. É urgente o aumento de áreas protegidas por instrumentos legais; caso contrário, as penas ambientais implicarão onerosas despesas.

Desse modo, o indicador expressa bem os cuidados da Administração para com as reservas ambientais. Vale lembrar, no entanto, que os dados podem não expressar fidedignamente o estado de conservação de determinada área, pois em muitas reservas há explorações clandestinas de recursos naturais.

### 3.11 Espécies Extintas e Ameaçadas de Extinção

Uma das maneiras mais fáceis de se verificar a preservação do meio ambiente é através da perpetuação das espécies. Quando se dá falta de determinada espécie, seja vegetal ou animal, pode-se deduzir que está ocorrendo algo anormal na região: ou existe desequilíbrio ecológico, ou uma ação indevida do homem na natureza, ou está ocorrendo uma mudança natural no meio ambiente. As ameaças às espécies ou a extinção das mesmas

são provocadas principalmente pelas equivocadas atividades humanas, como exemplos: desmatamentos, caças, explorações, criações e plantios. Por meio da catalogação e da contagem de espécies, pode-se mensurar o impacto ambiental das atividades humanas e estimar o cuidado que os homens estão tendo com o meio ambiente. Essa informação é valiosa, tanto para a avaliação das atividades quanto para a prevenção de futuras situações desastrosas causadas por atividades humanas indevidas.

Sem abrir mão de formas mais tangíveis para a verificação do estado e das variações do quadro das espécies, ao longo dos anos, seria também necessário um controle do número estimado de espécies nativas extintas e ameaçadas de extinção. Contudo, as dificuldades impostas pela natureza dessa atividade impedem que essa variável esteja disponível em um amplo sistema cujo intuito seja verificar esse aspecto de sustentabilidade.

### **3.12 Acesso ao Sistema de Abastecimento de Água**

A água é um elemento indispensável à perpetuação das espécies. Mas, também pode causar destruições, mortes e doenças, quando não tratada. A água tratada é fundamental para boas condições de saúde e higiene. Por isso, o acesso ao sistema de abastecimento de água representa um indicador para a caracterização da qualidade de vida da população no que diz respeito às ações da Administração, em relação ao saneamento básico e ambiental.

Uma considerável parcela da população dos municípios da bacia do Meia Ponte ainda não tem acesso à rede de abastecimento de água tratada. Para resolver o problema, esses indivíduos constroem cisternas ou poços artesianos nos quintais de suas casas, ou buscam água com baldes em locais distantes, em córregos e até mesmo no próprio rio Meia Ponte.

Porém, não basta apenas ter muita água disponível. É importante ter acesso a água de boa qualidade, livre de germes e micróbios, causadores de doenças e epidemias. A cólera, a hepatite, a diarreia, a gastroenterite e a febre tifóide são exemplos de problemas relacionados à ingestão de água contaminada por bactérias, vírus e parasitas provindos da urina e das fezes humanas - daí a importância de tratar, filtrar ou ferver a água antes de sua ingestão e preparação e limpeza de alimentos e vasilhames.

Além dessas doenças, podem aparecer outras como a esquistossomose, transmitida pela presença de fezes, de um indivíduo doente, na água. As populações ribeirinhas, notadamente as de favelas ou setores de maior pobreza, correm mais riscos de adquirir essas doenças, por causa da ausência de água encanada e esgoto em suas casas.



Neste cenário, quem mais sofre são as crianças mais novas, que ainda não desenvolveram suas defesas naturais e que possuem uma alimentação inadequada, sendo mais suscetíveis as doenças. Não é por acaso que a Declaração do Milênio, documento elaborado pelas Nações Unidas, propõe no capítulo III, sobre O Desenvolvimento e Erradicação da Pobreza reduzir pela metade, até o ano de 2015, a porcentagem de pessoas que não têm acesso à água potável ou carecem de meios para obtê-la.

No intuito de averiguar a parcela da população que ainda busca água em poços, nascente, cisternas, córregos, dentre outras fontes, cuja qualidade pode não ser satisfatória, depreende-se o indicador formado pela razão entre a parcela da população de um município atendida pelo serviço de fornecimento de água tratada e o total da população.

### 3.13 Acesso à Rede de Esgoto Sanitário

O termo “sanitário” vem do latim *sanitate*, que significa algo relacionado à higiene ou à saúde. Segundo (FIDLER, 2004) a Constituição da OMS, de 22 de julho de 1946, preconiza que a saúde é o estado de completo bem estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doenças. Entende-se por saneamento o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre seu bem estar físico, mental e social. Assim, é muito estreita a relação entre saúde e saneamento. Muitas pessoas acreditam que caso os problemas de saneamento não as afetem diretamente, não as afetarão indiretamente. Uma pessoa internada por doença de veiculação hídrica, por exemplo, pode causar males a outros por meio de infecções hospitalares.

A coleta de esgoto sanitário é, portanto, fundamental para a melhoria do quadro de saúde da população de um município, e esta, por sua vez, se reflete no quadro econômico, porque permite economia na área da saúde.

Quando se investe em esgoto sanitário, além da redução de diversos problemas de saúde, reduz-se também o problema da poluição visual. Nos locais onde os esgotos correm a céu aberto, sendo despejados em córregos, rios, lagoas e no próprio solo, o mau cheiro é intenso e a paisagem, desagradável.

Muitos municípios deixam de gerar empregos, arrecadar capital proveniente de atividades turísticas por não investir em saneamento. Um dos principais fatores observados por turistas visitantes, com certeza, é a limpeza do local. A satisfação do turista determina a sua permanência, a sua volta e a indicação do lugar a outras pessoas. Por isso, quando se investe em esgoto também se investe no potencial turístico do município.

De acordo com observações em (SANEAGO, 1990-2002) e censos demográficos publicados pelo IBGE,<sup>5</sup> ao longo das últimas duas décadas, o saneamento dos municípios da bacia do rio Meia Ponte cresceu somente o suficiente para acompanhar o crescimento da população, muito pouco no que diz respeito à percentagem da população atendida pelo serviço de coleta de esgoto. O indicador expressa bem essa questão sanitária e apresenta séries históricas disponíveis aos interessados.

### 3.14 Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo Doméstico

O serviço de coleta de lixo doméstico é um dos mais importantes, sendo formado por vários sistemas operacionais. Esse serviço, quando insuficiente, pode se tornar um problema tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais. É essencial que o serviço seja prestado com eficiência, com regularidade e com grande abrangência - não se trata apenas de uma questão ambiental, mas de saúde pública, pois manter o local que se vive limpo é manter a saúde em bom estado. A saúde depende da higiene (seu significado original, de origem grega, *hygieiné*, arte relativa à saúde).

É fácil perceber o quanto a saúde da população depende do serviço de coleta de lixo. Os serviços de coleta de lixo e de limpeza urbana têm grande peso na opinião pública, no que se refere à satisfação popular com a administração pública.

Por essa razão, o serviço de coleta de lixo é tão importante e deve ser considerado quando se pretende observar o desenvolvimento sustentável em uma região. Faz-se necessária, assim, a presença de um indicador dessa natureza, que relacione a parcela da população atendida pelo serviço de coleta de lixo doméstico e o total da população.

### 3.15 Destinação Final do Lixo

Embora seja de grande importância a coleta de lixo, ela, por si só, não basta. O lixo depositado em grande quantidade sobre a superfície do solo, sem qualquer proteção e sem qualquer controle sobre os efeitos danosos ao ambiente e à população, constitui também uma grande ameaça.

Ao ser simplesmente amontoado, o lixo fica sujeito a incêndios, a insetos, a ratos, a aves e a outros animais. Esse descaso propicia o aparecimento de doenças, especialmente na população vizinha aos lixões, nos catadores de lixo e nas pessoas que exercem atividades

---

<sup>5</sup>Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/default.php>>. Acesso em: 02/2004.

próximas ao local.

Portanto, tão importante quanto coletar o lixo é dar um destino final adequado a ele. O lixo devidamente compactado ocupa menos espaço, por ser coberto, minimiza-se o forte odor, evita-se incêndios e a proliferação de doenças via insetos, aves, roedores e outros animais. Os aterros sanitários protegem os lençóis freáticos, o subsolo e a atmosfera, pois implicam a utilização de camadas impermeabilizantes e o tratamento do gás metano e do chorume (gerados pela decomposição e pela desidratação do lixo, respectivamente).

Existem também outras soluções para o problema do lixo, como as estações de triagem, de reciclagem, de compostagem<sup>6</sup> e de incineração - todavia, deve-se estar atento ao problema da emissão de gases poluentes como CO<sub>2</sub> e de partículas geradas pela incineração do lixo.

Dar um destino final adequado ao lixo traz benefícios ao meio ambiente à população. Por esse motivo, é necessário o monitoramento da capacidade de fornecimento de um destino final adequado ao lixo coletado em uma região - dado pela relação entre o lixo que recebe um destino final considerado adequado e o total de lixo coletado.

## 3.16 Reciclagem

O modelo de vida da sociedade moderna, especialmente em países capitalistas, é o do consumo. Esse estilo de vida exige produtos variados, como roupas, carros, móveis, cosméticos, equipamentos eletro-eletrônicos, telefones celulares, com durabilidade cada vez menor, acarretando a produção de mais e mais produtos descartáveis. Assim, a exploração dos recursos naturais vem aumentando muito e, paralelamente, a produção de lixo.

Materiais como plásticos, vidros, metais e papéis podem ser reaproveitados, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A reciclagem do lixo propicia a preservação das fontes de recursos naturais (jazidas minerais, florestas etc) e diminui o volume do lixo ao reduzir a demanda de espaço para o mesmo em aterros sanitários. Reduz também a poluição atmosférica, evitando a prática da incineração.

Do ponto de vista socioeconômico, diminui-se os gastos com a produção de matérias-primas, propiciando a redução do custo dos produtos. A reciclagem promove a geração de

---

<sup>6</sup>Compostagem: processo biológico de decomposição de matéria orgânica (folhas, restos de comida, estrume etc.) por de diversos tipos de microrganismos, gerando o composto - material semelhante ao solo. Fonte: Biblioteca Virtual do Amazonas. Disponível em: <[http://www.bv.am.gov.br/portal/conteudo/meio\\_ambiente/compostagem.php](http://www.bv.am.gov.br/portal/conteudo/meio_ambiente/compostagem.php)>. Acesso em: 10/2003.

novos empregos e a economia de gastos com a compactação, a aterragem e a incineração do lixo. A coleta seletiva do lixo requer um trabalho de conscientização ecológica (um dos principais fatores para se implantar o desenvolvimento sustentável). Diariamente, em toda a bacia do Meia Ponte, são produzidas toneladas de lixo. Grande parte é jogada, inclusive, no rio e em seus afluentes. O problema do lixo traz implicações diversas, envolvendo questões ligadas à energia, ao espaço, ao dinheiro, à saúde e à preservação ambiental.

Diante do exposto, percebe-se a importância da coleta seletiva do lixo. Devem ser feitos planos com o objetivo de promover a coleta seletiva do lixo e de incentivar a reciclagem em todos os municípios da bacia. Porém, não há qualquer controle sobre a taxa de reciclagem nesses municípios. Assim, não há como fazer qualquer referência ao possível indicador, que poderia ser dado pela razão entre a quantidade de material reciclado (vidro, papel, embalagem de resina PET, lata de alumínio ou aço) e a quantidade total disponível no mercado, durante um período, em um determinado município da bacia.

### 3.17 Crescimento da População

A etapa de planejamento normalmente precede a prática. O crescimento sustentável necessita também de um planejamento eficiente. Para isso, deve-se levar em consideração séries estatísticas históricas e tendências que podem garantir o sucesso de ações e proporcionar um melhor sustento das populações atuais e futuras. Muitos desafios precisam ser vencidos, como equilibrar o crescimento populacional e a preservação do meio ambiente; erradicar a pobreza e a miséria e reduzir as desigualdades sociais. Por isso mesmo, a Agenda 21 estabeleceu princípios para o desenvolvimento sustentável ligados ao combate à pobreza e à miséria.

O crescimento populacional desordenado leva a novas ocupações de terra destinadas a agricultura e contribui para o esgotamento dos recursos hídricos. A carga ambiental é aumentada. A redução da reposição populacional mundial, alivia a pressão sobre o meio ambiente e facilita o suprimento das necessidades básicas dos seres humanos, como alimentação, saúde e educação. Por outro lado, o controle populacional implica submissão a determinadas políticas e, conseqüentemente, um desrespeito aos direitos humanos. Tentativas de controle populacional, muitas vezes, conduziram à violência, à discriminação e ao desrespeito à vontade dos indivíduos.

Apesar de não ter sido constatado um problemático aumento da taxa de crescimento populacional na bacia do rio Meia Ponte, nos últimos 20 anos, não se deve deixar de

monitorar o crescimento ou o decréscimo dessa população. Pode-se buscar subsídios para traçar planos de desenvolvimento, especialmente a longo prazo. É importante lembrar que os dados são amostrados em intervalos muito longos, normalmente em períodos de dez anos. Para alimentar um sistema que faça análises em períodos menores, seria necessário estimar os dados. Tal fato poderia levar a falhas de previsão ou estimação, porque os dados poderiam falsear a realidade.

### 3.18 Concentração de Renda

De acordo com (PNUD, 2002), na década de 90 e início desta, o Brasil apresentou uma das mais altas taxas de iniquidade do mundo, em se tratando de distribuição de renda em níveis regionais e entre as camadas sociais. Na bacia do rio Meia Ponte a situação não é diferente.

O problema da distribuição de renda no país é complexo e não terá solução em um curto espaço de tempo, pois depende de mudanças em diversos setores. As mudanças implicam a eliminação dos gastos públicos indevidos, da baixa qualidade da educação, dos crimes e delitos, dos rombos na previdência, etc.

A melhora do poder de compra da população atrai investidores e financiadores, aumenta o número de empregos e de novas oportunidades de investimentos. Logo percebe-se que mais importante do que uma alta renda *per capita* é uma distribuição de renda menos desigual. A adoção de um índice para mensurar tal desigualdade, na perspectiva sustentável é muito importante, pois esse instrumento permite o acompanhamento da variação da distribuição de renda ao longo dos anos, fornecendo subsídios para o planejamento de estratégias de combate às desigualdades sociais e à pobreza.

Existem alguns índices que poderiam ser adotados, como o índice Gini,<sup>7</sup> que é uma das medidas mais utilizadas para a mensuração do grau de determinada distribuição. Porém, não existe dados sobre a distribuição de renda nos municípios da bacia do rio Meia Ponte, o que impede o uso dessa variável neste estudo.

---

<sup>7</sup>O índice Gini é expresso por meio de uma escala de valores que varia de zero a um, da perfeita igualdade à perfeita desigualdade.

## 3.19 Prevalência de Desnutrição Total

Já dizia o ditado popular: “é melhor prevenir do que remediar”. Com certeza, a prevenção é o melhor investimento em saúde. Tão importante quanto acompanhar políticas de imunização e de saneamento é averiguar o estado nutricional das crianças. Ao menos as necessidades primárias nutricionais e de saúde das crianças devem ser atendidas, especialmente as das crianças na faixa de 0 a 5 anos. Neste período há uma maior vulnerabilidade biológica à desnutrição e à mortalidade e, conseqüentemente, nele se constata a maior morbidade.<sup>8</sup>

Segundo (TEIXEIRA; HELLER, 2004), a OMS preconiza que para estimar a prevalência de desnutrição podem ser identificadas manifestações de desnutrição aguda, crônica ou total, através de índices de peso/altura (P/A), altura/idade (A/I) e peso/idade (P/I), considerando uma população de referência composta por crianças bem nutridas e saudáveis.

O índice *altura por idade* pode indicar problemas de crescimento a longo prazo, sendo útil para a detecção da desnutrição crônica. A anormalidade no índice *peso por altura* pode indicar problemas de peso, auxiliando o diagnóstico de desnutrição aguda. Alterações do *peso por idade* não indica a cronologia da perda de peso, sendo um índice isolado - pode indicar tanto um fenômeno recente quanto um antigo.

Dentre os indicadores antropométricos (P/A, A/I e P/I), destaca-se o índice P/I como o mais utilizado, especialmente em crianças de até dois anos, em virtude das dificuldades operacionais encontradas pelos órgãos da saúde para obter a altura das crianças. O uso isolado do índice peso/idade é defendido pelo (IBGE, 2002), inclusive para indicar o estado nutricional da população infantil na faixa de até cinco anos de idade. A inexistência desses dados, das séries históricas sobre esses índices, inviabiliza estudos.

## 3.20 Mortalidade Infantil

Uma das formas de avaliação das condições de vida e de saúde de uma comunidade é mediante a sua taxa de mortalidade infantil, especialmente nos países menos desenvolvidos - já chamados de 3º mundo. A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em seu artigo 196 afirma que: “A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido

---

<sup>8</sup>Morbidade é a relação entre o número de casos de enfermidades e o de habitantes sãos, em dado lugar e momento. Fonte: Priberam, Dicionário da Língua Portuguesa On-Line. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>>. Acessado em março de 2004.

mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação”. Sendo assim, é importante para a sociedade o uso de indicadores que possibilitem verificar a defesa ou não dos direitos do cidadão e o cumprimento pelo Estado, de seus deveres.

A taxa de mortalidade infantil indica o número de crianças menores de um ano que nascem vivas e morrem em um curto espaço de tempo, num dado local. Pela mortalidade infantil é possível comparar a qualidade de vida de uma localidade em relação à outra.

Segundo (FILHO; ANDRÉS, 2003), as principais causas de morte de menores de um ano podem ser agrupadas da seguinte forma:

- crianças que morrem com até 28 dias de vida (neonatais):
  1. má-assistência ao pré-natal e ao parto:
    - falta de pré-natal adequado;
    - má-assistência ao parto: demora no atendimento e falta de leitos;
    - e ausência de pessoal qualificado para o atendimento do recém-nascido;
  2. crianças com baixo peso (menos de 2,5 kg), cujas mães:
    - são fumantes, alcoólatras ou viciadas em drogas;
    - tiveram graves problemas de saúde durante a gestação;
    - e encontram-se gravemente desnutridas;
  3. outras causas:
    - malformação genética;
    - malformação congênita (causada por problemas gestacionais, muitas vezes em virtude das doenças infecciosas das mães);
    - nascimento prematuro;
    - mães portadoras do HIV e não tratadas;
- crianças que morrem entre 28 dias e 1 ano de vida (pós-neonatais):
  1. sobrevivem os 27 primeiros dias de vida, morrendo posteriormente em consequência de doenças anteriores;
  2. sofreram desmame precoce;
  3. não recebem as vacinas adequadas;

4. encontram-se desnutridas (que apresentam maior facilidade de apresentar infecções);
  5. possuem problemas respiratórios;
  6. sofrem com doenças diarreicas (adquiridas por infecções transmitidas pela água, pelo lixo ou pela falta de saneamento básico);
- causas mal definidas, violência e acidentes: muitas crianças morrem em decorrência de maus tratos, acidentes domésticos e de trânsito, além de outras violências.

O subdesenvolvimento social e econômico contribui para a mortalidade infantil. Sua redução ou estagnação fica estribada às ações políticas e aos planos relacionados à saúde e à educação.

Tais medidas devem ser empreendidas com seriedade e comprometimento não somente por parte dos profissionais da saúde, da educação e de áreas afins mas também por parte das mães, dos pais, da sociedade como um todo, para que a redução do índice seja possível.

O índice da mortalidade infantil é obtido pela razão entre o número total de óbitos de crianças menores de um ano (nascidas vivas) e o número total de crianças nascidas vivas, em um mesmo período e local, multiplicado por mil. O resultado encontrado indica quantas crianças menores de um ano morrem a cada mil nascidas vivas.

As taxas de mortalidade infantil são classificadas, segundo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002), como altas (50 ou mais óbitos por 1000 crianças nascidas vivas), médias (20 a 49 óbitos por 1000 crianças nascidas vivas) e baixas (menos de 20 óbitos por 1000 crianças nascidas vivas), tendo como referência os países desenvolvidos.

## **3.21 Imunização Contra Doenças Infecciosas Infantis**

A imunização contra as principais doenças infecciosas infantis é uma das formas mais baratas de reduzir a mortalidade infantil e os gastos em geral com a saúde da criança. Esses cuidados são também indispensáveis para o bom estado de saúde do indivíduo durante toda a vida. Os programas de prevenção às doenças infecto-contagiosas indicam a situação da saúde infantil no país e a importância dada, pelo Poder Público, aos serviços de medicina preventiva. O índice da cobertura é obtido pela relação entre o total da população menor de um ano de idade beneficiada por um programa de vacinação específico e completo e o total da população menor de um ano de idade. Esse programa inclui a



vacina contra a tuberculose (BCG), a tríplice-bacteriana (DPT - contra difteria, coqueluche e tétano), a vacina contra o sarampo e contra a poliomielite. Certas informações apresentadas pelo (DATASUS, 2003) são destorcidas e incoerentes. Existem municípios na bacia do rio Meia Ponte que apresentam taxas de cobertura acima de 100%. Isso ocorre porque não há um controle populacional nos municípios tão eficiente quanto o controle de eleitores feito pelo Tribunal Regional Eleitoral - que fica sabendo se uma pessoa está em outro município e se justificou o seu voto neste local, por exemplo. Esse tipo de problema impede a utilização desse indicador para fazer análises sobre o trabalho preventivo desenvolvido nos municípios e também sobre a eficiência das campanhas de vacinação.

## 3.22 Mortalidade Materna

A averiguação da qualidade da assistência pré-natal e ao parto é muito importante para a saúde da mãe e do bebê. A taxa de mortalidade materna é um indicador do número de óbitos femininos em virtude da maternidade por 100.000 crianças nascidas vivas, em determinado local e período.

A morte materna, segundo a CID-10, é a morte de uma mulher durante a gestação ou dentro de um período de 42 dias após o término da mesma, independentemente da duração ou localização da gravidez, por qualquer causa relacionada/agravada pelo estado de gravidez ou por medidas tomadas em relação a esse estado, excluindo-se as causas acidentais ou incidentais.

A mortalidade materna é um indicador das condições de vida da população, da qualidade da atenção à saúde da mulher e do risco de morte materna mediante a frequência de óbitos das mães durante o parto em um grupo de 100.000 bebês nascidos vivos. As mortes de mulheres em idade fértil, por causas ligadas à gravidez, ao parto e ao puerpério,<sup>9</sup> são atualmente, em sua maioria, passíveis de prevenção. Segundo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002), a OMS afirma que em 1990, 95% dos óbitos maternos do mundo ocorreram nos países em desenvolvimento; na América Latina, estima-se que 98% das mortes maternas poderiam ser evitadas, se, nestes países, as mulheres tivessem condições de vida e saúde semelhantes às dos países desenvolvidos.

Esse indicador pode ser qualificado como um averiguador da qualidade deficiente dos cuidados oferecidos à população, em especial, às mulheres. De acordo com os padrões

---

<sup>9</sup>Puerpério é o período que vai do parto até o completo restabelecimento da mãe. Fonte: Priberam, Dicionário da Língua Portuguesa On-Line. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>>. Acessado em abril de 2004.

estabelecidos em (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002), considera-se muito elevada a taxa de mortalidade materna acima de 20 óbitos maternos por 100 mil crianças nascidas vivas.

Porém, vale lembrar que tal interpretação deve ser cautelosa, haja vista que a elevação da taxa de mortalidade materna nem sempre indica um aumento real de óbitos maternos, posto que ela pode estar associada à melhoria da qualidade de informações ou registros dos óbitos das mulheres em idade fértil. Apesar disso, a taxa de mortalidade materna ainda é considerada um indicador da necessidade maior ou menor de investimentos na assistência obstétrica, assim como na melhoria das condições de vida da população.

### 3.23 Escolaridade

Uma das causas mais importantes do estado de subdesenvolvimento de uma nação é o ensino deficiente. A baixa escolaridade se torna um entrave ao crescimento da renda *per capita*, à atenuação das desigualdades sociais, em fim, ao desenvolvimento da economia. A saúde, a evolução tecnológica e científica, a política, a segurança, o trânsito, entre outros, são todos afetados pelo índice de escolaridade da população.

Cada ano de escolaridade secundária aumenta a renda em 11% em relação à renda dos trabalhadores que têm apenas instrução primária, e um diploma universitário de quatro anos aumenta a renda em mais 85%.

(BID, 2003)

Essa pesquisa mostra a importância do ensino médio e superior para melhorar a renda de uma pessoa.

A avaliação educacional de um povo abarca tanto pessoas dentro da faixa etária escolar quanto as que não estão. Uma maneira simples de resolver esse problema é a utilização de indicadores para ambas as faixas.

Para verificar o nível educacional da população que está fora da faixa etária escolar, sugere-se a tomada da quantidade média de anos estudados para a população que tem acima de 24 anos (25 anos de idade ou mais). Assim, é possível observar a evolução ou não do número de anos estudados pela população que se encontra acima da faixa etária escolar.

No entanto, a escolaridade não revela as discrepâncias que existem na população amostrada, e não informa também os subníveis educacionais existentes dentro da mesma.

Além disso, não há levantamentos de dados sobre a situação do grau de escolaridade da população da bacia do rio Meia Ponte.

### **3.24 Escolarização**

Conforme o exposto na seção 3.23, avaliar a educação não é uma tarefa muito simples. Não se trata apenas de saber qual é a percentagem da população que sabe ler e escrever, ou a escolaridade da população que está fora da idade escolar. Deve-se considerar as pessoas que estão dentro e as que estão fora da faixa etária escolar.

A taxa de escolarização é obtida pela relação entre a população infanto-juvenil que freqüenta a escola, discriminada por faixas etárias, e o total geral da população infanto-juvenil da mesma localidade, em um mesmo período. Desse indicador abstrai-se as faixas etárias que têm acesso à educação, desde as faixas do ensino pré-escolar às faixas do ensino superior. Desta discriminação, por faixas etárias, se deduz quais são as faixas em que os estudantes começam a sofrer maiores dificuldades em levar adiante os estudos, considerando-se quais são as fases mais problemáticas pelas quais passam os estudantes. Essas informações propiciam à Administração criar planejamentos mais eficientes no combate à evasão escolar e à baixa escolaridade da população adulta. Entretanto, na região estudada, os dados sobre a taxa de escolarização não foram encontrados, impossibilitando o uso desse indicador em qualquer tipo de estudo.

### **3.25 Alfabetização**

A taxa de alfabetização é abstraída da relação entre as pessoas adultas capazes de ler e escrever e a população adulta total. Ela indica a percentagem da população que teve acesso ao mais básico dos propósitos educacionais.

Para implementar políticas de desenvolvimento sustentável, não há receitas. Cada região possui suas peculiaridades. Em se tratando de países desenvolvidos, com taxas de alfabetização próximas a cem por cento, não faz sentido o uso desse indicador. Já na bacia do rio Meia Ponte, assim como em quase todo o Brasil, esse indicador é bastante relevante. Existe uma grande parcela da população, maior de 15 anos de idade, que não sabe ler e escrever no país.

Diariamente, o mercado de trabalho recebe jovens e adultos não-qualificados por falta de estudo. A educação formal básica é fundamental para o desenvolvimento de habilidades

cognitivas. Daí a importância da alfabetização: constitui condição indispensável para o crescimento intelectual (é um primeiro degrau), para a capacitação profissional, para o exercício da cidadania.<sup>10</sup>

As taxas de alfabetização e de escolaridade, mostram a evolução da área educacional ao longo dos anos. A alfabetização de adultos, assim, representa um dos indicadores-chave para compor uma boa avaliação do aspecto educacional. Este índice não é disponibilizado anualmente. Os dados normalmente são encontrados agrupados por Unidades Federativas ou macro-regiões e de acordo com censos demográficos decenais, realizados pelo IBGE.

## 3.26 Analfabetismo Funcional

Embora a taxa de analfabetismo indique o percentual da população que sabe ler e escrever, ela é um indicador insuficiente, pois não averigua a capacidade de uma pessoa alfabetizada em compreender, efetivamente, um texto relacionando-o com outras informações. Por esta razão, a avaliação da educação não deve ser feita apenas do ponto de vista quantitativo. É necessário que se verifique a eficácia do setor.

Segundo a matéria “Analfabetismo funcional atinge 38% em pesquisa”, da Folha de São Paulo, publicada no dia nove de setembro de 2003, apenas 25% da população brasileira maior de 15 anos de idade possui domínio satisfatório das habilidades de escrita e leitura.

No Brasil, nos últimos anos, tem ocorrido a redução da taxa de analfabetismo, um fato aparentemente animador, porque apenas mascara a situação deficitária da educação no país. Melhor dizendo, o índice de alfabetização cresceu, todavia a qualidade da educação piorou. As autoridades, preocupadas com dados estatísticos, aumentaram o número de crianças nas escolas, por meio de bolsas, merendas escolares, esquecendo-se de investir na qualidade do ensino.

Afinal, o que seria mais importante reduzir, o número de analfabetos, o número de analfabetos funcionais ou ambos? Considerações como essa permitem melhores reflexões sobre a verdadeira situação da educação no Brasil. O desenvolvimento intelectual, o exercício de cidadania e a adequação da mão-de-obra ao mercado de trabalho não se fazem com o aumento do número de analfabetos funcionais, pois aquele que somente é capaz de assinar o próprio nome não deveria ser considerado alfabetizado.

---

<sup>10</sup>Cidadania também significa exercer os direitos políticos. Os analfabetos exercem facultativamente a cidadania ativa (o voto) e são impedidos de exercer a passiva (o direito de ser votado). Fonte: Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

O desenvolvimento sustentável se apóia na educação, pois a conscientização ecológica advém da reflexão, do conhecimento.

### **3.27 Coeficiente de Mortalidade por Homicídio**

É sabido que a criminalidade gera grandes custos sociais e econômicos ao Estado. O investimento em segurança tem crescido muito nos últimos anos, tanto por parte da iniciativa privada quanto por parte da pública, em virtude do aumento da violência nos grandes centros.

A mortalidade por causas violentas é a que mais tem aumentando no Brasil, especialmente entre os jovens do sexo masculino. A adoção de medidas de segurança pública não tem surtido grande efeito nos últimos anos. Os investimentos são altos e a regressão do fenômeno não tem ocorrido. Esse problema também prejudica o desenvolvimento na região da bacia.

As conseqüências são muitas, como, a redução da população jovem masculina, o aumento da violência nas ruas, o confinamento das pessoas em suas próprias casas e a intranqüilidade geral - que aumenta o estresse, afetando o estado de saúde das pessoas.

A qualidade de vida é muito comprometida pela violência. Para reverter esse quadro, visando colaborar com o crescimento sustentável, sugere-se o acompanhamento do problema, que permite identificar as regiões mais violentas e os períodos de maior possibilidade de ocorrência de mortalidade por causas violentas. Esse indicador permite às autoridades realizar um melhor planejamento para ações a curto, médio e longo prazo.

Para compor o indicador, são necessárias duas variáveis: os óbitos por homicídios e a população total. A relação entre a primeira e a segunda, multiplicada por 100.000 expressa o indicador, o qual fornece o número de mortes causadas por homicídios em grupos de 100.000 habitantes. Esse indicador também é inviável para o trabalho proposto porque a Administração de Goiás e a de seus municípios não possuem dados sobre este tipo de morte violenta.

### **3.28 Terras Aráveis**

O Brasil é considerado um país de grande potencial agrícola. Sabe-se que esse potencial ainda não está sendo explorado em sua totalidade.

As terras aráveis são as áreas de terrenos agrícolas utilizadas ou possíveis de serem utilizadas para a produção de alimentos. Em qualquer estado, para se atingir metas de desenvolvimento, observa-se principalmente o aspecto econômico. Na região em estudo, esse desenvolvimento se baseia nos agronegócios.

As estimativas apontam um constante crescimento da população. Para alimentar essa população e comercializar o excedente, gerando divisas, faz-se necessário o aumento da produção de alimentos. O aumento da produção pode ser obtido pelo aumento da produtividade e pelo aumento da área plantada. Na prática agrícola, considera-se o uso da água para a irrigação, o uso de defensivos agrícolas e fertilizantes, a geração de capital e empregos, o uso do solo, os investimentos em pesquisas. Daí a importância desse indicador.

Para buscar o aumento da produção, é indispensável considerar a produtividade das lavouras, observada, geralmente, em sacas por hectare. O fator uso do solo na agricultura é empregado não somente para averiguar a produtividade da região, mas, acima de tudo, para expressar o potencial econômico da região e permitir às autoridades uma maior previsibilidade para planejar e criar novas políticas de desenvolvimento.

Nesta ótica, torna-se imprescindível tal averiguação, indicando a superfície de terras cultiváveis disponíveis para a produção de alimentos. O indicador é expresso pela relação entre a soma destas áreas (lavouras permanentes, lavouras temporárias em utilização e em descanso e terras produtivas não utilizadas) e o total do território considerado. O índice é dado em termos percentuais - não significa o total de terras potencialmente cultiváveis. Este indicador também não é disponibilizado pela Administração por falta de pesquisas.

### **3.29 PIB Per Capita**

Um importante indicador do índice de desenvolvimento de uma região é a renda *per capita*, expressa pelo PIB - escolhida pela ONU como um dos três fatores considerados para expressar o IDH, juntamente com a expectativa de vida e a educação.

Do ponto de vista econômico, a renda *per capita* reflete o potencial de um dado mercado consumidor. Porém, em países subdesenvolvidos, ela não é um bom indicador por si próprio, posto que normalmente a renda é muito mal distribuída nesses países. Tal fenômeno é facilmente constatado pelo *ranking* dos países ordenados pelo PIB *per capita*. Existem países em que o PIB é relativamente alto, e o padrão de vida é baixo. A má distribuição de renda propicia o atraso, e o subdesenvolvimento de muitos países. Sendo assim, o indicador PIB *per capita* juntamente com o de distribuição de renda, pode ser

um bom índice econômico.

A utilização, pelo Estado, de um indicador de grande importância (tanto isoladamente quanto em conjunto com outros) é essencial para a adoção de políticas de desenvolvimento econômico e para a efetiva monitoração das mesmas, em uma determinada região, e, conseqüentemente, para o seu desenvolvimento sustentável.

Desse modo, pode-se concluir que o nível médio de renda da população, bem como a sua variação, é um “termômetro” do ritmo de crescimento econômico de uma região.

### 3.30 Investimento no Município

A taxa de investimento num município é um indicador de incremento da capacidade produtiva da economia, em determinada região, em um determinado período. Do ponto de vista socioeconômico, uma forma bastante simples de avaliar a atratividade e o progresso sustentável de uma região é por meio da verificação do capital investido nela.

A taxa de investimento de um município, caso seja alta, pode atrair novos investimentos, pois uma região que recebe muitos investimentos denota confiança e credibilidade.

A análise de dados sobre o PIB e a formação bruta de capital fixo (gastos em investimentos públicos e privados) pode revelar vários aspectos de uma região, como, quanto o governo investiu, quanto as empresas investiram e qual a atratividade da região.

Os investimentos no PIB se convertem num considerável componente financeiro que acelera o ritmo do desenvolvimento econômico de uma região. Esse indicador permite averiguar o progresso nas demais áreas e relacioná-lo ao investimento no mesmo período, além de permitir ainda uma avaliação da eficiência dos investimentos. Isso possibilita planejamentos e previsões mais realísticas sobre a região.

O indicador (em termos percentuais, mas indisponível para estudos) advém da relação entre o montante de verbas destinadas à formação bruta de capital fixo (gastos em investimentos públicos e privados) e o PIB.

### 3.31 Balança Comercial

Outro importante indicador para a análise econômica de uma região é a balança comercial. Por se tratar de um saldo comercial, a balança é um indicador de mudança de competitividade no cenário regional e nacional, mostrando também a dependência econô-

mica e a vulnerabilidade da região frente ao mercado financeiro. Uma das propostas feitas na Agenda 21 é a alocação mais eficiente dos recursos nacionais, e regionais, e mundiais, mediante aberturas comerciais, estimulando a transferência de inovações tecnológicas, o que traz benefícios à política do desenvolvimento sustentável.

Sendo balança comercial formada pela diferença entre as importações e as exportações de determinada região, em um determinado intervalo de tempo, ela se torna um indicador da relação entre a economia local e outras economias, pelo saldo das importações e exportações, em um determinado período. Isto é, o saldo comercial da região.

Assim, por ser a balança comercial um indicador econômico, sugere-se a sua presença no quadro de indicadores de desenvolvimento sustentável. Porém, na região da bacia do rio Meia Ponte, não foi encontrado qualquer dado sobre a balança comercial dos municípios; foram encontradas informações somente sobre o estado e sobre a região Centro-Oeste.

### 3.32 Grau de Endividamento

É muito importante observar indicadores como o PIB *per capita*, a taxa de investimento e a balança comercial. Contudo, alguns aspectos sobre a situação financeira de um país ou uma região, ainda não ficam bem claros somente com essas informações. Para isso, pode-se adotar o grau de endividamento, que expressa a situação de um determinado município em relação às suas dívidas líquidas. A razão entre as dívidas do município e o seu respectivo PIB expressa a relação entre as obrigações financeiras e a produção corrente do município. À medida que as cotas para o pagamento da dívida são aumentadas, o índice é aumentado também, conseqüentemente, são desviadas as verbas que poderiam estar sendo utilizadas em prol do desenvolvimento. Para se alcançar o desenvolvimento sustentável, é necessária a disponibilidade de recursos financeiros suficientes para o financiamento de políticas de proteção ambiental e de desenvolvimento socioeconômico.

O monitoramento da provisão dos recursos financeiros possibilita que as fontes de recursos e de investimentos sintam uma maior confiança na administração municipal - confiança revelada pela responsabilidade e seriedade do credor para com o resgate de suas dívidas. Conseqüentemente, dados precisos e seguros propiciam oportunidades para novos planos e novos investimentos.

Assim, o grau de endividamento expressa, em termos percentuais, a razão da dívida total líquida de um município e o seu respectivo PIB. As informações referentes às dívidas públicas nos municípios não foram obtidas para esta pesquisa.



### 3.33 Consumo de Energia *Per Capita*

A idéia de desenvolvimento econômico costuma estar atrelada ao consumo de energia de um país ou de uma região. Todavia, este desenvolvimento não é, na maioria das vezes, sustentado. Ele exerce pressão ambiental, especialmente sobre os recursos renováveis e os não-renováveis.

É necessário implementar políticas de melhor aproveitamento da energia, porque as políticas de limitação de uso não são confortáveis e nem indicadas, especialmente em regiões menos desenvolvidas, pois oferecem grandes riscos ao crescimento local.

Tendo em vista a fragilidade econômica dessas regiões, a busca de uma maior eficiência energética é muito importante. O uso racional da energia, especialmente daquelas provindas de fontes não-renováveis, deve ser incentivado. O aumento da eficiência energética, que permite uma melhor exploração dos recursos e uma utilização sustentável do meio ambiente.

Para a composição deste indicador, consumo de energia *per capita*, deve-se relacionar o consumo de energia (não industrial) útil ao longo de um determinado intervalo de tempo e em uma determinada região com a população total desta. Assim, encontra-se o consumo final de energia por habitante, em uma dada região.

Os dados para a averiguação do consumo de energia podem ser dados em toneladas equivalentes de petróleo (tep); em seguida são convertidos para GJ - Gigajoules, adotando-se o parâmetro fornecido pelo Ministério das Minas e Energia (1 tep = 45,22 GJ). Para o consumo de energia elétrica, há disponibilidade de dados; porém, não foi possível encontrar dados referentes ao consumo de outras fontes, como de derivados de petróleo e álcool.

### 3.34 Intensidade Energética

Conforme o exposto na seção 3.33, um dos principais indicadores da economia de uma região é o consumo de energia. Assim, quando o consumo energético aumenta em um determinado período e em uma determinada região, deduz-se que a economia melhorou naquela região durante o respectivo período de observação.

Em grande parte isso é verdade, contudo, não chega a ser uma verdade absoluta e nem um indicador de crescimento sustentável, haja vista que o desperdício pode estar aumentando muito em relação ao crescimento econômico. Interessante seria constatar a

relação entre o crescimento econômico e o consumo de energia, e não atribuir o crescimento econômico ao crescimento do consumo energético.

Nesse sentido, sugere-se como indicador de crescimento econômico sustentável a relação entre o consumo final energético de uma região (para este estudo, um município) e o respectivo PIB, no intervalo de um ano.

A primeira variável, consumo final de energia, pode ser expressa em toneladas equivalentes de petróleo (tep). Dessa forma, toda a energia utilizada durante um período, em uma determinada região, provinda de todas as fontes, devem ser convertidas para tep. A segunda variável, PIB, pode ser expressa em reais.

A eficiência energética permite averiguar aspectos como: relação entre gastos energéticos sobre os custos totais da produção; impactos e custos ambientais decorrentes de processos produtivos; previsão de demanda energética e outros.

Dessa forma, aumentar a eficiência energética implica no melhor aproveitamento dos recursos energéticos e em um melhor planejamento de crescimento sustentável. Entretanto, nos municípios da bacia não há dados disponíveis sobre o consumo de energia provinda de diversas fontes, o que inviabiliza a utilização do seu potencial para qualquer tipo de estudo.

### **3.35 Participação de Fontes Renováveis na Oferta de Energia**

Por se tratar de uma região caracterizada principalmente por atividades agropecuárias, é comum o equívoco de considerá-la como uma região silvícola. Na verdade, várias atividades industriais se desenvolveram na região, e, por isso, pode se dizer que se trata de uma região relativamente bem povoada. Por esta razão, a economia e a produção dependem muito do bom fornecimento de energia. Atualmente, vários setores se encontram em um estágio de dependência de fontes energéticas não-renováveis como o petróleo. A utilização dessas fontes é considerada insustentável a longo prazo, sendo, portanto, insustentáveis (esgotam-se). Todavia, outras fontes renováveis de recursos energéticos podem satisfazer os anseios da humanidade sem deixar a desejar, desde que adotadas medidas de gestão sustentáveis.

Com o objetivo de averiguar a tendência do desenvolvimento sustentável, é importante considerar a participação das fontes renováveis sobre o total da energia consumida, em

uma dada região, em um determinado período.

Para este cálculo, consideram-se as principais fontes energéticas não-renováveis utilizadas (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e derivados, urânio e derivados) e as principais fontes energéticas renováveis (hidráulica, lenha e carvão vegetal, derivados de cana-de-açúcar e outras fontes primárias renováveis). Há de se destacar que lenha e carvão vegetal podem ser considerados como fontes renováveis de energia, desde que não extraídos de matas nativas.

Deve-se perceber que a exploração sustentável de fontes de energia é de grande valia para a economia de um país/região e para a preservação ambiental. O uso de fontes renováveis de energia garante às futuras gerações o acesso aos benefícios trazidos por ela.

O indicador é composto, em termos percentuais, pela relação entre o total de energia consumida em uma determinada região, provinda de fontes renováveis (durante um ano) e o total de energia consumida na mesma região, durante o mesmo intervalo de tempo. Conforme o exposto nas seções 3.33 e 3.34, não existem dados sobre o consumo de energia dos municípios (exceto de energia elétrica), e nem há estimativas seguras sobre o uso e a fonte desta.

### 3.36 Índice de Desemprego

O desemprego é um dos principais problemas enfrentados não só pela população da bacia do rio Meia Ponte, mas também por todo o Brasil e também pela população de alguns países mais ricos. Surgiram variadas explicações para o problema, incontáveis estratégias para resolvê-lo, pois, é um dos principais determinantes dos níveis de pobreza de uma sociedade.

O desemprego deixou de ser um problema estritamente econômico, despontando como um dos mais graves problemas sociais. Por isso mesmo, a taxa de desemprego aparece hoje como um importante indicador social. Além disso, também é utilizada para se analisar o mercado de trabalho, porque mostra a deficiência do sistema econômico em prover oportunidades de emprego a todos que anseiam participar do sistema produtivo.

O uso deste indicador é de relevante importância para a verificação de sustentabilidade em uma região, considerando que ele permite, a longo prazo, o acompanhamento da participação da população economicamente ativa nos processos produtivos. Assim, consegue-se, de alguma forma, o que tem sido feito de acordo com as propostas da Agenda

21, como a busca da equidade, da inclusão social e da redução da pobreza.

Este indicador, índice de desemprego, dado em termos percentuais, é formado pelo cociente da razão entre a população desocupada e a população economicamente ativa de uma determinada região, ao longo de um intervalo de tempo. Algumas metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro apresentam estudos que lidam com esses dados constantemente, ao passo que em cidades menores, como as que fazem parte da bacia do Meia Ponte, não existem pesquisas sobre o assunto, inclusive em Goiânia.

### 3.37 Considerações Acerca do Uso dos Indicadores

Durante a fase de estudo e coleta de dados, foram constatadas dificuldades referentes à utilização das variáveis para desenvolver um sistema especialista, no que diz respeito à formação do rol de indicadores selecionados. Alguns impedimentos foram mais relevantes e apareceram com maior destaque, dentre eles:

1. ausência de séries históricas ou dados estatísticos;
2. dados estatísticos distorcidos ou desconceituados;
3. inexpressividade do indicador;
4. dificuldade de modelagem ou de extração de regras;
5. necessidade de equipe de especialistas diversos para tratar adequadamente assuntos variados;
6. altíssimo grau de complexidade do estudo;
7. falta de correlações e estudos sobre indicadores de naturezas diversas;
8. altíssimo grau de sensibilidade do sistema.

Destes, o primeiro aparece com maior frequência - a maioria dos índices pesquisados não apresentava dados estatísticos ou séries históricas. Na tabela 3, pode-se constatar quais os indicadores que estavam nessa situação.

<b>Indicador</b>	<b>Disponibilidade</b>
Uso de Fertilizantes	Não há
Uso de Agrotóxicos	Não há
Terras Adequadamente Manejadas	Não há
Áreas Remanescentes e Desflorestamento	Não há
Espécies Extintas e Ameaçadas de Extinção	Não há
Reciclagem	Não há
Concentração de Renda	Não há
Prevalência de Desnutrição Total	Não há
Escolaridade	Não há
Escolarização	Não há
Analfabetismo Funcional	Não há
Terras Aráveis	Não há
PIB <i>per capita</i>	Não há
Investimento no Município	Não há
Grau de Endividamento do Município	Não há
Consumo de Energia <i>per capita</i>	Não há
Intensidade Energética	Não há
Participação de Fontes Renováveis na Oferta de Energia	Não há
Índice de Desemprego	Não há

Tabela 3: Indisponibilidade de Dados para Indicadores.

Para outros indicadores, da forma que certos dados foram apresentados, deduz-se que eles não são confiáveis; outros indicadores apresentam lacunas nas séries históricas, o que impossibilita o trabalho concomitante com outros indicadores durante um mesmo período, outros são inexpressivos. A tabela 4 apresenta estes indicadores e o seu respectivo problema.

<b>Indicador</b>	<b>Problema</b>
Concentração de Poluentes no Ar	Lacuna(s) na série histórica
Vazão	Lacuna(s) na série histórica
Concentração de Poluentes na Água	Lacuna(s) na série histórica
Queimadas e Incêndios Florestais	Inexpressivo
Crescimento da População	Dados estimados
Mortalidade Infantil	Lacuna(s) na série histórica
Imunização Contra Doenças Infecciosas Infantis	Dados não confiáveis
Mortalidade Materna	Lacuna(s) na série histórica
Alfabetização	Lacuna(s) na série histórica
Coefficiente de Mortalidade por Homicídio	Lacuna(s) na série histórica
Balança Comercial	Lacuna(s) na série histórica

Tabela 4: Dados Disponíveis não Aproveitáveis.

Diante desta pesquisa, foi constatado que apenas oito indicadores ( $\simeq 22,22\%$ ), dentre os trinta e seis, apresentavam dados suficientes para fazer algum tipo de trabalho em conformidade com o planejado neste estudo. A tabela 5 apresenta estes índices.

<b>Indicador</b>	<b>Disponibilidade</b>
Tratamento de Esgoto	Há
Áreas Protegidas	Há
Queimadas e Incêndios Florestais	Há
Acesso ao Sistema de Abastecimento de Água	Há
Acesso à Rede de Esgoto Sanitário	Há
Acesso ao Serviço de Coleta de Lixo Doméstico	Há
Destinação Final do Lixo	Há
Crescimento da População	Há

Tabela 5: Dados Disponíveis.

Em face dessa situação, não há falar em estimativa de sustentabilidade em um município ou região. A pobreza de dados inviabiliza qualquer estudo nesse sentido. Sucinamente, pode-se explicar, relativamente bem, o porquê desse impedimento por meio das seguintes observações:

- com base na percentagem de esgoto coletado tratado, nas áreas protegidas por instrumentos legais e no número de focos de calor detectados por satélite, não há

qualquer possibilidade de se avaliar ou de se estimar o quão preservado ou o quão agredido o meio ambiente está;

- embora o acesso ao sistema de abastecimento de água, à rede de esgoto, ao serviço de coleta de lixo e o destino final do lixo são consideráveis, quanto a questão sanitária de um município, muitos aspectos ainda ficam a desejar no quesito social - questões como educação, segurança, equidade, saúde materno-infantil, pública em geral, ainda ficam sem respostas;
- os aspectos econômicos não podem ser avaliados pela indisponibilidade de dados.

### 3.38 Refinamento da Pesquisa

Como visto na seção 3.37 (página 65), dentre os trinta e seis indicadores pesquisados, vários apresentaram certos problemas para o seu uso. Essas adversidades impossibilitaram a implementação de um sistema nebuloso especialista desenvolvido para a avaliação do desenvolvimento sustentável nos municípios da bacia do rio Meia Ponte. Em razão disso, foram feitas mudanças nos planos iniciais.

Por ser totalmente refutável a idéia de avaliação de desenvolvimento sustentável, como um todo, analisando apenas alguns indicadores ambientais, sociais e econômicos, surgiu uma idéia mais razoável para o trabalho: o estudo mais detalhado de um dos três aspectos principais de sustentabilidade (ambiental, econômico e social).

Ao longo da primeira fase de estudo, constata-se uma ênfase um pouco maior para a área ambiental - talvez porque seja o principal pilar da sustentabilidade. Então, haveria maior razoabilidade pelo estudo desta.

Definido um novo marco para o trabalho, foi verificado novamente quais variáveis seriam e quais não seriam aproveitadas. Pela tabela 6, pode-se constatar a situação dos indicadores de cunho predominantemente ambiental.

Indicador	Situação
Concentração de Poluentes no Ar	Lacuna(s) na série histórica
Vazão	Lacuna(s) na série histórica
Concentração de Poluentes na Água	Lacuna(s) na série histórica
Tratamento de Esgoto	Dados Disponíveis
Uso de Fertilizantes	Dados Indisponíveis
Uso de Agrotóxico	Dados Indisponíveis
Terras Adequadamente Manejadas	Dados Indisponíveis
Queimadas e Incêndios Florestais	Dados Inexpressivos
Áreas Remanescentes e Desflorestamento	Dados Indisponíveis
Áreas Protegidas	Dados Disponíveis
Espécies Extintas e Ameaçadas de Extinção	Dados Indisponíveis

Tabela 6: Disponibilidade de Dados Ambientais.

Considerando o lapso temporal, pode-se constatar pequenos intervalos de tempo onde é possível encontrar dados de alguns indicadores concomitantemente - veja tabela 7.

Indicador	Ano												
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
Poluentes no Ar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
Vazão	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-
Poluentes na Água	-	-	X	X	-	X	-	-	-	X	X	X	-
Tratamento de Esgoto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Uso de Fertilizantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uso de Agrotóxico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ter. Adeq. Manej.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Queimadas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Desflorestamento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Áreas Protegidas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Extinção de Espécies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 7: Disponibilidade de Dados ao Longo dos Anos.



Na tabela anterior, onde há a ocorrência do “X” há a disponibilidade do dado, ao contrário do que ocorre quando há o “-”. Assim, constatam-se apenas três curtos períodos sendo possível trabalhar com até cinco variáveis:

- 1992-1993 e 1995: vazão, índice de qualidade da água, tratamento de esgoto, queimadas e incêndios florestais e áreas protegidas;
- 1999-2001: índice de qualidade do ar, índice de qualidade da água, tratamento de esgoto, queimadas e incêndios florestais e áreas protegidas.

Porém, é importante fazer algumas considerações sobre determinados aspectos:

1. índice de qualidade do ar: expressa a concentração de poluentes no ar e, da forma como é averiguado, pode ser considerado incoerente para fazer uma avaliação de um município, haja vista que o município onde aparece o maior número de estações de amostragem conta com apenas dois pontos (Goiânia, na Praça do Trabalhador e na Praça do Terminal Izidória);
2. vazão: é um indicador de difícil modelagem porque o regime das águas é sazonal, é muito sensível e pode ser influenciado por uma série de fatores que não implicam necessariamente condições danosas ao meio ambiente;
3. índice de qualidade da água: expressa a concentração de poluentes na água e uma série de outros fatores; várias são as formas de se compor um índice e determinar essa qualidade e, da forma como é fornecido o dado, este diz respeito apenas a qualidade de água corrente para o consumo, por isso depende do contexto que o índice é aplicado para que se possa dizer se ele é coerente ou não;
4. tratamento de esgoto: em termos percentuais pode ser bom indicador de desenvolvimento sustentável, todavia, ao se considerar apenas o ponto de vista ambiental, já não é mais tão expressivo; por exemplo, uma cidade com dez mil habitantes sem tratamento de esgoto, a princípio, polui muito menos do que uma cidade com um milhão de habitantes e com tratamento de 98% do seu esgoto;
5. áreas protegidas: também é bom indicador de desenvolvimento sustentável, porém, se a análise é feita considerando apenas aspectos ambientais, o indicador perde a sua expressividade, posto que a análise passa a ser um pouco mais criteriosa e considera aspectos que não são descritos apenas em termos de área protegidas por instrumentos legais;

6. queimadas e incêndios florestais: o número de focos de calor, detectados por satélites, não consegue expressar o dano potencial ao meio ambiente, porque não é capaz de distinguir qual tipo de vegetação é atingida, se o fogo está consumindo pastagens, se o fogo está sendo usado para criar aceiros, ou seja, não informa o verdadeiro dano que a queimada causa ao meio ambiente;
7. pobreza de informações: utilizando apenas estes indicadores, não há como avaliar adequadamente alguns aspectos básicos, no que diz respeito ao meio ambiente (a flora e a fauna, o solo, as águas superficiais e subterrâneas, a emissão de partículas e substâncias poluentes no ar e o uso de alguns recursos naturais).

Uma série de críticas ainda poderia ser feita sobre cada um dos indicadores citados nesse capítulo. Muito há de ser feito para que se busque indicadores mais concisos e mais coerentes. Faltam muitos dados e pesquisas nesse sentido. Por isso, muitas possibilidades para o desenvolvimento de um software foram eliminadas. Diante disso, e de uma série de outros fatores, não seria razoável a tentativa de implementação de um sistema de avaliação de desenvolvimento sustentável na bacia do rio Meia Ponte. O sistema proposto, modificado, trata apenas de um aspecto de sustentabilidade, e é discutido no capítulo 5.

## 4 *Sistemas Especialistas*

Um sistema especialista nada mais é do que um programa computacional que faz uso de conhecimentos e de procedimentos de inferência com o intuito de resolver problemas que exigem, por parte do ser humano, um considerado domínio do assunto. Dessa forma, essas aplicações são construídas para fornecer avisos (decisões, soluções ou recomendações) como os que seriam dados por especialistas, se estes fossem consultados.

### 4.1 **Conceitos Básicos**

Para que estes softwares sejam aptos para fornecer avisos, é necessário que se capture o conhecimento de um especialista, que se tenha um programa capaz de explorá-lo e que exista uma forma coerente de expressar esse conhecimento ao sistema. Para isso, os sistemas especialistas apresentam três principais componentes:

1. interface com o usuário: permite uma comunicação amigável entre o usuário e o sistema, especialmente quando é feita em linguagem natural, porém é bastante comum encontrar essa interface implementada através de formulários eletrônicos, menus, gráficos e práticas de pergunta e resposta;
2. base de conhecimentos: é responsável pelo armazenamento do conhecimento necessário para a compreensão, formulação e solução do problema; a base pode incluir os fatos (situações possíveis de ser encontradas pelo sistema) e as regras ou heurísticas formuladas para buscar soluções;
3. máquina de inferência: também conhecida como motor de inferência, é a estrutura central do sistema, representada por um programa que explora a base de conhecimento e o quadro-negro (discutido posteriormente), quando este existe, e formula a conclusão. Em sistemas especialistas baseados em regras, também é conhecida como *interpretador de regras*.

Outra peculiaridade observada nos sistemas especialistas, segundo (TURBAN; ARONSON; LIANG, 2004), é a presença das seguintes características:

- perícia: sendo capaz de lidar com problemas que exijam um maior grau de entendimento sobre um determinado problema, esses sistemas são aptos para prover laudos parecidos com aqueles que seriam elaborados por especialistas humanos;
- raciocínio simbólico: utiliza-se o raciocínio simbólico em vez de cálculos matemáticos para que se possa inferir sobre o conhecimento, que por sua vez deve ser representado simbolicamente;
- auto-conhecimento: para que possa explicar porque chegou a determinada conclusão, o sistema especialista deve ser capaz de fazer uma análise de sua inferência; estes sistemas também podem estar aptos para aprender com os seus sucessos (ou fracassos) e com outras fontes de conhecimento;
- profundo conhecimento: diz respeito ao nível de compreensão da base de conhecimento, isso implica no domínio de conhecimento que não é facilmente encontrado em alguém que não seja um especialista; é importante destacar que o profundo conhecimento sobre um determinado assunto não deve ser confundido com a forma profunda de conhecimento de fatos associados com intuição, função, comportamento e estrutura de coisas que nos cercam (ver seção 4.2, página 81).

Além dos três principais componentes (interface com o usuário, a máquina de inferência e a base de conhecimento), conforme (TURBAN; ARONSON; LIANG, 2004), os sistemas especialistas podem ser compostos por outros elementos:

- subsistema para aquisição de conhecimento: consiste em acumular, transformar ou transferir fonte de conhecimento documentado ou conhecimento de especialista para uma base de dados em construção ou em aprimoramento;
- subsistema para explicação: permite explicar o comportamento do sistema através de respostas a perguntas do tipo:
  - Como essa conclusão foi alcançada?
  - Por que essa alternativa foi desconsiderada?
  - Por que essa questão é importante para o sistema?

- quadro-negro: é uma área de memória paralela, como uma base de dados para a descrição de um problema específico provocado pela entrada de dados; no quadro-negro podem ser armazenadas três modelos de decisões: (1) plano para enfrentar o problema, (2) agenda com potenciais ações aguardando o momento de execução e (3) solução alternativa ou hipotética;
- refinamento de conhecimento: para que o sistema possa ser capaz de avaliar o motivo de seus sucessos ou fracassos, é necessário que ele esteja apto para analisar o seu conhecimento, o uso e o aprendizado deste, bem como estar capacitado para expandi-lo, dessa forma, pode-se aprimorar a base de conhecimento, o que possibilita melhores resultados.

A base de conhecimentos e a máquina de inferência são elementos vitais e que merecem maior atenção do projetista em um sistema especialista. O conhecimento deve ser organizado e representado em uma base de conhecimentos e as conclusões devem ser alcançadas por meio de um mecanismo que possa inferir sobre fatos existentes ou regras.

O engenheiro do conhecimento, responsável por capturar o máximo possível de informações e implementar o sistema especialista, pode representar o conhecimento humano de várias formas, entre elas: reconhecimento de padrões, *frames*, lógica de predicados e regras de produção.

### 4.1.1 Inferência

Em situações em que a inferência depende de uma série de fatores independentes, porém correlacionados, não se consegue representar o conhecimento do especialista através de regras simples (*SE-ENTÃO*), para tanto, as regras podem ser encadeadas. Por exemplo, para determinar a quantidade de energia elétrica que se deve produzir em uma hidrelétrica, precisa-se saber a demanda pelo produto, a capacidade do sistema etc, porém não se pode liberar água para uma represa a jusante sem saber a capacidade desta, que depende de uma série de fatores, que por sua vez, podem depender de outros fatores, como uma terceira represa a jusante. Esse processo de inferência, pode ser realizado de duas formas pela máquina de inferência, o encadeamento progressivo ou o encadeamento regressivo. Porém, existem outras técnicas de raciocínio como o raciocínio baseado em casos.

1. Encadeamento progressivo: no primeiro momento é tomada a primeira parte *SE* da regra (primeira condição), caso seja atendida essa primeira condição *SE*, a regra é

escolhida para alcançar a conclusão; essa conclusão não é a final, ela é um fator a ser observado para a escolha de uma nova restrição *SE* de outra regra para encontrar uma conclusão mais adequada; este processo continua até que se alcance uma conclusão final que não seja um fator a ser considerado por uma outra restrição de uma outra regra.

2. Encadeamento regressivo: a inferência começa considerando uma conclusão como verdadeira, em seguida são selecionadas as condições *SE* necessárias para satisfazer a conclusão. O próximo passo é selecionar uma dessas condições, que será usada como conclusão para uma nova regra e mais uma vez seleciona-se as condições *SE* satisfatórias para essa regra. Esse processo se repete até que se encontre uma condição que não seja mais conclusão de uma outra regra. Caso a busca não seja satisfeita, volta-se ao primeiro ponto onde surgiu mais de uma restrição satisfatória e repete-se o processo de busca.

Para melhor entendimento, veja o exemplo de uma inferência, que pode ser encadeada progressivamente ou regressivamente: imagine que um servidor de uma empresa foi acessado indevidamente por um indivíduo. Deseja-se descobrir quem foi o autor do fato. Observe a tabela 8.

Encadeamento Progressivo	Encadeamento Regressivo
Qual foi o tipo de ataque? <b>Interno</b> Externo	Quem sabia a senha do servidor? <b>Beltrano</b> Fulano
Quem poderia ser o autor? Fulano <b>Beltrano</b> Cicrano	Quem estava na empresa na hora? Cicrano <b>Beltrano</b>
Quem estava na empresa na hora? Cicrano <b>Beltrano</b>	Quem poderia ser o autor? Fulano <b>Beltrano</b> Cicrano
Quem sabia a senha do servidor? <b>Beltrano</b> Fulano	Qual foi o tipo de ataque? <b>Interno</b> Externo
Conclusão do sistema: Provavelmente foi Beltrano.	Conclusão do sistema: Provavelmente foi Beltrano.

Tabela 8: Encadeamentos para Inferência

Pode-se partir da conclusão e verificar se ela é verdadeira ou partir de fatos e chegar a conclusão. No lado esquerdo da tabela, a seqüência parte do princípio de que a ação ocorreu dentro da empresa. Em seguida é questionado quem poderia ser o autor. Fulano poderia ser o autor, mas, como não estava na empresa, é desconsiderado. Daí, verifica-se o outro possível autor: Beltrano. Beltrano satisfaz as outras regras, logo, reúne todas as evidências, concluindo-se então que este é o autor - encadeamento progressivo. Note que Cicrano não satisfaria todas as regras. Do outro lado da tabela (à direita), parte-se do princípio de que Cicrano, Fulano ou Beltrano é o autor da invasão. Contudo, Cicrano não sabia a senha do servidor, por isso, é desconsiderado. Fulano sabia a senha do servidor, mas não estava na empresa na hora da invasão, assim, também é descartada a sua autoria. A terceira possibilidade seria verificar Beltrano. Então, verifica-se que ele satisfaz todas as regras, reunindo todas as evidências que confirmam a conclusão de que ele é o autor - a seqüência é regressiva porque parte da conclusão.

#### 4.1.2 **Áreas de Atuação dos Sistemas Especialistas**

Os sistemas especialistas podem ser classificados de várias formas. Uma delas surge pela classificação das áreas dos problemas que eles referenciam. Contudo, um sistema pode se enquadrar em mais de uma categoria. Para essa classificação, segundo (TURBAN; ARONSON; LIANG, 2004), as categorias gerais são:

- sistema de controle: faz interpretação, reparo, previsão e monitoramento do comportamento de um sistema;
- sistema de conserto: desenvolve e executa planos para administração de soluções de problemas diagnosticados;
- sistema de depuração: realiza a prescrição ou recomendação de soluções para disfunções detectadas;
- sistema de diagnóstico: identifica disfunções provenientes da observação de irregularidades comportamental do sistema;
- sistema de instrução: composto por subsistemas de depuração e diagnose, auxilia estudante a diagnosticar, depurar e corrigir o seu desempenho;
- sistema de interpretação: faz inferência de certa situação a partir de observações;

- sistema de monitoramento: realiza a comparação dos eventos observados com os eventos esperados, ou seja, com os eventos entendidos como indispensáveis para se alcançar o sucesso;
- sistema de planejamento: desenvolve planos que permitem atingir um determinado objetivo;
- sistema de previsão: faz a inferência de conseqüências a partir de situações dadas;
- sistema de projeto: configura objetos que satisfaçam determinadas restrições do problema;

Embora nem todos os tipos de problemas possam ser referenciados por essas aplicações e encaixados em uma dessas categorias, milhares de decisões para diversos tipos de problemas podem ser satisfatoriamente encontradas por sistemas especialistas.

### 4.1.3 Vantagens e Desvantagens em Adquirir um Sistema Especialista

Os sistemas especialistas permitem um significativo aumento de produtividade do especialista, possibilitam que alguém menos preparado possa conduzir atividades que exijam maior qualificação ou uma maior competência técnica e propiciam uma série de outras vantagens, por exemplo:

- aumento da produtividade: por trabalharem bem mais rápido do que os seres humanos e não necessitarem de descanso, esses sistemas reduzem o tempo gasto com determinadas atividades, possibilitando um aumento de produtividade;
- melhora da qualidade dos produtos: sistemas especialistas permitem a redução da taxa de erros durante a condução de atividades e fornecem avisos consistentes e significativos;
- redução do tempo de tomada de decisões: sistemas especialistas propiciam aos tomadores de decisão avisos na ordem de segundos, ao passo que uma análise para se chegar aos mesmos avisos, pode tomar minutos ou horas de um especialista humano;
- melhora do processo de tomada de decisão: através da rápida comunicação e da previsibilidade que os sistemas especialistas proporcionam, os tomadores de decisão são melhor informados sobre situações atuais, iminentes ou futuras;



- facilitação de operação de equipamentos complexos: alguns equipamentos que exigem uma maior perícia, atenção e destreza podem ter o seu uso simplificado por sistemas especialistas;
- redução do tempo com manutenção e reparo de sistemas: ao permitir a identificação de disfunções em um sistema e ao prescrever soluções, pode-se eliminar a perda de tempo com manutenções preventivas desnecessárias ou com reparos decorrentes da falta de manutenção preventiva;
- operação em ambientes insalubres e perigosos: poupa seres humanos de trabalhos onde a sua vida e a sua saúde ficam expostas a condições potencialmente danosas;
- universalização da tecnologia: sistemas especialistas podem ser desenvolvidos em um lugar e utilizados em outro, isso permite a transferência de conhecimentos - inclusive no cenário mundial;
- melhora de soluções e de tomadas de decisão: pode-se melhor aproveitar o conhecimento de especialistas pela integração de seus julgamentos para obtenção de melhores soluções ou avisos;
- capacidade de operação com informações imprecisas ou incompletas: ao contrário dos sistemas tradicionais, este tipo de aplicação permite que se trabalhe com imprecisão de informação, conhecimento e dados;
- treinamento de pessoal: sistemas especialistas podem supervisionar o aprendizado, corrigir e melhorar o desempenho de estudantes ou aprendizes;
- melhoria de outros sistemas de informação: sistemas especialistas podem ser desenvolvidos para dar aspectos inteligentes ou melhorar a performance de outros sistemas.

Contudo, existem também alguns fatores negativos que devem ser considerados. Adiante são listadas algumas dificuldades ao se adquirir um sistema especialista:

- limitação cognitiva natural dos usuários de sistemas especialistas: nem sempre o sistema especialista vai apresentar uma saída clara ou satisfatória ao usuário porque aquele poderá apresentar a este termos técnicos ou mais de uma solução ou nenhuma; poderá “explicar” alguns fatos e passar a decisão ao usuário final, que poderá estar completamente despreparado para fazer qualquer tipo de inferência;

- sistemas especialistas podem representar um alto custo: normalmente é necessária a ajuda de um engenheiro de conhecimento para desenvolver o sistema, e esta ajuda é o núcleo desse problema porque normalmente esta mão-de-obra é rara e cara;
- a transferência do conhecimento fica sujeita a discussões sobre percepção e julgamento do especialista: assim como um esquimó consegue identificar diversas tonalidades de branco, especialistas conseguem perceber diversas situações de acordo com a sua vivência e conhecimento sobre o assunto, dessa forma, um especialista pode perceber a importância de diversos aspectos em um sistema e julgá-los vitais enquanto outro pode considerar outros fatores como principais e refutar a visão daquele;
- nem sempre o conhecimento está prontamente disponível: vários sistemas apresentam restrições que impõem dificuldades para modelá-los, dessa forma, o conhecimento sobre o assunto não apresenta um consenso ou então não há uma boa maneira de representá-lo;
- dificuldade de interpretação do especialista: os especialistas fazem uso de jargões ou de um vocabulário técnico para expressar os fatos e relações. Tais palavras são limitadas, às vezes não possuem tradução ou sinônimos, ou são simplesmente conceitos, o que torna difícil a compreensão;
- dificuldade para o especialista em abstrair uma boa avaliação circunstancial sob pressão temporal: durante a construção da base de conhecimento, o desenvolvedor do sistema e o especialista procuram identificar as diversas situações que podem ser alcançadas, o que se pode inferir e o que pode ser dito; quando há um razoável número de variáveis envolvidas no caso e há muitas restrições, aparecem muitas combinações e possibilidades para se analisar, o que conduz a esse tipo de problema;
- as práticas dos especialistas para avaliação podem ser diferentes para um sistema e não serem corretas: conforme exposto anteriormente, a percepção é pessoal, dessa forma, podem surgir divergências muito grandes entre especialistas quanto ao tratamento e consideração de um sistema e de seus aspectos, ou seja, o modelo a ser aplicado para desenvolver o sistema pode ser muito diferente daquele que seria considerado ideal;
- sistemas especialistas trabalham bem apenas em um domínio de conhecimento muito restrito: sistemas especialistas não conseguem resultados satisfatórios quando se abre o foco de sua aplicação, ao ampliar a sua visão, aumenta-se o número de

variáveis a serem consideradas e as restrições a serem respeitadas, dessa forma, a complexidade aumenta bastante e dificulta a construção de uma aplicação que possa ser considerada plausível;

- dificuldade em extrair o conhecimento de seres humanos: muitas vezes não é fácil converter o conhecimento de um especialista para um formato inteligível ao computador por causa da complexidade da linguagem humana e à capacidade do ser humano de abstração;
- muitas práticas não podem ser avaliadas: para alguns sistemas, os laudos ou conclusões não podem ser avaliados quanto à sua veracidade ou razoabilidade porque não há métricas ou meios que permitem fazer uma avaliação.

#### 4.1.4 Tipos de Sistemas Especialistas

Um sistema especialista pode ser classificado ainda, de acordo com (TURBAN; ARONSON; LIANG, 2004), quanto à sua construção ou ao modo de sua operação. Entre eles destacam-se:

1. sistemas especialistas baseado em regras: representa o conhecimento através de regras do tipo *SE-ENTÃO*; é uma técnica bastante desenvolvida e difundida e que permite uma fácil interação entre sistema e usuário final;
2. sistemas baseados em *Frames*: são representados através de redes de nós, onde objetos de um domínio são classificados dentro de uma hierarquia, uma estrutura generalização-especialização, todo-parte ou com ligações simples; cada nó representa um objeto, que por sua vez possui atributos; ocorre a representação da programação orientada a objetos;
3. sistemas baseados em modelo: para desenvolver esse tipo de aplicação é feito primeiramente um modelo do sistema estudado; o programa desenvolvido simula a sua estrutura e as funções do sistema em estudo; a aplicação computa valores e os comparam com os valores observados;
4. sistemas híbridos: são desenvolvidos com mais de uma das práticas de representação de conhecimento; várias técnicas podem ser empregadas, por exemplo, a integração de regras de produção com lógica nebulosa, redes neurais artificiais com regras de produção e regras de produção com *frames*; tais integrações buscam a obtenção de melhores aplicações;

5. sistemas especialista de tempo-real: este tipo de aplicação produz respostas que devem ser dadas num determinado momento - é crítica em relação ao tempo. Há uma restrição temporal para controlar um processo; normalmente esses sistemas são intensamente integrados a um ambiente físico e são intolerantes a falhas.
6. software comercial: alguns sistemas especialistas também podem ser comprados ou adquiridos da mesma forma que um pacote geral para uso em determinadas aplicações, como um SAP <sup>1</sup> ou um GIS; destaca-se essa aplicação como uma categoria porque são softwares generalizados, e podem não apresentar resultados satisfatórios.

## 4.2 Sistemas Nebuloso Baseado em Regras

Caso o leitor não tenha conhecimentos sobre lógica nebulosa, recomenda-se a prévia leitura do apêndice A (página 116) para um melhor entendimento desta seção.

Entre as formas de representação de conhecimento para a construção de sistemas especialistas é mais comum encontrar a utilização de regras de produção. Por isso, uma das formas mais utilizadas de representação de linguagem humana na computação é através de expressões do tipo *SE-ENTÃO*:

*SE premissa (antecedente) ENTÃO conclusão (conseqüente)*

Essa estrutura permite a utilização de conectivos lógicos para relacionar as premissas e, dessa forma, pode-se inferir ou deduzir algo (conclusão) a partir de um ou mais fatos conhecidos (premissas). Sua importância no contexto lingüístico é dada porque são capazes de expressar o conhecimento humano empírico<sup>2</sup> e heurístico,<sup>3</sup> externados pela própria linguagem de comunicação humana. Contudo, essas expressões conseguem capturar apenas formas de *conhecimento superficial* porque as formas *profundas* de conhecimento, associadas com intuição, comportamento, função e estrutura de objetos que nos cercam, não são facilmente expressadas por frases ou representações lingüísticas.

---

<sup>1</sup>SAP: Systems, Applications and Products in data processing - empresa líder mundial em desenvolvimento de software de gestão empresarial. Fonte: Líder Informática. Disponível em: <<http://www.liderinf.com.br/Dicas/S.htm>>. Acesso em: 06/2004

<sup>2</sup>Empírico: que se guia, fundamenta-se apenas na experiência. Fonte: Priberam, Dicionário da Língua Portuguesa On-Line. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>>. Acessado em maio de 2005.

<sup>3</sup>Heurístico: designativo do processo pedagógico que leva o aluno a descobrir a verdade, por si próprio. Fonte: Priberam, Dicionário da Língua Portuguesa On-Line. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/dlpo.aspx>>. Acessado em maio de 2005.

A utilização das técnicas de produção apresenta algumas vantagens, como:

- transparência do sistema que propicia uma melhor legibilidade da base de conhecimentos;
- modularidade de conhecimento, independentes, pela utilização de regras;
- facilidade de edição das regras que apresentam relativa independência, proporcionada pela modularidade.

### 4.2.1 Composição e Decomposição de Regras

A linguagem humana pode ser expressa por estruturas de regras compostas, dentre uma série de outras formas. Como exemplo, considere as regras nebulosas baseadas na representação da linguagem natural para averiguação da situação hidrológica de um rio (ver mais detalhes sobre Lógica Nebulosa no apêndice A, página 116):

*SE qualidade de água muito ruim E vazão muito baixa*

*ENTÃO*

*reduzir outorga de água,*

*melhorar o tratamento de esgoto*

*SENÃO SE qualidade de água péssima*

*ENTÃO*

*melhorar o tratamento de esgoto*

*controlar o uso de agrotóxicos e fertilizantes*

*SENÃO SE vazão muito baixa E matas ciliares devastadas*

*ENTÃO*

*reduzir outorga de água,*

*eleva a tarifação da água*

*aumentar o reflorestamento de matas ciliares*

⋮

Assim como qualquer outra estrutura de regras compostas esta pode ser decomposta e reduzida a regras canônicas<sup>4</sup> (como as apresentadas pela Tabela 9) através das propriedades básicas e operações definidas para conjuntos nebulosos (mais detalhes sobre operações

---

<sup>4</sup>Regra canônica apresenta antecedente simples e a única forma de atingir o conseqüente é satisfazer essa condição única.

em conjuntos nebulosos na seção A.4, página 127).

Regra 1	SE premissa $P_1$ , ENTÃO conclusão $C_1$
Regra 2	SE premissa $P_2$ , ENTÃO conclusão $C_2$
Regra 3	SE premissa $P_3$ , ENTÃO conclusão $C_3$
$\vdots$	$\vdots$
Regra n	SE premissa $P_n$ , ENTÃO conclusão $C_n$

Tabela 9: Forma canônica para sistema nebuloso baseado em regras.

#### 4.2.1.1 Antecedentes Disjuntivos Múltiplos

Considerando vários conjuntos nebulosos, pode-se extrair regras pela disjunção destes. Dada a seguinte regra:

$$SE C_1 \text{ ou } C_2 \text{ ou } C_3 \text{ ou } \dots \text{ ou } C_n \text{ ENTÃO } Z_p$$

Considerando essas premissas, pode-se deduzir um novo conjunto nebuloso  $C_p$ :

$$C_p = C_1 \cup C_2 \cup C_3 \cup \dots \cup C_n$$

Este novo conjunto pode ser representado pela seguinte função de pertinência:

$$\mu_{C_p}(x) = \max[\mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), \mu_{C_3}(x), \dots, \mu_{C_n}(x)]$$

Não violando a definição para a operação de disjunção em conjuntos nebulosos, pode-se reescrever a regra acima como:

$$SE C_p \text{ ENTÃO } Z_p$$

#### 4.2.1.2 Antecedentes Conjuntivos Múltiplos

Da mesma forma que ocorre na disjunção, pode-se extrair regras pela conjunção de diversos conjuntos nebulosos. Considere a seguinte regra:

$$SE C_1 \text{ e } C_2 \text{ e } C_3 \text{ e } \dots \text{ e } C_n \text{ ENTÃO } Z_p$$

A partir desse antecedente, pode-se deduzir um novo conjunto nebuloso  $C_p$ :

$$C_p = C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap \dots \cap C_n$$

Representado pela seguinte função de pertinência:

$$\mu_{C_p}(x) = \min[\mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), \mu_{C_3}(x), \dots, \mu_{C_n}(x)]$$

Respeitando a definição para a operação de conjunção em conjuntos nebulosos, pode-se reescrever a regra acima como:

$$SE C_p ENTÃO Z_p$$

#### 4.2.1.3 Regras Aninhadas

As regras de produção também podem aparecer de forma aninhada, ou seja, é possível encontrar uma regra como uma condicional de uma restrição:

$$SE C_1 ENTÃO (SE C_2 E C_3 ENTÃO R_1)$$

Essa sentença equivale a:

$$SE C_1 E C_2 E C_3 ENTÃO R_1$$

#### 4.2.1.4 Sentenças Condicionais com SENÃO e A MENOS QUE

Sentenças do tipo *SE - ENTÃO - SENÃO* podem ser decompostas em termos de regras canônicas simples pelo uso do conector lógico *OU*. Observe o exemplo abaixo:

$$SE C_1 ENTÃO (R_1 SENÃO R_2)$$

Esse tipo de sentença pode ser expresso da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} &SE C_1 ENTÃO R_1 \\ &OU \\ &SE NÃO C_1 ENTÃO R_2 \end{aligned}$$

Também é comum encontrar sentenças do tipo *SE - ENTÃO - A MENOS QUE*:

$$SE C_1 (ENTÃO R_1) A MENOS QUE C_2$$

A sentença acima pode ser quebrada em regras canônicas simples:

$$SE C_1 ENTÃO R_1$$
$$OU$$
$$SE C_2 ENTÃO NÃO R_1$$



## 5 *Sistema Especialista Nebuloso para Avaliação de Qualidade de Água*

Ao avaliar um determinado problema, diversas questões podem ser consideradas. Cada uma com um grau de importância, de acordo com o enfoque da pesquisa.

Após a análise dos indicadores (feita no capítulo 3), e considerações acerca destes para o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade (seções 3.37 e 3.38), foi definido que, pela avaliação da qualidade da água, melhor poder-se-ia fazer considerações sobre o meio ambiente, haja vista que o índice de qualidade de água pode ser composto por uma série de variáveis que referenciam aspectos distintos.

Porém, para avaliar a qualidade da água, deve-se considerar o uso da água. Nesse sentido, diversos índices de qualidade de água podem ser compostos por diferentes variáveis. Para este trabalho, três perspectivas acerca do uso da água foram consideradas para a elaboração de três índices de qualidade de água distintos:

1. ingestão da água, sem tratamento;
2. tratamento de água;
3. proteção da biota.

Assim, de acordo com uma destas três considerações sobre o uso da água, o sistema informa o índice. Por se tratar de um sistema especialista, é composto por três módulos principais (apresentados no capítulo 4, seção 4.1):

- interface com o usuário: através de formulários, permite ao usuário fazer o cadastramento de municípios e de seus pontos de coleta, o cadastramento das variáveis

amostradas e verificar o índice de qualidade da água para o aspecto escolhido, através de conceitos lingüísticos (*Ruim*, *Regular-*, *Regular*, *Regular+* e *Bom*) e de notas que variam de zero a cem;

- base de conhecimento: através de três grupos de regras, apresenta o conhecimento necessário para atingir a solução do problema, de forma que cada grupo referencia um dos três tipos de uso de água considerados nesse trabalho;
- máquina de inferência: faz a *fuzzificação*<sup>1</sup> dos valores a serem analisados, passa os dados *fuzzificados* para a base de conhecimento e *defuzzifica*<sup>2</sup> o valor retornado.

## 5.1 Índices de Qualidade da Água

O índice de qualidade de água pode ser encontrado de diversas formas, de acordo com o destino da mesma. Para se classificar uma água como boa ou ruim, primeiro é necessário determinar a finalidade da água. A água boa para piscicultura pode não ser boa para o abastecimento, a água boa para irrigar lavouras pode não ser boa para irrigar hortaliças e assim por diante. Por isso, há que se considerar o uso da água.

### 5.1.1 Ingestão da Água

A principal consideração para este índice é o risco que a água, sem qualquer tipo de tratamento, pode oferecer para o homem ao ser ingerida. Por isso, o coliforme fecal representa a variável com maior relevância dentre as três consideradas: coliforme fecal, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio. Embora sejam utilizadas seis variáveis neste programa, através destas três é possível identificar uma água com grande possibilidade de ser imprópria ou própria para ser bebida (maiores detalhes sobre as variáveis utilizadas na seção 5.2). As outras variáveis não foram consideradas por causa da sua pouca relevância à saúde humana e por causa das condições que estas se apresentam nas águas referenciadas no estudo.

A água classificada pelo sistema de *Ruim* a *Regular+* não é recomendada para o consumo. Isso pode ser categoricamente afirmado, pois o programa se baseia na Resolução

---

<sup>1</sup>*Fuzzificação*: mapeamento dos valores de um universo de discurso para conjuntos nebulosos com valores de pertinência entre 0 e 1.

<sup>2</sup>*Defuzzificar*: fazer a conversão da saída obtida por um sistema nebuloso para valores, com o intuito de tornar a saída compreensiva.

nº 20 (CONAMA, 1986). Contudo, a água considerada como boa pode não ser absolutamente própria para o consumo porque outras variáveis, que não são consideradas nesse modelo, podem tornar esta água inadequada para o consumo. Porém, é importante destacar que este problema também ocorre em outros índices de qualidade de água obtidos por modelos matemáticos.

### 5.1.2 Tratamento de Água

Ao se considerar o aspecto de tratamento de água, rege-se a inferência por dois fatores: as dificuldades e os custos do tratamento. As variáveis que apresentam maior peso são, respectivamente, percentagem de saturação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, pH, turbidez e fósforo. Essas cinco variáveis permitem que se identifique a água difícil ou cara, fácil ou barata, ou relativamente fácil ou barata de tratar.

O coliforme fecal não foi considerado para a composição deste índice porque a sua correção é relativamente fácil e de baixo custo, se comparado com as demais variáveis. Sendo assim, através destas cinco variáveis foi desenvolvido um índice que classifica a água em cinco conceitos lingüísticos e avalia a mesma através de uma nota que varia de zero a cem.

### 5.1.3 Proteção da Biota

O principal fator considerado é conservação biológica, ou seja, encontrar as condições mais semelhantes àsquelas encontradas em um meio livre de fatores de poluição e interferência humana. As variáveis mais importantes são, respectivamente, o percentual de saturação de oxigênio, a demanda bioquímica de oxigênio, a turbidez, coliforme fecal e fósforo total. Através dessas cinco variáveis, foram desenvolvidas as regras para a obtenção do índice, que procura classificar a água de acordo com as boas condições para a preservação da fauna e da flora aquática.

O pH não foi considerado por causa das características das águas da bacia do rio Meia Ponte. Ao longo de anos, não são observados problemas referentes ao pH. Vale lembrar que as alterações dos padrões dos parâmetros podem ser observadas por medidas de dispersão, como variância e desvio padrão.

## 5.2 Variáveis Utilizadas pelo Sistema

Para a determinação dos índices de qualidade de água foram selecionadas seis variáveis: percentagem de saturação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), fósforo total e coliforme fecal. É claro que existe uma série de outras variáveis de importante consideração, porém elas não foram consideradas porque aumentariam a complexidade do sistema, elevando o número de regras, e dificultariam o processo de modelagem do conhecimento.

Estas seis variáveis foram selecionadas porque são capazes de expressar importantes características da água, de acordo com os três tipos de análise realizadas pelo programa. É importante também destacar que o sistema foi desenvolvido considerando as características das águas e dos corpos de água da bacia do rio Meia Ponte.

### 5.2.1 Percentagem de Saturação de Oxigênio

A dissolução do oxigênio na água ocorre pela diferença parcial de pressão entre a atmosfera e a água. Porém pode ocorrer a reintrodução do oxigênio em águas naturais pela superfície do corpo e pela fotossíntese das algas. No primeiro caso, a quantidade de oxigênio reintroduzido depende das características hidráulicas do corpo e da velocidade com que as águas se deslocam. Assim, a taxa de reaeração superficial em um rio com muitas corredeiras será maior do que em uma represa. No segundo caso, o aumento do oxigênio ocorre em níveis acima do normal quando as águas encontram-se eutrofizadas - consequência, normalmente, da presença de nitrogênio e fósforo em alta concentração nas águas.

A quantidade de oxigênio também depende da temperatura da água que, à medida que aumenta, reduz a solubilidade das moléculas de oxigênio na água, ou seja, aumenta a capacidade de difusão para o meio externo à água. Diante disso, a percentagem de saturação de oxigênio elimina esta interferência.

Nos trechos iniciais, à jusante de grandes lançamentos de esgotos em rios, a ação das algas não tem muito destaque porque a luz solar não consegue transpor a água escura e turva. Isso reduz as chances de sobrevivência destas espécies. O que pode reduzir a reintrodução de oxigênio na água. Ao longo do curso, a ação decompositora das bactérias e dos protozoários sobre a matéria reduz a concentração de oxigênio na água. Essa decomposição provoca a redução da turbidez e permite a transposição das águas pelos raios de luz solar, o que permite o desenvolvimento das algas.

Por isso, a poluição pode ser percebida em trechos com baixa concentração de oxigênio dissolvido, que pode ser fruto da ação decompositora das bactérias e dos protozoários sobre os compostos orgânicos. À medida que a poluição vai diminuindo, é possível que a contribuição fotossintética para a oxigenação da água aumente. Isso faz com que a qualidade da água seja melhorada e o oxigênio, encontrado em taxas mais elevadas. Porém, vale lembrar que a eutrofização também eleva o nível de oxigênio na água. Assim, não se pode garantir a qualidade da água apenas pelo nível de oxigênio.

### 5.2.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) expressa a quantidade de oxigênio utilizado durante a decomposição microbiana aeróbia para que seja formada uma matéria inorgânica estável. O teste normalmente é feito dentro de uma incubadora, sob temperatura específica, durante um período de 5 dias. Porém, este teste não indica a presença de matéria não biodegradável e não considera o efeito tóxico de materiais sobre a atividade microbiana.

Portanto, a DBO indica a presença de matéria orgânica que, por sua vez, pode induzir ao total consumo do oxigênio presente na água, o que provoca a morte de seres vivos aeróbicos.

### 5.2.3 Turbidez

A turbidez, provocada por partículas inorgânicas e orgânicas, representa a atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta redução ocorre por absorção e refração das ondas de luz. Alguns fenômenos colaboram para o aumento da turbidez, por exemplo, o aumento de plânctons, despejos de esgoto e ação da erosão.

Por interferir diretamente na fotossíntese das plantas aquáticas submersas, a turbidez acarreta outros problemas como a redução do oxigênio que, dependendo do nível, acarreta a morte de peixes e outros seres aquáticos.

Além desses problemas, a turbidez pode tornar a água imprópria para seres aquáticos, independentemente da quantidade de oxigênio dissolvido, pode tornar a água inadequada para o consumo industrial e doméstico, e pode diminuir possibilidade de balneabilidade da água.

### 5.2.4 Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) é um parâmetro usado para expressar o grau de acidez ou basicidade em uma solução, isto é, a concentração de íons de hidrogênio nesta. O pH pode influir em diversos aspectos nos ecossistemas aquáticos. Determinadas condições de pH podem contribuir para a precipitação de certos elementos, como metais pesados. O pH pode ainda influenciar a alteração de solubilidade de nutrientes e, como conseqüência, contribuir para a diversidade do ecossistema, que, normalmente, melhor se desenvolve entre 6 e 9 na escala de potencial hidrogeniônico.

Segundo a Resolução nº 20 (CONAMA, 1986) o pH é classificado como ideal para a conservação da biota aquática de águas doce, na faixa entre 6 e 9. A escala de pH varia de 0 a 14. As águas ácidas são representadas por valores baixos na escala, enquanto as águas alcalinas são representadas por valores altos na escala.

O pH é uma variável muito útil porque oferece informações importantes tanto para o tratamento de água quanto de esgoto. O pH também é capaz de indicar despejos industriais e o tipo de solo por onde a água passa. Sendo assim, esta variável é muito importante nesse trabalho porque permite determinar condições acerca do tratamento de água (como dificuldades e custos de tratamento) e da conservação biológica.

### 5.2.5 Coliforme Fecal

A presença das bactérias na água é de suma importância para o ecossistema porque elas se alimentam das matérias orgânicas e consomem os despejos poluidores nos rios, auxiliando o processo de autodepuração destes.

Algumas bactérias indicam a presença de esgotos, ou seja, o risco à saúde humana. Estas bactérias, coliformes, estão presentes no intestino humano e auxiliam na digestão. Logo, elas estão presentes nas fezes, conseqüentemente nas águas que recebem esgotos orgânicos.

Assim, a presença dos coliformes fecais indica o despejo de matéria fecal na água. E são as fezes de pessoas doentes que contaminam o solo e a água através dos micróbios patogênicos. Por isso, o coliforme fecal, que indica a possibilidade de presença de seres patogênicos, deve ser considerado, principalmente quando se tratar de água para ingestão.

### 5.2.6 Fósforo Total

A presença de fósforo na água pode ser um indicador de esgotos sanitários. Aparece principalmente por causa dos detergentes ricos em fosfatos e matérias fecais. Além disso, águas drenadas de áreas urbanas e agrícolas e alguns efluentes industriais, por exemplo, de indústria de fertilizantes, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, também colaboram para o aumento de fósforo nas águas.

O fósforo, por ser um dos principais nutrientes para os processos biológicos, é um parâmetro deveras importante em programas de tratamento biológico de efluentes. Assim como o nitrogênio, este macro-nutriente favorece o processo de eutrofização quando aparece em grande quantidade nas águas.

Assim, além de indicar o lançamento de esgoto no corpo d'água, a presença de fósforo também pode indicar o escoamento de fertilizantes de lavouras inadequadamente manejadas, o lançamento de efluente de algumas indústrias e o potencial de eutrofização dessa água.

## 5.3 Curvas de Pertinência

Ao criar as partições para o universo de discurso de cada uma das variáveis descritas na seção 5.2 (89), foi constatado que, pela natureza das variáveis, a forma de curva que melhor se adequou ao modelo foi a curva trapezoidal. Tal fato se deve à existência de intervalos em que se pode garantir, por exemplo, um conceito absolutamente bom, absolutamente regular ou absolutamente ruim para as variáveis, ou seja, intervalos com pertinências máximas.

A variável pH apresenta uma característica peculiar, duas de suas curvas de pertinência, *Ruim* e *Regular*, apresentam dois suportes (mais detalhes sobre características de curvas de pertinência no apêndice A, seção A.3, página 124). Pela figura 3, percebe-se cinco núcleos para as três funções de pertinência e quatro regiões que ativam mais de uma regra, ou seja, regiões cujos valores apresentam um certo grau de ambigüidade, logo podem ser conceituados de maneiras distintas.

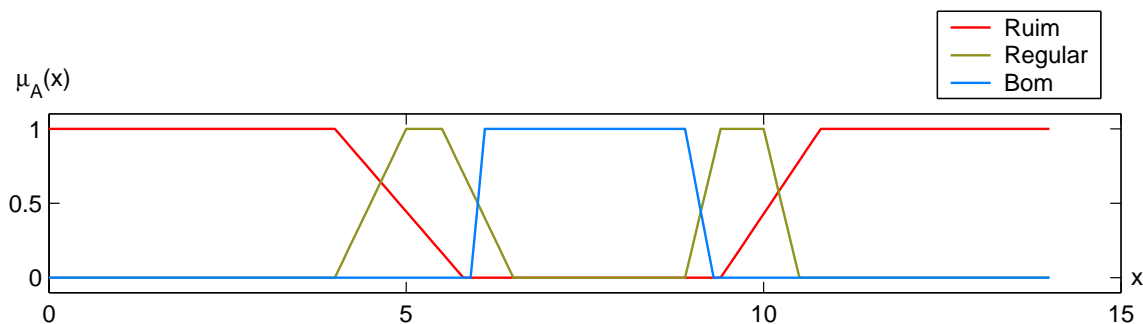


Figura 3: Curvas de Pertinência para pH.

A curva **Ruim**, representada pelo primeiro e último suporte, têm seus núcleos entre 0 e 4 e entre 10,8 e 14. A curva **Regular**, representada pelo segundo e quarto suporte, apresenta seus núcleos entre 5 e 5,5 e entre 9,4 e 10. E a curva **Bom**, representada pelo suporte central apresenta seu núcleo entre 6,1 e 8,9. Nesses intervalos a ambigüidade é menor, haja vista que o valor da variável apresenta um conceito mais claro.

Para a percentagem de saturação de oxigênio e demais variáveis, percebe-se cinco suportes distintos, bem como quatro intervalos que ativam mais de uma regra.

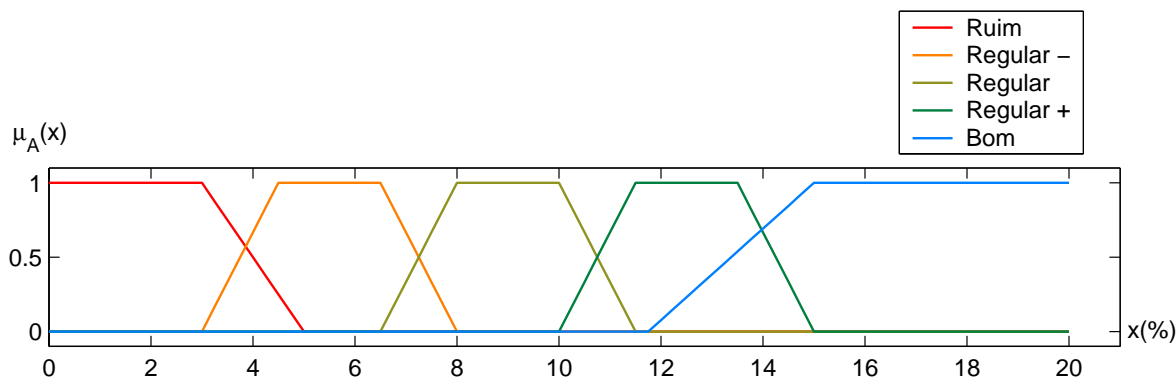


Figura 4: Curvas de Pertinência para Percentagem de Saturação de Oxigênio.

Para a figura 4, os suportes estão definidos entre 0 e 3, entre 4,5 e 6,5, entre 8 e 10, entre 11,5 e 13,5 e entre 15 e 125, para as curvas **Ruim**, **Regular-**, **Regular**, **Regular+** e **Bom**, respectivamente. Nos demais intervalos, a variável pode ser conceituada de uma forma mais questionável, por causa da maior ambigüidade.

A demanda bioquímica de oxigênio (em mg/l) apresenta curvas de pertinência parecidas com as de saturação de oxigênio, porém com os conceitos invertidos.



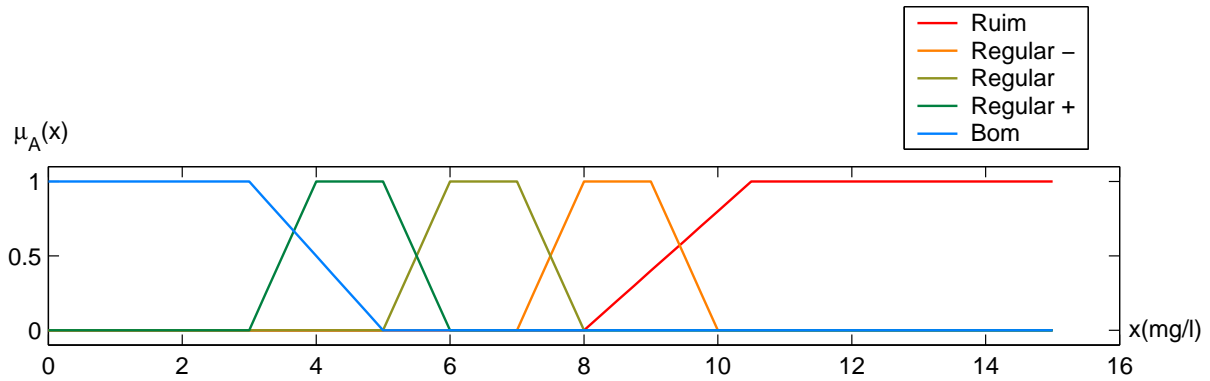


Figura 5: Curvas de Pertinência para Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Pela figura 5, observa-se 5 núcleos e 4 regiões de maior ambigüidade. Os núcleos estão entre 0 e 3, entre 4 e 5, entre 6 e 7, entre 7 e 8 e entre 10,5 e 15, para as curvas **Bom**, **Regular+**, **Regular**, **Regular-** e **Ruim**, respectivamente.

Para a turbidez, representada em NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), os 5 núcleos estão definidos entre 0 e 30, entre 60 e 90, entre 120 e 150, entre 180 e 210 e entre 240 e 500, para as curvas **Bom**, **Regular+**, **Regular**, **Regular-** e **Ruim**, respectivamente. As regiões onde ocorrem ativações de mais de uma regra (regiões em que os elementos do universo de discurso pertencem a mais de um conjunto nebuloso) estão entre o primeiro e o segundo, entre o segundo e o terceiro, entre o terceiro e o quarto e entre o quarto conjunto nebuloso e o quinto núcleos. As curvas de pertinência para a variável são representadas pela figura 6.

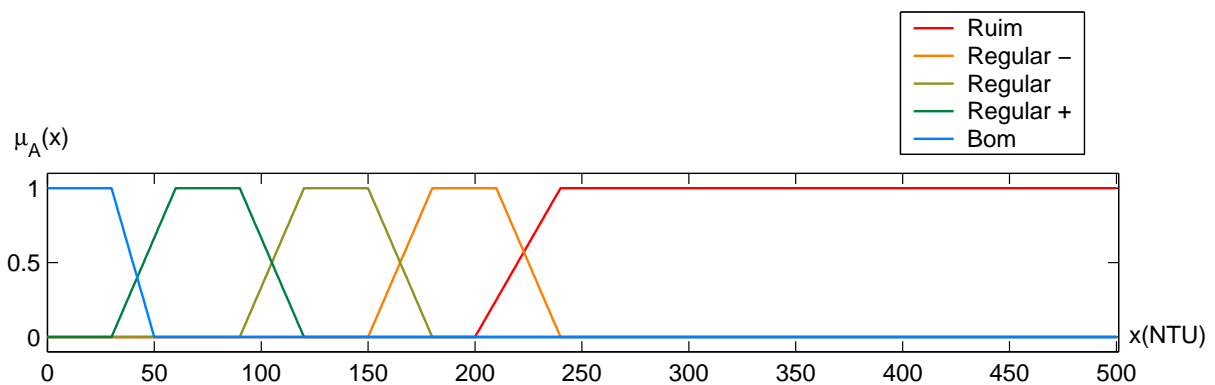


Figura 6: Curvas de Pertinência para Turbidez.

O fósforo total (em mg/l), com os núcleos definidos entre 0 e 0,3, entre 0,4 e 0,5, entre 0,6 e 0,7, entre 0,8 e 0,9 e entre 1 e 5, para as curvas **Bom**, **Regular+**, **Regular**, **Regular-** e **Ruim**, respectivamente, tem suas funções de pertinência representadas pela figura 7.

As regiões de maior ambigüidade ocorrem entre o primeiro e o segundo, entre o segundo e o terceiro, entre o terceiro e o quarto e entre o quarto e o quinto núcleos.

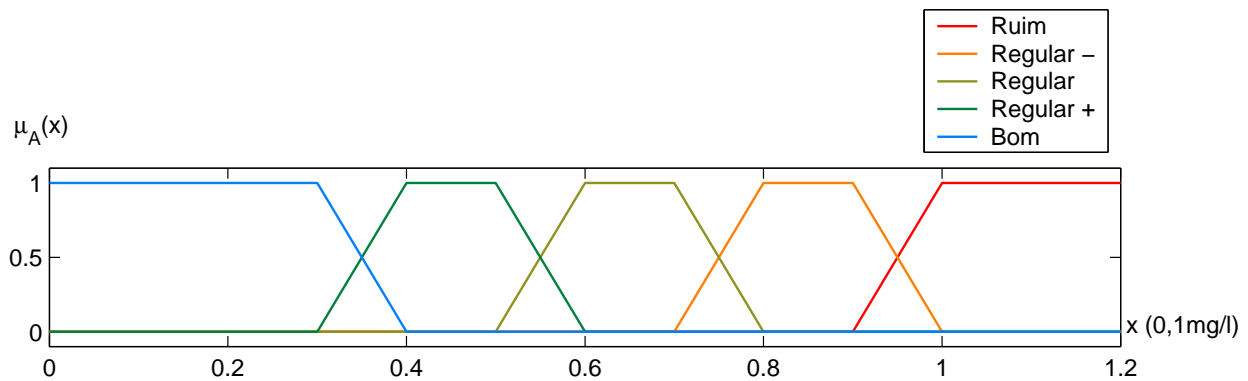


Figura 7: Curvas de Pertinência para Fósforo Total.

A única exceção quanto à forma da curva ocorre com o parâmetro coliforme fecal, haja vista que a única situação onde ele seria bom é a sua ausência absoluta, ou seja, onde a variável apresenta valor zero. Nesse caso, o núcleo da função **Bom** ocorre apenas para o valor de abscissa 0. Já os núcleos das funções **Regular-**, **Regular**, **Regular+** e **Ruim**, apresentam-se no intervalo entre 10 e 20, entre 40 e 80, entre 100 e 190, e entre 210 e 500, respectivamente. As regiões que ativam mais de uma regra estão entre os núcleos das 5 curvas.

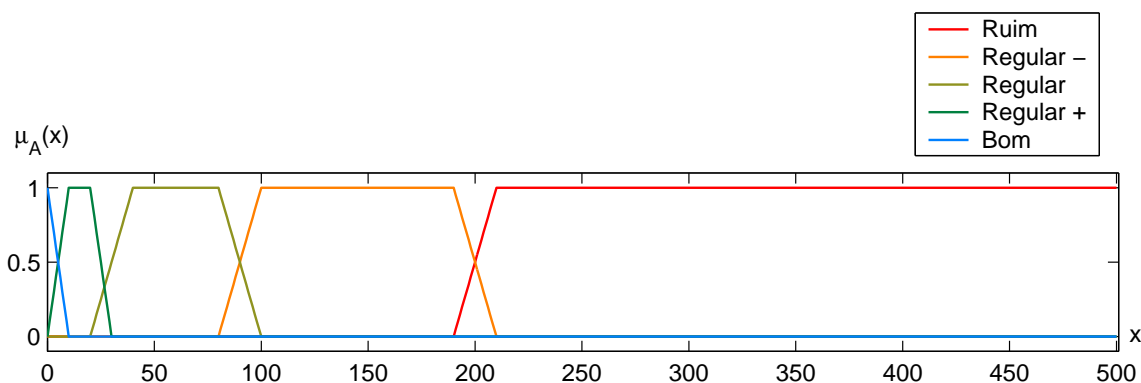


Figura 8: Curvas de Pertinência para Coliformes Fecais.

Uma observação importante: quando uma variável não tem um domínio limitado como o pH, que varia de 0 a 14, as curvas tendem a se prorrogar no plano, de acordo com o crescimento dos valores de abscissa.

Para a saída das regras, há cinco possíveis resultados, representados por 5 curvas do tipo triangular. Os intervalos onde ocorrem os conjuntos suportes das funções de saída

**Ruim**, **Regular-**, **Regular**, **Regular+** e **Bom** estão, respectivamente entre 0 e 30, entre 10 e 50, entre 30 e 70, entre 50 e 90 e entre 70 e 100. A figura 9 ilustra as possíveis saídas para as regras do sistema.

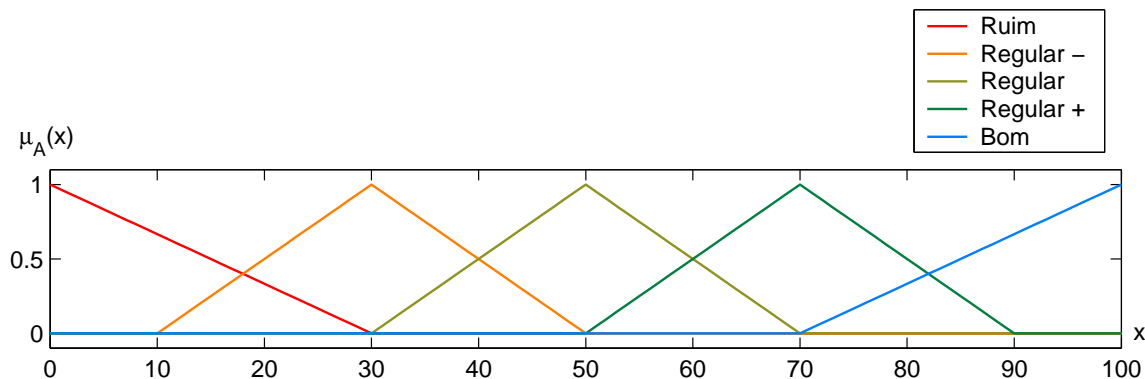


Figura 9: Curvas de Pertinência para Saída das Regras de IQA

## 5.4 Regras do Sistema

Na base de conhecimento, são armazenados três grupos de regras destinadas à inferência desejada pelo usuário: água para tratamento, para proteção da biota ou para a ingestão sem qualquer tipo de tratamento. Dependendo do aspecto escolhido, cada variável apresenta um grau de importância a ser observado. Por exemplo, é fácil e relativamente barato combater os coliformes fecais (CF) em uma estação de tratamento de água, por isso esta variável tem um peso menor nas regras para o tratamento da água, enquanto que o pH apresenta um custo mais elevado, logo possui uma relevância maior para o critério de classificação adotado no tratamento de água. No que diz respeito à água para ingestão, o coliforme fecal é de grande importância e apresenta um maior destaque para se fazer a análise, ao contrário do pH.

### 5.4.1 Regras para Classificação de Água para Tratamento

Para o tratamento de água, cinco variáveis foram consideradas para a composição das regras destinadas à representação do modelo: percentagem saturação de oxigênio (%SO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez (TURB), potencial hidrogeniônico (pH) e fósforo total (PT). O grau de importância adotado para as variáveis decresce de acordo com esta ordem, respectivamente.

As regras são compostas pelas cinco variáveis, porém há situações onde a análise de uma, de duas, de três ou de quatro variáveis é suficiente para que se possa inferir a conclusão. Exemplos:

- *SE %SO é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é REGULAR e TURB é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é REGULAR e TURB é REGULAR e pH é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*

### 5.4.2 Regras para Classificação de Água para Ingestão

Para classificação da água para consumo direto, três variáveis foram consideradas para a composição das regras abstraídas para este modelo: coliformes fecais, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio. O grau de importância decresce de acordo com esta ordem, respectivamente.

Embora o modelo seja melhor representado pelas três variáveis, há situações onde a análise de uma ou de duas variáveis é suficiente para se inferir uma conclusão coerente, por exemplo:

- *SE CF é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE CF é REGULAR e TURB é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*

### 5.4.3 Regras para Classificação de Água para Preservação da Biota

Sob o ponto de vista de conservação biológica, as variáveis utilizadas para a composição das regras destinadas a representação do modelo foram: a percentagem de saturação de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, coliforme fecal e fósforo total - o grau de importância decresce de acordo com esta ordem de citação.

O modelo pode ser bem representado por essas cinco variáveis, contudo, assim como nos dois casos anteriores, há situações em que a análise de apenas uma, duas, três ou quatro variáveis é suficiente para se alcançar uma conclusão adequada. Por exemplo:

- *SE %SO é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é REGULAR e TURB é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*
- *SE %SO é REGULAR e DBO é REGULAR e TURB é REGULAR e CF é RUIM ENTÃO IQA é RUIM*

## 5.5 Métodos de Composição e de Defuzzificação

Vários métodos de composição podem ser utilizados para se obter a saída do sistema nebuloso e vários métodos de *defuzzificação* podem ser empregados para extrair o resultado da saída - estes processos compõem a chamada *racionalidade* do sistema, processo também conhecido como *reasoning*. Dependendo da aplicação, os métodos de *racionalidade* podem se tornar pessimistas ou otimistas, ou seja, apresentarem notas baixas ou altas em relação àquela esperada.

Três métodos de composição foram utilizados neste sistema especialista: o máximo dos mínimos, o máximo dos máximos e o método da adição nebulosa (também conhecido como método da soma limitada).

No sentido de observar diferentes processos de *racionalidade*, foram realizados, para cada método de composição implementado, quatro tipos de *defuzzificação*: a média ponderada, a média dos máximos, o primeiro dos máximos e o último dos máximos. Maiores detalhes acerca das observações realizadas, no que diz respeito à *racionalidade*, são apresentados no capítulo 6.

## 6 *Resultados Obtidos*

Após a realização de alguns testes, feitos com dados simulados aleatoriamente, o sistema apresentou resultados satisfatórios, considerando as saídas esperadas e os valores de entrada, informados ao sistema. Foram arbitrados valores capazes de ativar as possíveis regras, com o propósito de explorar os universos de discurso.

As saídas foram comparadas com aquelas idealizadas, conforme o conhecimento extraído dos especialistas a partir de conceitos lingüísticos. Os resultados ficaram próximos do pretendido, contudo há situações em que o resultado *defuzzificado* fica um pouco acima ou um pouco abaixo daquele esperado, haja vista que a saída do *defuzzificador*<sup>1</sup> depende do grau de ativação das variáveis em seus respectivos conjuntos nebulosos.

Segundo (JANG; SUN; MIZUTANI, 1997), o método máximo dos mínimos é amplamente utilizado, porém não é tão aceito para análises matemáticas. Para este sistema especialista nebuloso, dos métodos de composição analisados, o máximo dos máximos apresenta resultados mais generalizadores e as saídas ficam concentradas nos pontos de maior pertinência das curvas de saída ou entre elas. Os métodos do máximo dos mínimos e da soma limitada apresentam resultados menos generalizadores e com saídas menos concentradas em pontos de maior pertinência das curvas de saída ou entre elas. O método do máximo dos mínimos, para o sistema, apresenta curvas de saída mais suaves em relação aos demais métodos. É importante observar que o máximo dos mínimos e a soma limitada apresentam resultados bem próximos e muitas vezes iguais, para mesmos métodos de *defuzzificação*. Contudo, a soma limitada, para as análises realizadas, mostra-se mais suscetível à influência das saídas com baixa pertinência porque para esse método, a saída apresenta, muitas vezes, intervalos maiores com pertinências altas, se comparado com o máximo dos mínimos.

Quanto a etapa de *defuzzificação*, pelos métodos do primeiro dos máximos e do último dos máximos, para muitos casos, foi observado valores *defuzzificados* menores e maiores,

---

<sup>1</sup>*Defuzzificador*: módulo do sistema responsável pela *defuzzificação*.

respectivamente, em relação aos valores obtidos pela média ponderada e pela média dos máximos. Em relação a estes dois últimos, vale lembrar que o primeiro tende a ser influenciado por regiões da saída cujos valores de pertinência são menores, ao passo que a média dos máximos considera apenas as regiões de máximo das saídas.

O foco deste trabalho não é comparar processos de racionalidade, mas sim índices de qualidade de água obtidos de formas diferentes. Nesse sentido, para melhor compreender e analisar os resultados do programa, foram realizados quatro estudos de caso, considerando os métodos de composição e os métodos de *defuzzificação* apresentados no capítulo 5, seção 5.5. Porém, a seguir, são apresentados estudos de caso cujos resultados foram obtidos pela composição do máximo dos mínimos e pelo método de *defuzzificação* da média ponderada. Os estudos foram realizados em quatro pontos da bacia do rio Meia Ponte (ver tabela 10) e, para cada um, foi considerado os três tipos de uso de água tratados nesta pesquisa.

## 6.1 Estudo de Caso

Com o intuito de melhor entender a situação das águas nas proximidades de Goiânia, região crítica da bacia, foram selecionados quatro pontos da área metropolitana. Os pontos de amostragem de água estão relacionados na tabela 10.

PONTO	CORPO DE ÁGUA	LOCALIZAÇÃO
Ponto 1	Rio Meia Ponte	Captação da Saneago em Goiânia
Ponto 2	Rio Meia Ponte	Setor Jaó, Próximo à ponte da BR153
Ponto 3	Ribeirão João Leite	Captação da Saneago em Goiânia
Ponto 4	Ribeirão João Leite	Campo Limpo de Goiás

Tabela 10: Pontos de Amostragem de Água Estudados.

Cada estudo foi realizado em um período de 24 meses, entre janeiro de 2003 e dezembro de 2004, através de dados fornecidos pela Saneago.<sup>2</sup> Porém, para a variável fósforo total (PT), não havia registro. Com o intuito de preservar a integridade da pesquisa, foram arbitrados valores de fósforo variando de zero a 0,1 mg/l - valores normalmente encontrados nos corpos de água desta região.

Para cada ponto da bacia é apresentada uma tabela. Cada uma referencia os três índices nebulosos de qualidade da água proposto neste trabalho, os índices de qualidade da água obtidos por um modelo matemático, além dos conceitos nebulosos lingüísticos.

<sup>2</sup>Saneamento de Goiás S/A <[www.saneago.com.br](http://www.saneago.com.br)>

O modelo matemático adotado para auferir os índices é semelhante àquele proposto pela CETESB.<sup>3</sup> Esse modelo, descrito na seção 3.3, página 35, apresenta nove parâmetros. Porém, para este estudo, o modelo matemático análogo conta apenas com seis parâmetros (citados na seção 5.2, página 89). Trata-se de uma derivação do modelo da CETESB. Os pesos dos parâmetros apresentam, proporcionalmente entre eles, os mesmos valores daqueles adotados para o IQA, pela CETESB a partir de 1975.

Pela observação dos dados (das tabelas 11 a 14), pode-se fazer algumas observações acerca dos resultados obtidos pelo programa.

### 6.1.1 Estudo de Caso 1

No primeiro ponto observado do rio Meia Ponte, ponto 1, percebe-se a presença de índices de qualidade de água baixos, de acordo com o modelo matemático. Nesse ponto, os índices variam de 9,85 (no pior caso) até 26,96 (no melhor caso), e são classificados como **Péssimo** ou **Ruim**, de acordo com um conceito lingüístico mais abrangente (classificação apresentada na tabela 2, capítulo 3, página 35).

De acordo com o modelo nebuloso proposto, para análise da água destinada a tratamento, os índices obtidos variam de **Ruim** a **Regular+** (classificação proposta pelo modelo nebuloso, apresentada na figura 9, capítulo 5, página 96). Em termos numéricos, os índices apresentados pelo sistema variam de 0 (no pior caso) a 70 (no melhor caso).

Por considerar aspectos como, dificuldade e custo de tratamento de água, o sistema obtém resultados consideravelmente diferentes daqueles obtidos através do modelo matemático.

Considerando aspectos relacionados à conservação da biota aquática, os índices auferidos pelo sistema classificam as amostras de água como **Regular-** e **Regular**, variando de 21,73 a 50, no pior e no melhor caso.

De acordo com os índices obtidos pelo sistema, para a água destinada à ingestão, observa-se também uma grande discrepância em relação aos índices obtidos pelo modelo matemático: os índices auferidos para esse ponto variam de **Ruim** a **Regular**, em termos numéricos, de 0 a 50, no pior e no melhor caso.

A tabela 11 apresenta os três índices nebulosos para a avaliação de qualidade da água, as três conceituações nebulosas lingüísticas e o índice matemático para a avaliação de

---

<sup>3</sup>Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice\\_iap\\_iqa.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp)>. Acessado em: 05/2003.



qualidade da água. Os valores das variáveis utilizadas para a composição destes índices, bem como dos demais índices apresentados neste capítulo, encontram-se no anexo A, página 144.

RIO MEIA PONTE - PONTO 1							
PERIO. (m/a)	TRATAMENTO		BIOTA		INGESTÃO		IQA MAT.
	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	
01/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	16,07
02/2003	Ruim	2	Regular-	27,96	Ruim	1,8	21,2
03/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	18
04/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	11,03
05/2003	Regular	47,39	Regular-	30	Ruim	8,5	17,68
06/2003	Regular+	63,16	Regular-	30	Ruim	2,47	20,59
07/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	21,07
08/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	14,15
09/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	21,45
10/2003	Regular	56,98	Regular-	30	Ruim	6,3	9,85
11/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	17,75
12/2003	Ruim	0	Regular-	30	Ruim	0	15,09
01/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	4,5	15,45
02/2004	Regular-	26,25	Regular-	26,25	Ruim	0	16,61
03/2004	Regular-	21,73	Regular-	21,73	Ruim	0	15,94
04/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	18,52
05/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	2,5	17,6
06/2004	Regular	55,88	Regular	50	Regular	50	25,65
07/2004	Regular	59,49	Regular-	30	Ruim	4,28	26,25
08/2004	Regular+	70	Regular-	40	Regular-	18,75	26,96
09/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	23,85
10/2004	Ruim	5,5	Regular-	30	Ruim	5,5	17,08
11/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	12,29
12/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	16,01

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 11: Índice de Qualidade da Água para o Ponto 1.

### 6.1.2 Estudo de Caso 2

No segundo ponto do rio Meia Ponte, o que se percebe é uma considerável melhora dos índices de qualidade da água, em relação ao ponto 1, na maioria dos casos, de acordo com o modelo matemático. Nesse ponto, os índices variam de 14,55 (no pior caso) a 36,57 (no melhor caso), sendo classificados de *Péssimo* a *Aceitável*.

Para a análise da água destinada ao tratamento, de acordo com o modelo nebuloso proposto, as amostras de água são classificadas de *Ruim* a *Regular+*. Em termos numéricos, os índices apresentados pelo sistema variam de 0 (no pior caso) a 70 (no melhor caso).

De acordo com as tabelas 11 e 12, ao se comparar os índices obtidos pelo sistema especialista nebuloso, pode-se perceber uma pequena deterioração da qualidade da água destinada ao tratamento, na maioria dos casos. Ocorre exatamente o contrário do que se pensa, se forem considerados os índices obtidos pelo modelo matemático - uma melhora.

Conforme os dados obtidos pelo sistema, considerando a conservação ecológica, observa-se também uma pequena deterioração da qualidade da água, ao se comparar esse ponto com o ponto anterior (ponto 1, dados da tabela 11). No ponto 2, as amostras de água são classificadas como *Ruim* ou *Regular-*, variando os índices entre 8,55 e 30, no pior e no melhor caso.

Pela observação dos índices auferidos pelo sistema, considerando a ingestão da água como fator de relevância, observa-se também considerável deterioração da qualidade da água, comparando esse ponto com o ponto anterior (ponto 1, dados da tabela 11). Os índices obtidos nesse ponto classificam todas as amostras como *Ruim* e variam de 0 a 8,55, no pior e no melhor caso.

A tabela 12 apresenta os índices de qualidade da água obtidos (três nebulosos e um matemático) e os conceitos nebulosos lingüísticos.

RIO MEIA PONTE - PONTO 2							
PERIO. (m/a)	TRATAMENTO		BIOTA		INGESTÃO		IQA MAT.
	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	
01/2003	Ruim	0	Regular-	30	Ruim	0	26,3
02/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	2,6	14,55
03/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	4,5	23,43
04/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	20,15
05/2003	Regular-	39,78	Regular-	30	Ruim	8,05	27,04
06/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	31,67
07/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	33,31
08/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	27,85
09/2003	Regular-	25,2	Regular-	25,2	Ruim	0	27,8
10/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	6	27,85
11/2003	Regular-	26,4	Regular-	26,4	Ruim	3	28,27
12/2003	Regular-	26,4	Regular-	30	Ruim	3	18,61
01/2004	Regular-	24,51	Regular-	24,51	Ruim	4,5	24,73
02/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	6	29,84
03/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	6	23,35
04/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	3,85	25,5
05/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	4,75	27,97
06/2004	Regular	59,7	Regular-	30	Ruim	4,5	36,57
07/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	6,15	28,71
08/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	34,69
09/2004	Regular	55,53	Regular-	25,26	Ruim	0	33,11
10/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	23,01
11/2004	Ruim	8,55	Ruim	8,55	Ruim	8,55	28,88
12/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	26,25

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 12: Índice de Qualidade da Água para o Ponto 2.

### 6.1.3 Estudo de Caso 3

Conforme os índices encontrados pelo modelo matemático, no primeiro ponto observado do ribeirão João Leite (ponto 3), percebe-se valores de índices de qualidade da água entre 14,63 até 41,34, para a menor e a maior pontuação. Em termos lingüísticos, as amostras são classificadas de *Péssimo* a *Aceitável*.

Para o mesmo conjunto de dados, ao se fazer a avaliação pelo sistema especialista, considerando o tratamento da água como o destino de uso da mesma, os índices obtidos classificam as amostras de água de *Ruim* a *Regular+*. Em termos numéricos, os índices apresentados pelo sistema variam de 5 (no pior caso) a 70 (no melhor caso).

Assim como na maioria das averiguações dos dois pontos do rio Meia Ponte, nesse ponto do João Leite, a maioria dos índices de qualidade de água para tratamento, obtidos pelo sistema nebuloso, apresentou uma pontuação superior àquela obtida pelo modelo matemático.

Pelos valores auferidos pelo sistema, considerando os aspectos relacionados à preservação da biota aquática, observa-se para esse ponto conceitos de *Regular-* a *Regular+*, variando entre 30 e 64,2, no pior e melhor caso.

Considerando os aspectos relacionados à ingestão de água, observa-se também uma considerável discrepância dos índices obtidos nesse ponto em relação àqueles obtidos pelo modelo matemático. Pelo sistema, as amostras de água são classificadas de *Ruim* a *Bom*, em termos numéricos, de 0 a 88,21, no pior e melhor caso.

A tabela 13 apresenta o índice de qualidade da água obtido pelo modelo matemático, os três índices de qualidade da água obtidos pelo sistema nebuloso e os seus respectivos conceitos nebulosos lingüísticos.

RIBEIRÃO JOÃO LEITE - PONTO 3							
PERIO. (m/a)	TRATAMENTO		BIOTA		INGESTÃO		IQA MAT.
	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	
01/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	24,33
02/2003	Regular-	30	Regular	50	Regular-	29,24	31,13
03/2003	Regular-	30	Regular+	64,2	Bom	88,21	27,17
04/2003	Regular-	30	Regular	50	Regular	50	31,8
05/2003	Regular	57,17	Regular-	30	Ruim	6,53	29,4
06/2003	Regular	58,31	Regular-	30	Ruim	3,83	27,42
07/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	30,56
08/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	31,92
09/2003	Regular+	63,04	Regular-	30	Ruim	3,6	27,98
10/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	31,87
11/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	3	18,46
12/2003	Regular+	66,59	Regular-	30	Ruim	4,28	19,31
01/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	6	17,91
02/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	24,23
03/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	23,12
04/2004	Ruim	5	Regular-	30	Ruim	0	14,63
05/2004	Regular	41,82	Regular-	30	Ruim	7,85	24,88
06/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	36,47
07/2004	Regular+	70	Regular	50	Regular+	70	41,34
08/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	37,26
09/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	29,76
10/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	28,79
11/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	1,5	20,03
12/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	4,42	22,46

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 13: Índice de Qualidade da Água para o Ponto 3.

### 6.1.4 Estudo de Caso 4

No segundo ponto observado do ribeirão João Leite (ponto 4), percebe-se uma pequena variação do IQA, em relação ao ponto 3, tanto de acordo com o modelo matemático quanto de acordo com o modelo nebuloso. Nesse ponto, os índices obtidos pelo modelo matemático variam de 18,11 (no pior caso) a 40,65 (no melhor caso), sendo classificados de **Péssimo** a **Aceitável**. Para esse ponto, a série histórica apresenta uma falha - ausência de dados para o mês 04 de 2004.

Considerando o destino de uso da água como tratamento, de acordo com o modelo nebuloso proposto, os índices obtidos classificam as amostras de água de **Ruim** a **Regular+**. Em termos numéricos, os índices apresentados pelo sistema variam de 1 (no pior caso) a 70 (no melhor caso).

De acordo com as tabelas 13 e 14, se forem comparados os índices obtidos pelo sistema especialista nebuloso e pelo modelo matemático, não se percebe uma mudança significativa da qualidade da água, de maneira geral.

Conforme os dados obtidos pelo sistema, considerando as condições para a conservação dos organismos aquáticos, observa-se uma pequena deterioração da qualidade da água, comparando com o ponto anterior do ribeirão João Leite (ponto 3, dados da tabela 13). No ponto 4, as amostras são classificadas, pelo sistema, de **Regular-** a **Regular+**, em termos numéricos, de 25,26 a 65,88, no pior e melhor caso, respectivamente.

Através da observação das notas auferidas pelo sistema, considerando a ingestão da água como fator de relevância, não se observa considerável variação da qualidade da água, em relação ao ponto anterior do ribeirão (dados da tabela 13). Os índices obtidos para esse ponto classificam as amostras de **Ruim** a **Bom**, em termos numéricos, de 0 a 91,99, no pior e melhor caso, respectivamente.

A tabela 14 apresenta os índices nebulosos para avaliação da qualidade da água, bem como os conceitos nebulosos lingüísticos e o índice de qualidade de água obtido pelo modelo matemático.

RIBEIRÃO JOÃO LEITE - PONTO 4							
PERIO. (m/a)	TRATAMENTO		BIOTA		INGESTÃO		IQA MAT.
	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	CONCEITO	ÍND.	
01/2003	Ruim	1	Regular-	25,26	Ruim	0	20,92
02/2003	Regular-	30	Regular	50	Regular	50	36,9
03/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	31,62
04/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	21,44
05/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	23,81
06/2003	Regular+	69,34	Regular-	30	Ruim	4,5	26,62
07/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	33,45
08/2003	Regular+	67,65	Regular-	30	Ruim	0,75	25,15
09/2003	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	7,5	18,99
10/2003	Regular-	37,06	Regular-	30	Ruim	8,65	27,49
11/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	33,2
12/2003	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	25,01
01/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	5	18,11
02/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	26,39
03/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	23,99
04/2004	-	-	-	-	-	-	-
05/2004	Regular+	64,79	Regular-	30	Ruim	8,33	27,1
06/2004	Regular+	68,46	Regular	50	Regular-	30	34,88
07/2004	Regular+	68,46	Regular	50	Regular-	30	34,51
08/2004	Regular+	70	Regular+	65,88	Bom	91,99	40,65
09/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	35,68
10/2004	Regular-	30	Regular-	30	Ruim	0	29,03
11/2004	Regular+	70	Regular-	30	Ruim	0	30,58
12/2004	Ruim	2,25	Regular-	30	Ruim	2,25	22,04

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 14: Índice de Qualidade da Água para o Ponto 4.

## 7 Conclusões

Conforme a idéia proposta neste trabalho, foram obtidos diferentes índices de qualidade de água, auferidos por diferentes regras. Por meio do sistema desenvolvido, consegue-se detectar uma série de vantagens e pontos positivos que justificam a utilização ou, ao menos, a pesquisa de diferentes índices para a avaliação da qualidade da água, de acordo com o seu uso. A modelagem nebulosa para este problema apresenta aspectos positivos e algumas deficiências.

### 7.1 Aspectos Positivos da Ferramenta

Os índices obtidos por modelos matemáticos, como o apresentado pela CETESB, muitas vezes apresentam conceitos impróprios para determinado tipo de uso de água. Assim, muitas interpretações baseadas nesses modelos são comprometidas, haja vista ser possível que parâmetros, não muito importantes para determinado uso de água, possam elevar ou abaixar o valor do índice. Conseqüentemente, no que se refere às tomadas de decisão, tais índices podem conduzir a falhas e a erros grosseiros, por exemplo, induzir um piscicultor a iniciar suas atividades em determinada parte da bacia ou induzir um pecuarista a alimentar o seu rebanho com determinada água.

Uma importante consideração feita acerca da adoção de índices baseados no uso da água mediante modelos nebulosos, é a possibilidade de identificação, por exemplo, de água possivelmente própria para o consumo, sem tratamento. Isso ocorre porque o sistema especialista nebuloso pode garantir, dependendo da forma como é feita a composição, que o número de coliformes fecais não ultrapassa um valor  $x$  na água classificada com conceito **Bom** - algo não garantido pelos índices obtidos por modelos matemáticos. Porém, vale lembrar que métodos de composição, como o máximo dos máximos, pode conduzir a erros nesse sentido, haja vista que as regras são ativadas pela maior pertinência das variáveis nos conjuntos nebulosos que fazem parte de um antecedente múltiplo de uma regra dada. Dessa forma, não garante que o valor  $x$  de coliformes fecais será respeitado.



Além da capacidade de detecção de água possivelmente própria ou imprópria para o consumo, o sistema é capaz de fazer considerações mais específicas sobre as dificuldades e os custos de tratamento da água, bem como é capaz de fazer a racionalidade acerca da qualidade da água para a preservação da vida aquática. Dessa forma, através de conceitos lingüísticos (ou categorias narrativas), consegue-se melhorar a comunicação entre o sistema computacional e o ser humano, aproximando as saídas da linguagem natural.

A forma adotada para a representação do conhecimento de especialistas permite que sejam adicionados ao programa outros módulos de regras para referenciar outros tipos de uso de água, sem que sejam comprometidos os módulos já desenvolvidos e sem que seja comprometida a desempenho do sistema.

Por representar o conhecimento por meio de regras, o modelo permite uma melhor compreensão do conhecimento modelado, o que facilita a manutenção da base de conhecimento.

O sistema, por classificar os parâmetros (ou variáveis) em conjuntos nebulosos, permite a mudança de conceitos sobre um determinado parâmetro sem alterar a base do conhecimento e as regras de inferência. Assim, se for mudada a legislação que trata desses parâmetros, por exemplo, basta que se mude as funções de pertinência, sem que sejam necessários muitos esforços cognitivos.

As variáveis são classificadas em conjuntos nebulosos para a realização do processo de racionalidade. Dessa forma, o modelo permite que se adote diferentes conceitos para um mesmo parâmetro, de acordo com o contexto de aplicação deste, mediante o uso de curvas de pertinência diferentes para essa variável.

Pelo fato de ser um modelo nebuloso, consegue-se tratar satisfatoriamente os aspectos de ambigüidade acarretados pela linguagem humana, bem como aqueles provocados pela percepção e pelos conceitos de diversos seres humanos.

## 7.2 Aspectos Negativos da Ferramenta

Assim como a maioria dos sistemas especialistas, esta modelagem é sujeita a discussões resultantes da percepção de especialistas em relação ao sistema modelado. Um especialista poderia questionar, por exemplo, a necessidade ou não do uso de um determinado parâmetro para compor os índices.

À medida que as variáveis são adicionadas ao sistema, aumenta-se a sua complexidade, o que dificulta a abstração do conhecimento do especialista, pois a dificuldade de visualização das possíveis correlações entre os parâmetros utilizados na determinação dos índices é incrementada.

Ao serem verificadas as noventa e seis saídas, para os quatro estudos de caso, considerando o aspecto de tratamento da água, foram detectadas três saídas compostas por regiões não adjacentes. Isso leva a crer que talvez seja possível redefinir as regras de modo a tornar essas saídas adjacentes. É importante observar que existe a possibilidade de redefinir as regras ou redefinir o universo de discurso, criando novos conjuntos para os parâmetros considerados na análise.

Uma importante consideração deve ser feita sobre a *defuzzificação*: nem sempre se consegue representar bem a resposta do sistema nebuloso, haja vista ser necessário converter a saída nebulosa em um formato claro e compreensivo, como escalas numéricas. Isso pode ocasionar pequenas incoerências. Por exemplo, uma amostra de água com certos parâmetros ficar com uma pontuação um pouco maior do que outra amostra com parâmetros um pouco melhores. Embora o sistema seja sujeito a esse tipo de problema, de maneira geral, ele responde bem às propostas desta pesquisa.

## 7.3 **Trabalhos Futuros**

Outros módulos de regras podem ser adicionados à base de conhecimento, neste trabalho, a fim de avaliar a qualidade da água para outros tipos de uso. Certos aspectos de uso de água podem exigir outras variáveis para a composição do processo de inferência, o que indica ser necessário realizar mais pesquisas e estudos sobre a identificação de parâmetros mais adequados à composição de índices de acordo com o uso da água.

O problema detectado no índice de qualidade de água para tratamento (citado na seção 7.2) sugere mais pesquisas junto a especialistas, o que pode minimizar ou resolver tal questão. Conforme exposto no capítulo 5, seção 5.5, existem diversos métodos de composição e de *defuzzificação* que podem ser utilizados, o que permite, ainda, a realização de experimentos a fim de comparar métodos de racionalidade diferentes.

A modularidade da base de conhecimento para tratar aspectos distintos quanto ao uso da água sugere também a possibilidade de modularizar as curvas de pertinência de acordo com o uso da água. A adoção de diferentes curvas de pertinência para a formação de diferentes conjuntos nebulosos pode auxiliar, em muito, a resolução do problema da

---

ambigüidade de conceitos e da linguagem humana, pois permite a concentração de esforços cognitivos em aspectos mais específicos. Isso pode aumentar a eficiência do sistema especialista nebuloso para a avaliação de qualidade de água.

## *Referências*

AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. *Unidades de Conservação no Estado de Goiás*.

BERGH, J. C. J. M. van den; VERBRUGGEN, H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the 'ecological footprint'. *Ecological Economics*, v. 29, p. 61–72, 1999.

BID. *Mercado de Trabalho da América Latina Melhoraria com mais Tecnologia, Produtividade e Educação*. Outubro 2003. Disponível em: <<http://www.iadb.org/NEWS/DISPLAY/prbydate.cfm?Language=Portuguese>>. Acessado em: 11/2003.

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. da M. Gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas: bacia do rio Cachoeiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, p. 45–65, Julho 2001.

CONAMA. *Resolução nº 20 de 1986*. Junho 1986.

CONAMA. *Resolução nº 03 de 1990*. Junho 1990.

COX, E. *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems*. [S.l.]: Ap Professional, 1994.

CÔRTE, D. A. de A. Planejamento e Gestão de APAs: enfoque institucional. In: . SAIN Avenida, L/4 Norte, s/n, 70800-200, Brasília-DF: [s.n.], 1997, (Série Meio Ambiente em Debate, 14132583). p. 106–213.

DATASUS. *Pacto de Atenção Básica*. 2003. Ministério da Saúde. Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br/>>. Acessado em: 08/2003.

DERISIO, J. C. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. 1ª edição. ed. [S.l.]: Signus Editora, 2000.

DUBOIS, D.; HENRI, P. *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. [S.l.]: Academic Press, 1980.

EMBRAPA. *Monitoramento Orbital, Prevenção e Controle das Queimadas*. 2000. Disponível em: <<http://www.queimadas.cnpm.embrapa.br/qmd2000.html>>. Acessado em: 02/2004.

FERRARI, D. G. *Classificação de Diagramas Unifilares de Subestações Elétricas Baseada em Lógica Nebulosa*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Praça Universitária s/n, Setor Universitário, Goiânia, Goiás, Brasil, 74605-220, 2003.

- FIDLER, D. P. Fighting the axis of illness: HIV/AIDS, Human Rights, and U.S. Foreign Policy. *Harvard Human Rights Journal*, v. 17, p. 99–136, 2004.
- FILHO, J. B. M.; ANDRÉS, M. A. *Mortalidade Infantil*. Maio 2003. Disponível em: <<http://www.aborto.com.br/mortalidade/>>. Acessado em: 06/2003.
- FUNASA. *Manual de Saneamento*. 3ª edição. ed. Setor de Autarquias Sul, Quadra 4, 70070-040, Brasília, Distrito Federal, 2004.
- IBGE. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*, v. 2.
- JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUTANI, E. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. [S.l.]: Prentice-Hall, 1997.
- LU, R.-S.; LO, S.-L. Diagnosing reservoir water quality using self-organizing maps and fuzzy theory. *Water Research*, v. 36, p. 2265–2274, 2002.
- LUNDIN, M.; MORRISON, G. M. A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban Water*, v. 4, p. 145–152, 2002.
- MCNEILL, F. M.; THRO, E. *Fuzzy Logic: A Practical Approach*. [S.l.]: Morgan Kaufmann Pub, 1994.
- MILLER, J. G. T. *Living in the Environment*. 12th edition. ed. [S.l.]: Brooks/Cole Publishing Company, 2002.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria nº 1121 de 2002*.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria nº 456 de 2003*.
- MOBERG, A. *Environmental Systems Analysis Tools - differences and similarities*. Dissertação (Mestrado) — Stockholm University, Department of Systems Ecology, Stockholm University, S-106 91 Stockholm, Sweden, April 1999.
- OECD. *Sustainable development strategies: what are they and how can development co-operation agencies support them?* September 2001.
- PNUD. *Relatório de Desenvolvimento Humano 2002*. 1 UN Plaza, New York, New York, 10017, USA, 2002.
- ROBERT, K.-H. Tools and concepts for sustainable development, how do they relate to a general framework for sustainable development, and to each other? *Journal of Cleaner Production*, v. 8, p. 243–254, 2000.
- ROSS, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 1st edition. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, Inc., 1997.
- ROTH, E.; ROSENTHAL, H.; BURBRIDGE, P. A discussion of the use of the sustainability index: ‘ecological footprint’ for aquaculture production. *Aquatic Living Resource*, v. 13, p. 461–469, 2000.
- RUSSEL, S.; NORVIG, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 1st edition. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 1995.

SANEAGO. *Boletim Informativo*. [S.l.], 1990–2002.

SCHAUER, T.; RADERMACHER, F. J. *Igualdade e Diversidade na Era da Informação*. [S.l.], 2003.

STATISTICAL COMMISSION AND ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. *Environmental sustainability indicators in urban areas: an Italian experience*.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. Fatores ambientais associados à desnutrição infantil em áreas de invasão, Juiz de Fora, MG. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 7, Setembro 2004.

TURBAN, E.; ARONSON, J. E.; LIANG, T.-P. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. 7th edition. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2004.

UNDP. *Human Development Report for Brazil 1996*. 2003. Disponível em: <<http://www.undp.org.br/HDR/Hdr96/hdr.htm>>. Acessado em: 10/2003.

UNEP. *United Nations List of Protected Areas*. 2003. WCMC-Protected Areas and World Heritage Programme. Disponível em: <[http://www.unep-wcmc.org/protected\\_areas/data/un\\_annex.htm](http://www.unep-wcmc.org/protected_areas/data/un_annex.htm)>. Acessado em: 01/2004.

UNITED NATIONS. *United Nations Millennium Declaration*.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Inf. Control*, v. 8, p. 338–356, 1965.

ZADEH, L. A. et al. *Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Process*. [S.l.]: Academic Press, 1975.

## *APÊNDICE A – Lógica Nebulosa*

Independentemente do tempo e da localização em que se encontre, sempre se está envolvido por um ambiente complexo, onde as incertezas decorrentes de ambigüidades crescem com o aumento da complexidade.

Assim que nós aprendemos mais e mais sobre um sistema, sua complexidade diminui e nossa compreensão aumenta. Com a redução da complexidade, a precisão dada por métodos computacionais se torna mais proveitosa na modelagem de sistemas.

(ROSS, 1997)



Figura 10: Regiões de atuação de modelos: Complexidade do Sistema *Versus* Precisão do Modelo.

Segundo (ROSS, 1997), equações matemáticas fornecem uma descrição mais precisa para sistemas de menor complexidade. Para sistemas cuja complexidade é um pouco

maior e dados significantes existam, métodos *model-free*, como *Q-learning* e redes neurais artificiais, proporcionam uma poderosa e robusta forma de redução de incertezas através de aprendizado, baseada em padrões disponíveis nos dados. Já para sistemas de maior complexidade, onde se pode contar apenas com poucos dados numéricos e onde somente informações ambíguas, ou imprecisas, podem estar disponíveis, o raciocínio nebuloso proporciona uma forma de compreensão do comportamento do sistema, sendo permitido pela interpolação aproximada entre situações de saída e de entrada observadas. A imprecisão em modelos nebulosos é geralmente bastante alta. Estes modelos podem implementar entradas e saídas *crisp* (não nebulosas e de fácil compreensão), e produzir mapeamentos não-lineares, assim como fazem os algoritmos.

Historicamente, a teoria da probabilidade tem sido a ferramenta primordial para representação de incertezas em modelos matemáticos. Por isso a incerteza era caracteristicamente assumida como uma incerteza aleatória. Neste tipo de processo (aleatório), os resultados de um evento particular são meras questões de probabilidade; a predição de uma seqüência de eventos não é possível. O que é possível em processos aleatórios é uma descrição estatística precisa de uma média de uma longa série de um determinado processo. Todavia, nem todas as incertezas são aleatórias. Muitas incertezas associadas com assuntos e sistemas complexos, que os humanos relacionam no seu dia-a-dia, são de natureza não aleatória. Para isso, a teoria de conjuntos nebulosos representa uma excelente ferramenta para modelagem de incertezas associadas à imprecisão, a vagueza ou a falta de informação, considerando um particular elemento de certo problema.

## A.1 Conceitos Básicos

A lógica nebulosa, também conhecida como lógica *fuzzy*, é uma ferramenta capaz de capturar informações imprecisas, descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico. Através da teoria de conjuntos nebulosos, a lógica nebulosa visa prover fundamentos para realizar raciocínios aproximados, fazendo uso de proposições imprecisas.

Assim, ao se relacionar a um aspecto do mundo real (representado por uma variável) um conjunto de valores, e a esse conjunto de valores dar um grau de pertinência contínua, implementa-se a idéia de conjuntos nebulosos. Dessa forma, os conjuntos nebulosos representam funções que mapeiam para um valor escalar entre 0 e 1, definindo o grau de pertinência a este conjunto.



Por exemplo, dado o indicador Áreas Protegidas, que expressa a percentagem da área de um município (estado, região ou país, dependendo do contexto) que é protegida por algum instrumento legal, cria-se uma escala de 0 a 1. Pode-se definir que, de acordo com as peculiaridades do município, uma proteção PÉSSIMA significa proteger menos do que 10% de seu território. Sendo assim, a proteção PÉSSIMA está relacionada aos valores menores do que 0,1 (10%). Logo, quanto menor é o valor do indicador, maior é o grau de pertinência ao conjunto nebuloso PÉSSIMA de áreas protegidas. Para esse exemplo, pode-se dizer que o grau de pertinência para o indicador de áreas protegidas igual a 0% no conjunto nebuloso PÉSSIMA é 1.

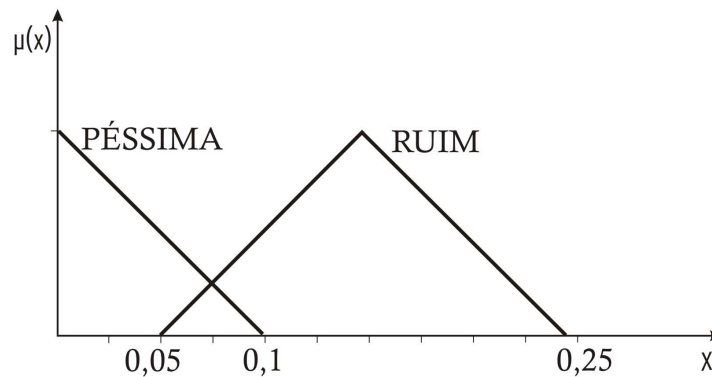


Figura 11: Curva de pertinência do conjunto nebuloso PÉSSIMA.

Ao se modelar um sistema, ou um problema, variáveis lingüísticas (palavras) são empregadas. Por sua vez, estas são utilizadas para a formação de regras que são designadas para a representação do conhecimento humano sobre o sistema, ou problema, a ser modelado. Veja um exemplo de regra:

*SE área protegida é péssima ENTÃO aumentar área protegida.*

Observa-se para o indicador ÁREA PROTEGIDA, uma consideração - PÉSSIMA. Daí surge uma consequência: sugestão de aumentar as áreas a serem protegidas. A regra é bastante clara, simples e de fácil compreensão. Todavia, os conceitos lingüísticos de advérbios e de adjetivos acompanham e adicionam idéias ao significado de uma palavra. Esses conceitos aparecem na lógica nebulosa como qualificadores. Assim, poder-se-ia melhorar o sentido da regra anterior:

*SE área protegida é bastante péssima ENTÃO aumentar bastante área protegida.*

Sendo assim, os qualificadores são palavras que alteram curvas de pertinência de conjuntos nebulosos. Semelhante aos advérbios e adjetivos, os qualificadores podem intensificar ou reduzir as características de conjuntos, dar idéia de aproximação, de generalização e de negação.

Contudo, a ordem de aplicação de qualificadores deve ser cuidadosamente observada porque se pode alterar uma função de pertinência de modo diferente daquele que realmente deveria ter ocorrido. Dado, por exemplo, um conjunto nebuloso representando a vegetação remanescente de uma região, chamado DEVASTADA, considere duas combinações de dois qualificadores:

- POUCO NÃO DEVASTADA
- NÃO POUCO DEVASTADA

Observe as seguintes curvas:

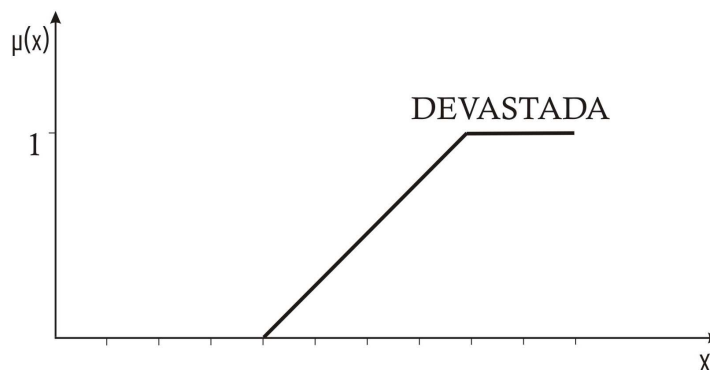


Figura 12: Conjunto nebuloso DEVASTADA.

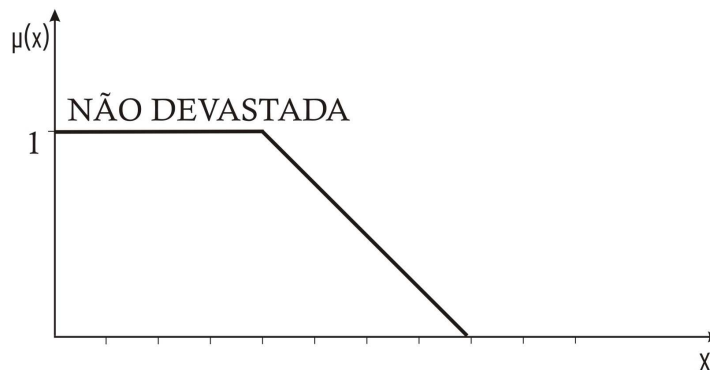


Figura 13: Conjunto nebuloso NÃO DEVASTADA.

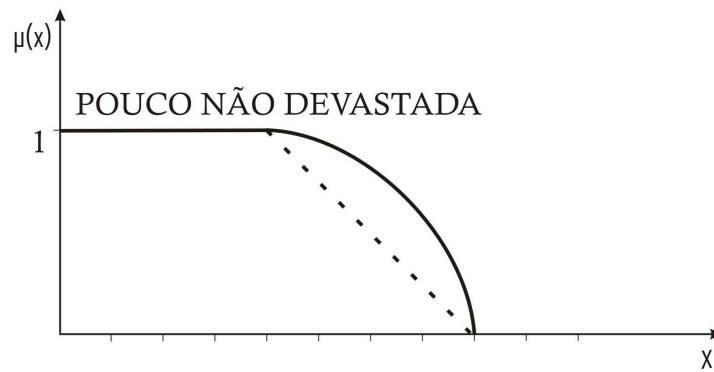


Figura 14: Conjunto nebuloso POUCO NÃO DEVASTADA.

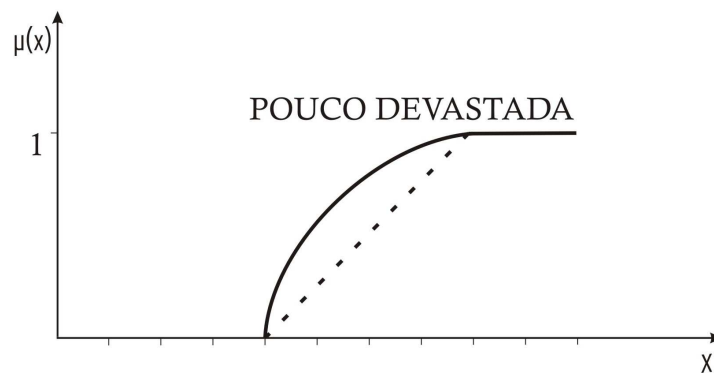


Figura 15: Conjunto nebuloso POUCO DEVASTADA.

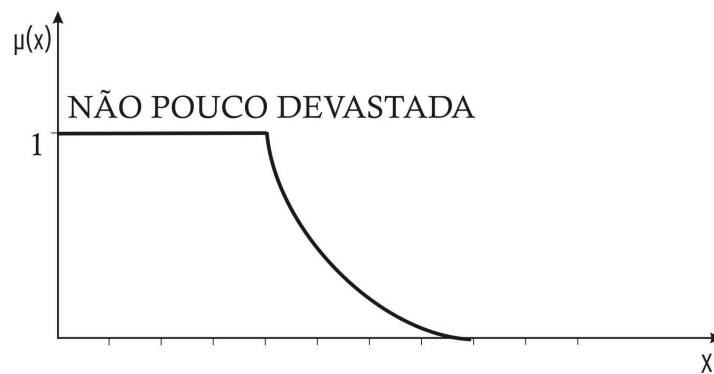


Figura 16: Conjunto nebuloso NÃO POUCO DEVASTADA.

Embora as duas sentenças apareçam exatamente com as mesmas palavras, elas possuem significados diferentes. Observe que na primeira sentença aparece o qualificador (POUCO) atuando sobre curva de pertinência do conjunto NÃO DEVASTADA, ou seja, atuando no complemento de DEVASTADA. Já na segunda sentença, ocorre o complemento (NÃO) da curva POUCO DEVASTADA. Os qualificadores apresentam um signifi-

cado matemático, modificando curvas, e este significado é dado pelo especialista durante a fase de modelagem do sistema nebuloso.

Em alguns problemas, não é admitido ambigüidades. É necessário que existam valores precisos. Por exemplo, para avaliar se está ocorrendo melhorias ou não de determinado parâmetro, tendo em vista o desenvolvimento sustentável, são necessários valores numéricos (como saber se áreas protegidas estão diminuindo ou aumentando). Para que se possa trabalhar com este tipo de valores em sistemas nebulosos, existem os *fuzzificadores* - filtros que transformam uma leitura escalar em valores nebulosos. Após verificar os processos de inferência, o sistema nebuloso deve realizar a composição destas inferências para implementar o processo de racionalidade nebulosa. Em seguida, retorna a resposta nebulosa encontrada, porém esses valores devem ser apresentados ao usuário em formato compreensivo, *crisp*, assim como o formato de entrada do sistema - esta última etapa é conhecida como *defuzzificação*.

Assim, o sistema computacional interage com o meio ambiente através de sensores ou algum mecanismo semelhante para coletar informações do mundo real e, após a inferência nebulosa, de alguma forma causa alteração ou alterações no mundo real ou em outro sistema, através de atuadores. Entretanto, em alguns sistemas, as entradas podem ser alimentadas por outras fontes de informações que não sejam sensores. E as saídas podem ser, por exemplo, sugestões, diagnósticos ou instruções propostas pelo sistema, em vez de atuadores.

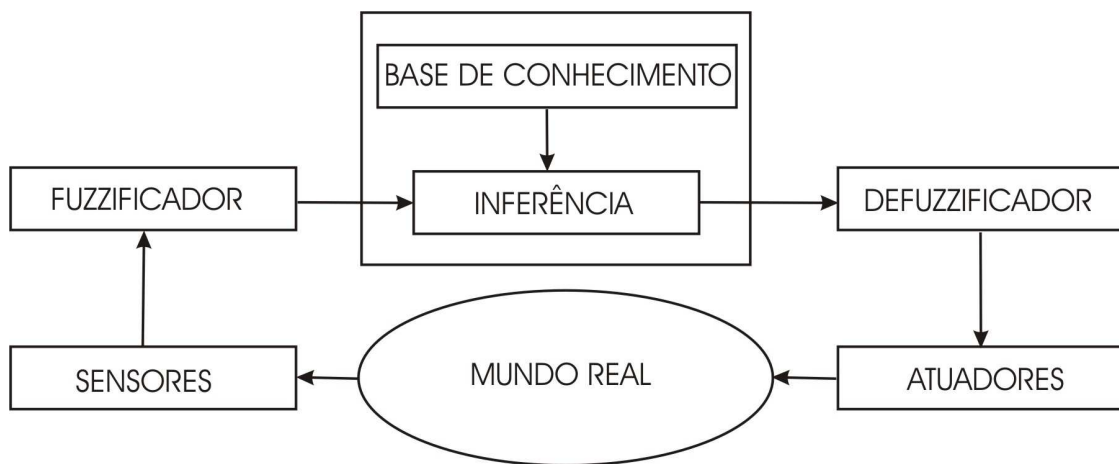


Figura 17: Modelo de um sistema nebuloso.

## A.2 Conjuntos Nebulosos e Pertinências

De acordo com o senso comum, consideram-se conjuntos e pertinências conforme a teoria clássica de conjuntos. Por essa visão, constata-se que um elemento é pertencente ou não a um determinado conjunto. Um conjunto clássico pode ser, por exemplo, os alunos que obtiveram boa nota em um teste de português: somente aqueles com nota superior ou igual a 7,00. Dessa forma, existem dois possíveis estados de pertinência: ou 0, ou 1. Assim, pode ser considerado que a nota do aluno foi boa ou não. A figura a seguir ilustra o conjunto de notas boas, de acordo com a teoria clássica de conjuntos.

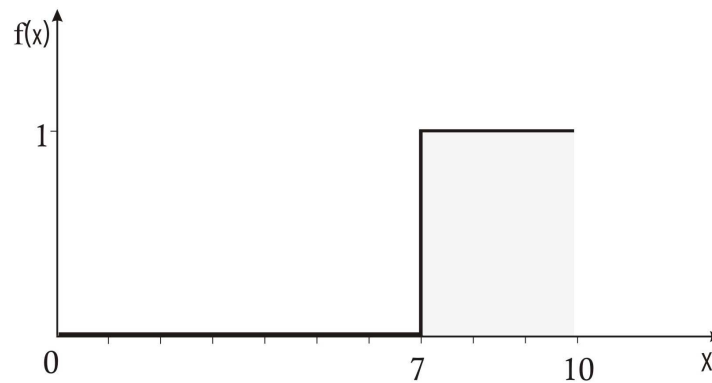


Figura 18: Conjunto clássico das notas boas do teste de português.

A teoria de conjuntos nebulosos é um pouco diferente. Estes conjuntos são sempre funções que mapeiam um universo de objetos para um valor do intervalo  $[0, 1]$ . Assim, entende-se que um elemento possui um grau de pertinência no intervalo  $[0, 1]$  para um determinado conjunto. Quando um elemento apresenta grau de pertinência 0, diz-se que ele não pertence ao conjunto, em outras palavras, está completamente fora do conjunto. Quando o elemento apresenta grau máximo de pertinência, ou seja, 1, ele é um exemplo típico do conjunto. Para os demais casos de pertinência, maior que 0 e menor que 1, considera-se um grau de pertinência intermediária. A idéia que se tem de que um determinado elemento ou pertence ou não pertence só é válida para a teoria de conjuntos clássicos, não é válida para conjuntos nebulosos. A figura abaixo, é uma representação nebulosa da situação apresentada pela figura 18.

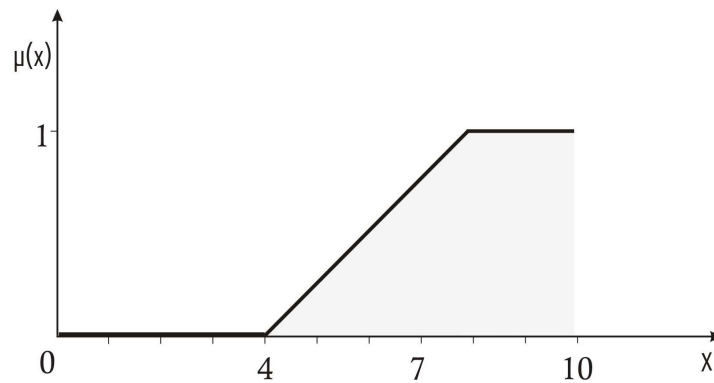


Figura 19: Conjunto nebuloso das notas boas do teste de português.

De acordo com a idéia proposta em (ZADEH, 1965), o conjunto pertinência é a chave para tomadas de decisões quando se depara com a incerteza:

A noção de conjuntos nebulosos proporciona um ponto de partida conveniente para a construção de um *framework* conceitual que seja paralelo em muitos aspectos aos frameworks utilizados em casos de conjuntos ordinários, mas é mais geral do que os últimos e, potencialmente, pode provar ter um escopo muito mais amplo de aplicabilidade, particularmente nos campos de classificação de padrões e processamento de informação. Essencialmente, um *framework* proporciona uma forma natural de lidar com problemas no qual a fonte de imprecisão é a ausência de um critério bem definido de pertinência de classes e não a presença de variáveis randômicas.

(ZADEH, 1965)

As funções de pertinência são compostas por representações matemáticas e a notação adotada para um conjunto nebuloso é o símbolo do conjunto (uma letra  $A$ , por exemplo) podendo ou não aparecer com um til ( $\sim$ ) subscrito - para diferenciá-lo de um conjunto não-nebuloso. Os conjuntos nebulosos podem ser definidos, matematicamente, da seguinte maneira:

$$\mu_A(x) = f(x \in A) \quad (\text{A.1})$$

Onde, o primeiro membro da função  $\mu_A(x)$  significa o grau de pertinência do elemento  $x$  ao conjunto nebuloso  $A$ . Essa pertinência é dada pela função  $f$ , que mapeia cada valor  $x$  do conjunto não nebuloso (ou *crisp*)  $A$ , que é o universo de discurso, para o conjunto nebuloso  $A$ .

## A.3 Características de Funções de Pertinência

As informações contidas em um conjunto nebuloso são descritas por uma função de pertinência. Por isso, é muito importante o desenvolvimento de termos léxicos para descrever várias características especiais desta função. Nesse sentido, algumas características de funções de pertinência merecem destaque.

O **universo de discurso** é representado por uma variável semântica, ou parâmetro de um modelo. O universo de discurso pode ser composto por diferentes conjuntos nebulosos. Imagine, por exemplo, o universo de discurso *NOTA*. Ele pode ser formado pelos conjuntos *RUIM*, *REGULAR* e *BOA*, logo pode ser decomposto em *NOTA RUIM*, *NOTA REGULAR* e *NOTA BOA*.

O **núcleo** de uma função de pertinência de um conjunto nebuloso é a região do universo cuja pertinência dos valores em um conjunto nebuloso é completa e total, ou seja, é um intervalo em que se observa a função de pertinência do conjunto nebuloso igual a 1 ( $\mu_A(x) = 1$ ).

O **suporte** de uma função de pertinência de um conjunto nebuloso é definido como a região do universo que contém elementos com grau de pertinência não-nulo. Ou seja, compreende aqueles elementos  $x$  do universo, para o qual  $\mu_A(x) > 0$ . É um conjunto cujos elementos apresentam alguma significância.

A **fronteira** de uma função de pertinência de um conjunto nebuloso é definida como a região do universo que contém os valores com pertinências não-nulas e que ao mesmo tempo não seja total, em outras palavras, com pertinências maiores que zero e menores que um.

A figura 20 ilustra a representação do núcleo, do suporte e das fronteiras para um conjunto nebuloso dado.

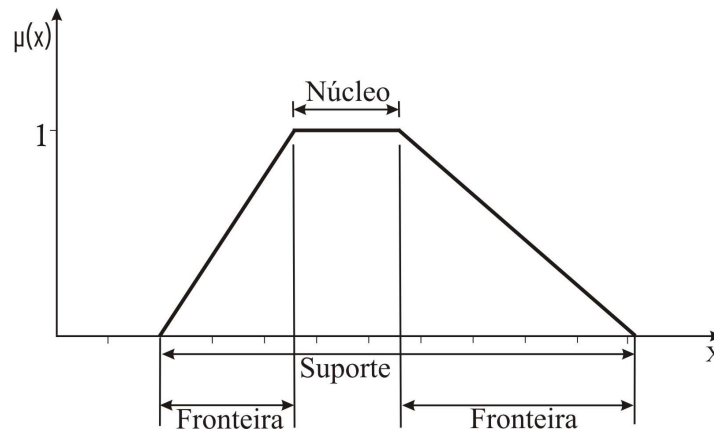


Figura 20: Núcleo, suporte e fronteiras de um conjunto nebuloso.

A **altura** é determinada pelo máximo valor da função de pertinência de um conjunto. Quando a altura de um conjunto é igual a 1, diz-se que este conjunto é normal, caso contrário é dito que este conjunto é subnormal. Em conjuntos normais em que existe apenas um elemento igual a 1, diz-se que este elemento é o protótipo do conjunto.

Para realizar a **normalização** é necessário transformar um conjunto subnormal em um conjunto normal. Para normalizar um conjunto subnormal, basta dividir todos os valores do conjunto que se deseja normalizar pela maior altura encontrada nesse mesmo conjunto.

O **domínio** é formado pelos valores reais que representam uma variável do mundo real que está sendo mapeada para um conjunto nebuloso. São os valores da base do gráfico (abscissa) e que são monotonicamente crescentes da esquerda para a direita.

Um conjunto **convexo** é um conjunto cujos valores da função de pertinência são estritamente monotonicamente crescentes, ou é um conjunto cujos valores de pertinência são estritamente monotonicamente decrescentes, ou é um conjunto cujos valores são estritamente monotonicamente crescentes e logo em seguida estritamente monotonicamente decrescentes com o aumento dos valores dos elementos do universo. Matematicamente, para quaisquer elementos  $x, y$  e  $z$  em um conjunto nebuloso convexo, a relação:

$$x < y < z \tag{A.2}$$

implica que:

$$\mu_A(y) \geq \min[\mu_A(x), \mu_A(z)] \tag{A.3}$$



As formas mais comuns de funções de pertinência são as normais e convexas. Todavia, muitas operações com conjuntos nebulosos resultam em conjuntos nebulosos não-convexos e subnormais. Isso pode ocorrer em operações, como intersecção e união (discutidos na seção A.4, ver figuras 24 e 27).

O **Lambda-cut** (ou *alpha-cut*) determina uma restrição para o domínio. Baseia-se no grau de pertinência de cada elemento. Para todos os elementos fora (abaixo) da linha de corte o grau de pertinência é definido como zero. O conjunto *crisp*  $A_\lambda$  é dado pela seguinte relação:

$$A_\lambda = \{x \mid \mu_A(x) \geq \lambda\} \quad (\text{A.4})$$

Na figura abaixo, a restrição para o conjunto nebuloso  $A$  - *lambda-cut* igual a 0,6 - determina um novo conjunto, cujos membros estão acima da linha de corte.

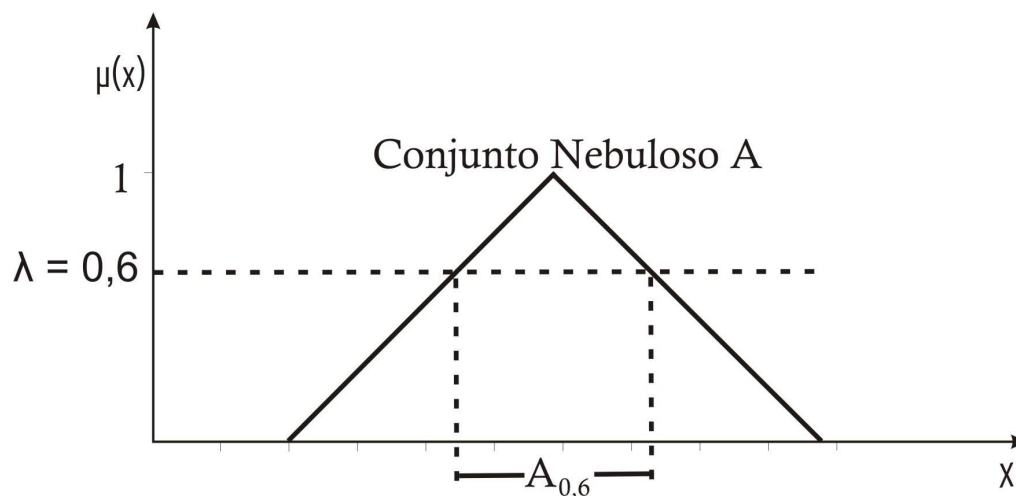


Figura 21: Conjunto determinado por *lambda-cut*.

As funções de pertinência podem ser simétricas ou assimétricas, e são usualmente definidas em um universo de discurso unidimensional. A partir do momento em que o universo se torna bidimensional, essas curvas se tornam superfícies, e para três ou mais dimensões, tornam-se hiper-superfícies. Por sua vez, essas hiper-superfícies, ou curvas, são mapeamentos de combinações de parâmetros em um espaço  $n$ -dimensional para um valor de pertinência em um intervalo  $[0, 1]$ . Lembrando que, o valor dessa pertinência expressa o grau de pertinência que a combinação específica de parâmetros no espaço  $n$ -dimensional possui em um conjunto nebuloso definido em um universo de discurso  $n$ -dimensional. Analogamente temos que essas hiper-superfícies para um universo  $n$ -dimensional são se-

melhantes às funções de densidade de probabilidade conjunta; contudo, o mapeamento para uma função de pertinência é para a pertinência em um conjunto particular e não a uma frequência relativa, como ocorre em funções de densidade de probabilidade.

## A.4 Operações em Conjuntos Nebulosos

Assim como ocorre para os conjuntos clássicos, a união, a intersecção e o complemento também são operações válidas para conjuntos nebulosos.

A união para dois conjuntos nebulosos é dada pela seguinte relação:

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A, \mu_B) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (\text{A.5})$$

Nesta operação, conhecida como norma S (ou conorma T), seleciona-se sempre o elemento com o maior grau de pertinência em seus respectivos conjuntos nebulosos  $A$  e  $B$ . Graficamente, o que se obtém como resultado desta operação é a sobreposição de imagens, ver figura 24. Esta operação é representada pelo operador lógico **OU**.

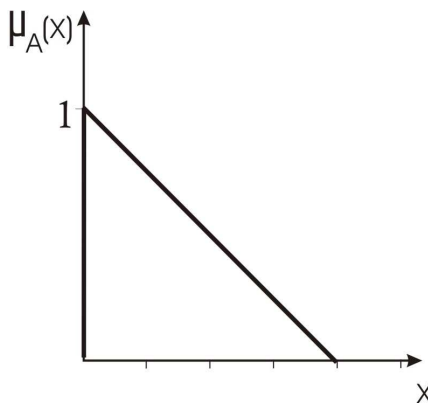


Figura 22: Gráfico do conjunto A.

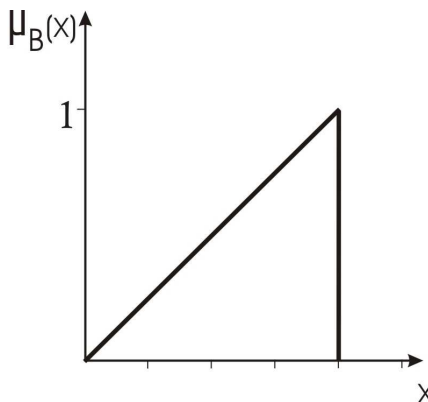


Figura 23: Gráfico do conjunto B.

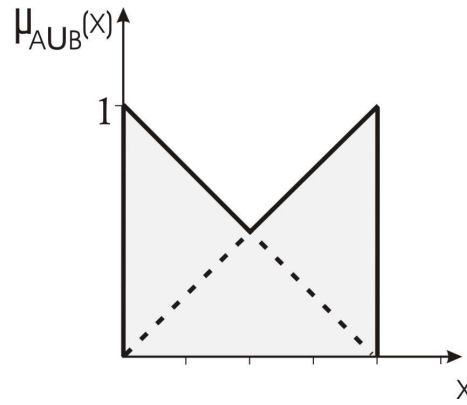


Figura 24: Gráfico da união de A com B.

A intersecção, para dois conjuntos nebulosos, é definida pela norma T como:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A, \mu_B) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (\text{A.6})$$

Na intersecção, seleciona-se o elemento com menor grau de pertinência em seus respectivos conjuntos. Graficamente, o resultado obtido dessa operação é a área comum a ambos os conjuntos, ver figura 27. Esta operação é representada pelo operador lógico **E**.

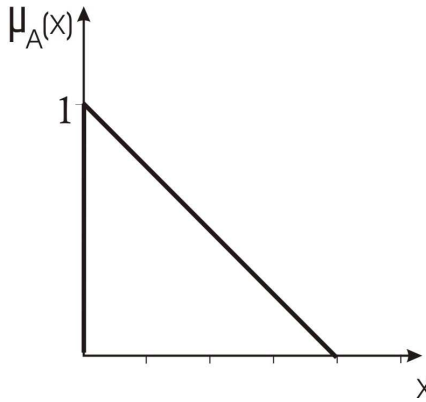


Figura 25: Gráfico do conjunto A.

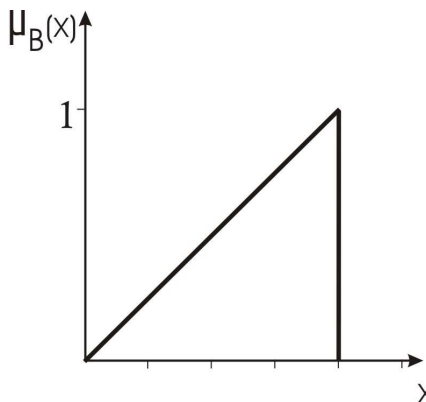


Figura 26: Gráfico do conjunto B.

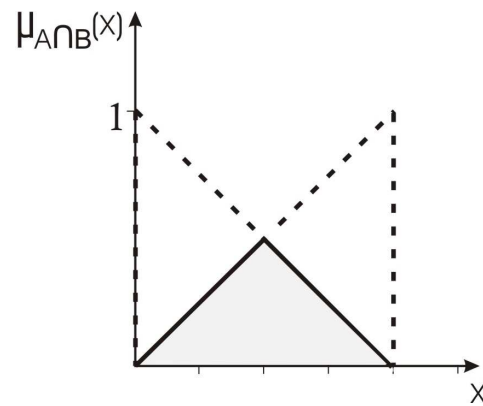


Figura 27: Gráfico da intersecção de A com B.

A terceira operação, o complemento, ou negação, para conjuntos nebulosos é representada pela seguinte relação:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (\text{A.7})$$

Esta simples operação é dada pela diferença de 1 pelo valor de pertinência de cada elemento do conjunto. É representada pelo operador lógico **NÃO**. A visualização gráfica do resultado desta operação já não é tão fácil e intuitiva como era para os dois casos mostrados anteriormente, ver figuras 28 e 29.

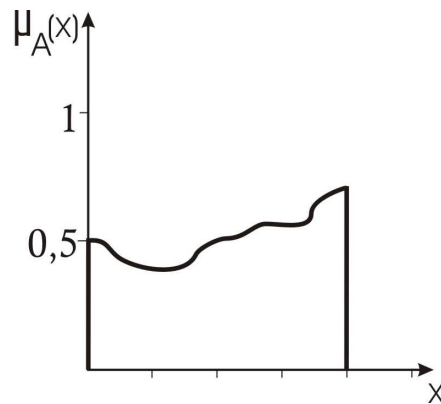


Figura 28: Gráfico do conjunto A.

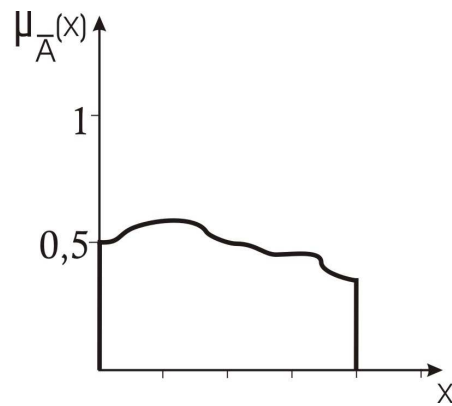


Figura 29: Gráfico do complemento de A.

É importante observar duas ressalvas às leis da teoria clássica de conjuntos, que dizem que:

- a união de um conjunto com o seu complemento resulta no universo;
- a intersecção de um conjunto com o seu complemento resulta em um conjunto vazio.

De acordo com a teoria de conjuntos nebulosos, essas leis não são aplicáveis, observe figura 32 e 33. Ocorre a violação de ambas as leis.

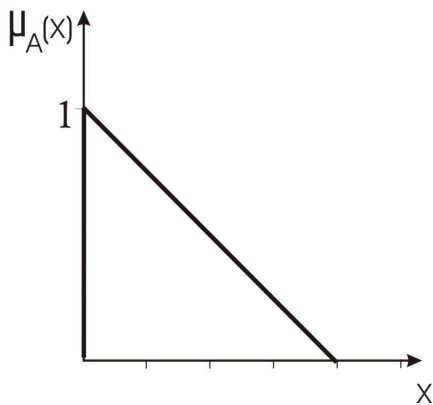


Figura 30: Gráfico do conjunto A.

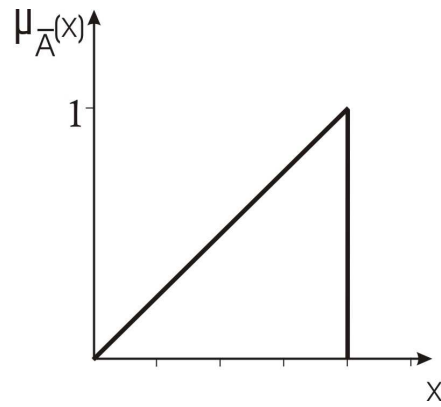
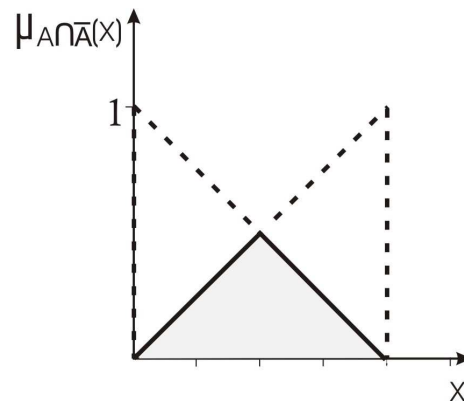
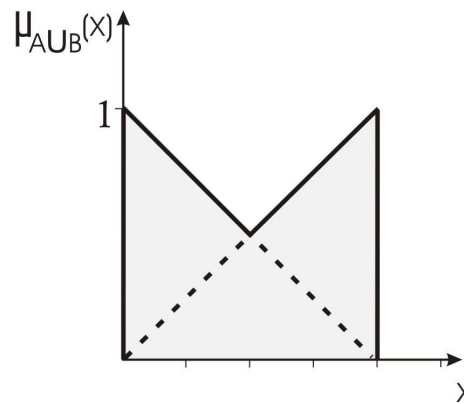


Figura 31: Gráfico do complemento de A.

Figura 32: Gráfico da intersecção de A com  $\bar{A}$ .Figura 33: Gráfico da união de A com  $\bar{A}$ .

Em consequência disso, ao contrário do que ocorre considerando a teoria clássica de conjuntos, uma premissa pode ser satisfeita, mesmo sendo esta formada pela intersecção de um conjunto nebuloso com o seu complemento. Pela teoria de conjuntos nebulosos, também não é possível garantir que a união de um conjunto nebuloso com o seu complemento apresente uma conclusão absolutamente verdadeira, ou seja, conclusão igual à região do universo de discurso em sua totalidade.

## A.5 Raciocínio Nebuloso

O principal processo de raciocínio que ocorre na lógica nebulosa é o paradigma de processamento paralelo, em contraste do que ocorre nos sistemas especialistas convencionais, onde as sentenças são executadas serialmente. Nos sistemas convencionais baseados em conhecimento, algoritmos e heurísticas são aplicadas para reduzir o número de regras a serem examinadas, todavia nos sistemas nebulosos todas as regras são empregadas, mesmo que algumas não apresentem nenhuma influência para a determinação da resposta.

As proposições são sentenças que representam relacionamento entre variáveis e uma ou mais regiões nebulosas, e representam também o mecanismo básico de um modelo nebuloso. Uma série de associações ou proposições nebulosas condicionais ou incondicionais é avaliada pelo seu grau de veracidade e por todas as associações ou proposições que apresentam alguma contribuição significativa no estado final do conjunto de variáveis de solução.

O método de *implicação* representa a relação do grau de veracidade em regiões nebulosas. O método de *defuzzificação* representa a relação entre regiões nebulosas e o valor esperado do conjunto de pontos. Esses dois métodos juntos compõem o sustentáculo do raciocínio aproximado.

O raciocínio nebuloso surge no contexto de um modelo de sistema nebuloso, que consiste em variáveis de entrada e saída, métodos de inferência e conjuntos nebulosos que se relacionam de modo que se possa formar um ambiente coerente de raciocínio.

Esse modelo nebuloso manipula variáveis lingüísticas que representam espaços nebulosos. Um espaço é simplesmente um conjunto nebuloso extraído a partir de uma variável lingüística.

Variáveis lingüísticas ( $V_L$ ) são definidas pela relação:

$$V_L \longleftarrow \{q_1 \dots q_n\}fp \quad (\text{A.8})$$

Onde  $q$  representa qualificadores e  $fp$  a função de pertinência do conjunto nebuloso. Os valores subscritos indicam a ordem de aplicação de elementos. E as chaves indicam que os componentes internos são opcionais da variável lingüística.

A variável lingüística mais simples é o nome dado a um conjunto nebuloso, que, por sua vez, representa uma região específica do escopo de um problema. Sendo assim, consegue-

se modelar o conhecimento de um modelo atrelando variáveis lingüísticas a conjuntos nebulosos.

### A.5.1 Proposições Nebulosas

Modelos nebulosos são compostos por séries de proposições nebulosas condicionais e incondicionais. Essas proposições, ou sentenças, estabelecem um relacionamento entre um espaço nebuloso e um valor do domínio. As expressões são dadas da seguinte forma:

$$x \text{ é } Y$$

Onde  $x$  é uma variável lingüística e  $Y$  é um conjunto nebuloso. O resultado da avaliação de uma proposição nebulosa implica no grau de pertinência derivado de uma função de pertinência:

$$\mu_A \longleftarrow (x \in Y) \quad (\text{A.9})$$

Onde o valor de pertinência derivado estabelece a semelhança entre  $x$  e o conjunto nebuloso  $Y$ . E esse valor é usado também na correlação e implicação de funções de transferência para criar ou atualizar saídas em um espaço solução nebuloso.

#### A.5.1.1 Proposições Condicionais

São aquelas representadas por uma sentença  $Se$  (ou  $If$ ), análogas às regras convencionais de um sistema especialistas. Normalmente são dadas por:

$$SE \ x \text{ é } Z \ ENTÃO \ w \text{ é } Y$$

Onde  $x$  e  $w$  são variáveis lingüísticas e  $Z$  e  $Y$  são conjuntos nebulosos. A proposição imediatamente após o termo  $SE$  é o antecedente, ou predicado, e pode ser qualquer proposição nebulosa arbitrária. A proposição imediatamente após o termo  $ENTÃO$  é o conseqüente e pode ser qualquer proposição nebulosa arbitrária. E a sentença  $x \text{ é } Z$  é a condicional de veracidade do predicado. Interpreta-se a sentença como:

$$w \text{ é membro de } Y \text{ para o grau que } x \text{ é membro de } Z$$



Significa que o conseqüente está correlacionado com a veracidade do antecedente. Uma proposição pode ser estendida por conectores nebulosos:

$$SE (x \text{ é } Z) (e/ou) (u \text{ é } V) (e/ou) \dots (e/ou) (s \text{ é } T) ENTÃO w \text{ é } Y$$

Em casos como este, o conseqüente ( $w \text{ é } Y$ ) é determinado pela veracidade do conjunto de proposições que formam o antecedente.

### A.5.1.2 Proposições Incondicionais

São aquelas proposições não representadas por uma sentença  $SE$ . Normalmente são dadas em sentenças do tipo:

$$x \text{ é } Y$$

Onde  $x$  é uma variável lingüística e  $Y$  é um conjunto nebuloso. Dependendo de como as proposições incondicionais são aplicadas, elas podem servir como restrição para o espaço saída ou definida como um espaço solução padrão (caso nenhuma regra condicional seja executada). Interpreta-se uma proposição nebulosa incondicional como:

$$x \text{ é o mínimo subconjunto de } Y$$

E, quando o conjunto nebuloso de saída  $X$  for vazio, tem-se que  $X$  está restrito a  $Y$ , entretanto, para o domínio de  $Y$ ,  $X$  torna-se o mínimo de  $X$  e  $Y$  ( $\min[X, Y]$ ). O real valor das proposições nunca é reduzido antes de serem aplicados ao espaço solução, haja vista que proposições incondicionais nunca são correlacionadas. Assim, o espaço nebuloso solução é dado pela intersecção do conjunto solução e o conjunto nebuloso considerado.

### A.5.1.3 Ordem de Execução de Proposições

A ordem de execução das proposições (regras) não é importante em modelos que contemham apenas proposições condicionais ou apenas proposições incondicionais. Isso porque, no final do processo, a agregação dos conjuntos ocorre ao mesmo tempo. Todavia, em modelos mistos, é muito importante ser cuidadoso com a ordem de execução. A aplicação de proposições incondicionais altera o espaço de solução do modelo dependendo da ordem de aplicação (antes ou depois) mediante um conjunto de proposições condicionais.

Geralmente as proposições incondicionais são utilizadas para estabelecer um conjunto suporte padrão para o modelo, e quando nenhuma regra condicional é executada, o valor para a variável solução é determinado pelo espaço delimitado pelas proposições incondicionais. Por esse motivo as incondicionais devem ser executadas primeiro.

Embora menos utilizado, as incondicionais podem ser utilizadas para restringir o espaço solução final do modelo para o máximo de suas intersecções, ao serem aplicadas após a avaliação de todas as regras condicionais.

## A.5.2 Regras de Inferência Nebulosa

O espaço de implicação gerado pela composição de regras de inferência é derivado a partir da correlação e agregação de espaços nebulosos produzidos pela interação de várias sentenças. As proposições são executadas paralelamente para criar o espaço de saída que contém informações de todas as proposições. Cada proposição cujo antecedente avaliado seja verdadeiro e esteja acima da linha de corte de  $\lambda$ -cut (*lambda-cut*) contribui para a forma final da variável solução de representação nebulosa. Essa solução, obtida pelas inferências, é dada por métodos de composição. Existem vários métodos para realizar a composição, entre eles: o máximo dos mínimos, o máximo dos máximos e o máximo dos produtos (cujas saídas são obtidas através da norma T); e a composição nebulosa de adição (cujas saídas, restrita ao valor máximo de 1, é obtida pela soma algébrica das funções de saída). Esses métodos diferem em alguns aspectos para a obtenção da solução para a representação nebulosa. Segundo (COX, 1994) os dois métodos de composição mais utilizados são: máximo dos mínimos e o método da adição. Porém, vale lembrar que a satisfação dos resultados obtidos depende da aplicação.

### A.5.2.1 Regra de Composição Nebulosa do Máximo dos Mínimos

No método do máximo dos mínimos a região nebulosa conseqüente fica restrita ao *mínimo* do antecedente verdadeiro e a região nebulosa de saída é formada tomando-se os *máximos* desses conjuntos nebulosos minimizados.

$$\mu_{ccn}(x_i) \leftarrow \min[\mu_{pp}, \mu_{ccn}(x_i)] \quad (\text{A.10})$$

A equação acima (A.10) indica que o conjunto conseqüente nebuloso (*ccn*) é modificado antes de ser usado na composição. Essa modificação fixa cada elemento da função verdade para o mínimo da função verdade, ou para o mínimo do predicado da proposição

(*pp*) verdadeiro.

$$\mu_{cns}(x_i) \leftarrow \max[\mu_{cns}, \mu_{ccn}(x_i)] \quad (\text{A.11})$$

A equação A.11 indica que o conjunto nebuloso solução (*cns*) é gerado tomando para cada valor da função verdade o máximo do valor verdade do conjunto nebuloso solução, ou o máximo do conjunto nebuloso que se correlata pela equação A.10. Quando todas as proposições tiverem sido avaliadas, a saída será dada por um conjunto nebuloso formado pela contribuição de cada proposição.

Para melhor compreender o método, considere a figura 34, com duas saídas.

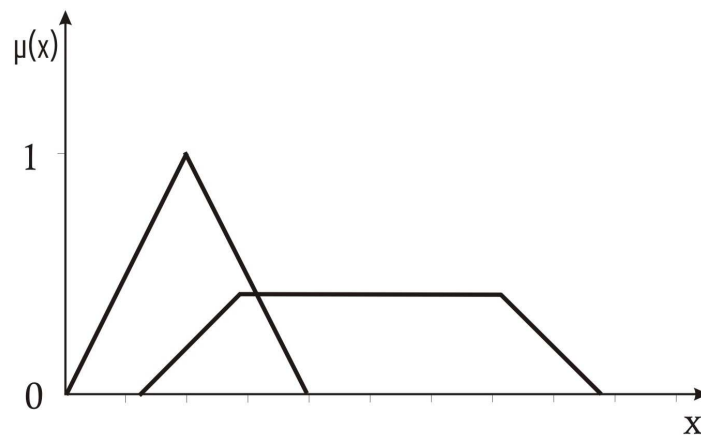


Figura 34: Gráfico de duas saídas de duas regras nebulosas.

Cada saída é encontrada de acordo com a menor pertinência da regra que a resultou. Assim, as saídas são obtidas pelas pertinências mínimas. Agora, observe a figura 35.

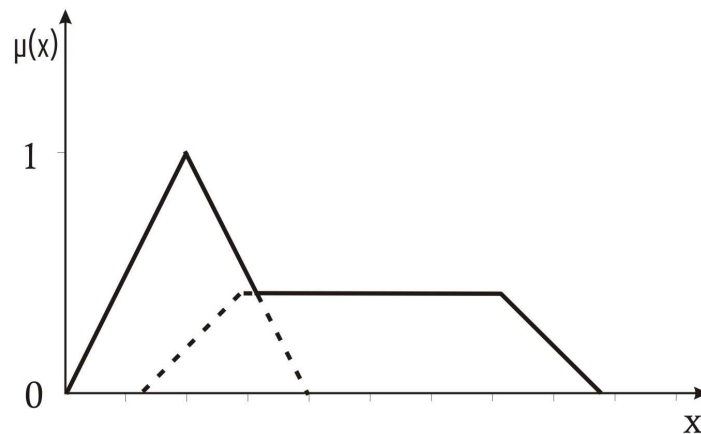


Figura 35: Gráfico da composição máximo dos mínimos.

A função resultante da composição do máximo dos mínimos é encontrada pelos valores máximos das saídas obtidas pelas pertinências mínimas de cada regra ativada.

### A.5.2.2 Regra de Composição Nebulosa da Adição

Esta regra apresenta uma pequena diferença prática para a atualização da variável solução da região nebulosa. E ainda, o conseqüente da região nebulosa é reduzido ao mínimo do valor verdade do predicado.

$$\mu_{ccn}(x_i) \longleftarrow \min[\mu_{pp}, \mu_{ccn}(x_i)] \quad (\text{A.12})$$

E a região nebulosa de saída é dada pela regra:

$$\mu_{cns}(x_i) \longleftarrow \min[1, \mu_{cns} + \mu_{ccn}(x_i)] \quad (\text{A.13})$$

Essa equação é essencialmente a operação de soma limitada aplicada à região nebulosa de saída. Em vez de tomar-se o  $\max[\mu_A(X_i), \mu_B(Y_i)]$  a cada ponto ao longo do conjunto nebuloso de saída, adiciona-se a função de pertinência verdadeira. A adição é limitada por  $[0,1]$  de forma que o resultado de qualquer adição não pode exceder o valor verdadeiro máximo do conjunto nebuloso.

Com o intuito de melhor visualizar a composição nebulosa da adição, considere a figura 36, com duas saídas.

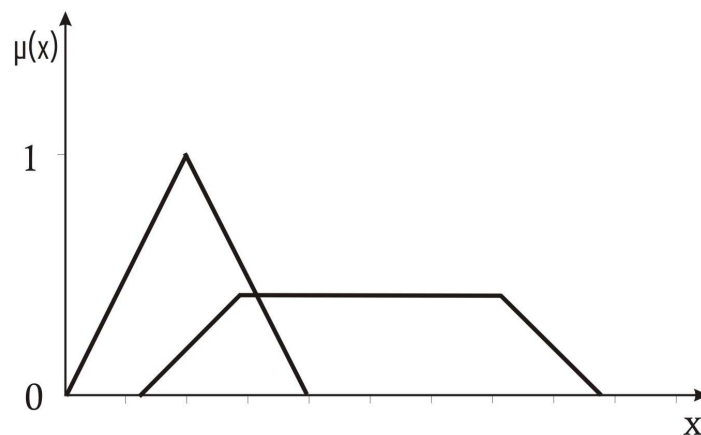


Figura 36: Gráfico de duas saídas de duas regras nebulosas.

Para este exemplo, cada saída é encontrada de acordo com a menor pertinência da regra que a resultou. Agora, observe a figura 37.

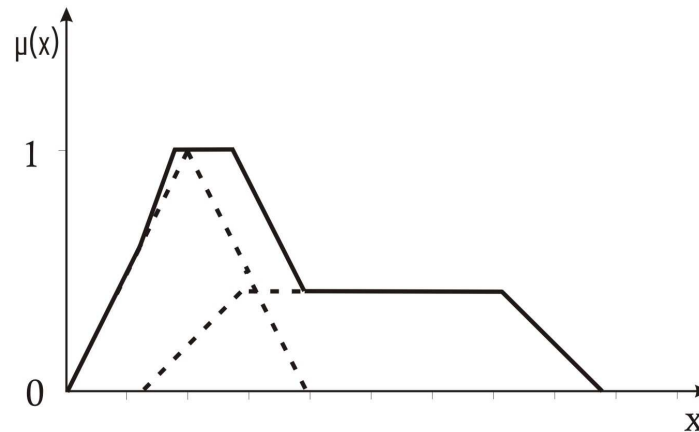


Figura 37: Gráfico da composição nebulosa de adição.

A função resultante da composição da soma limitada é encontrada pela soma dos valores das funções de saída (cada uma obtida pela menor pertinência da regra que a ativou) de forma que não extrapole o valor máximo: 1.

### A.5.3 Métodos de *Defuzzificação*

Através de regras gerais de inferência nebulosa, a avaliação de uma proposição gera um conjunto nebuloso associado a cada variável solução. Por exemplo, as seguintes proposições, ao serem avaliadas, irão correlacionar os conjuntos nebulosos consequentes  $A$ ,  $B$  e  $C$  para produzir um conjunto nebuloso que represente a variável solução  $D$ .

*SE  $w$  é  $Z$  ENTÃO  $D$  é  $A$*

*SE  $x$  é  $Y$  ENTÃO  $D$  é  $B$*

*SE  $y$  é  $W$  ENTÃO  $D$  é  $C$*

Para se chegar ao atual valor escalar correspondente a  $d$ , deve-se encontrar o melhor valor para representar a informação contida no conjunto nebuloso  $D$ . Este processo é chamado de *defuzzificação*. Dessa forma, o valor resultado pela *defuzzificação* corresponde à resposta dada pelo sistema nebuloso e aplicada ao mundo real.

Existem diversos métodos para a determinação do valor esperado para a região nebulosa solução. Esses diversos métodos de *defuzzificação* determinam a forma como um valor é extraído do estado final do espaço nebuloso. Atualmente, as formas de *defuzzificação* são mais baseadas em heurísticas do que em algoritmos. Isso provavelmente se deve ao fato de que não se consegue representar um espaço multidimensional e complexo por um simples número. Durante os últimos anos, pesquisadores propuseram vários métodos de *defuzzificação*. Dentre esses, há pelo menos sete bastante aceitos pela literatura, segundo (ROSS, 1997):

**a) Princípio da Pertinência Máxima:** Esse método limita-se aos picos das funções de saída. É conhecido também como método da altura máxima, e é dado pela expressão algébrica abaixo:

$$x^* : \mu_A(x^*) \geq \mu_A(x) \quad (\text{A.14})$$

A representação gráfica é mostrada na figura 38.

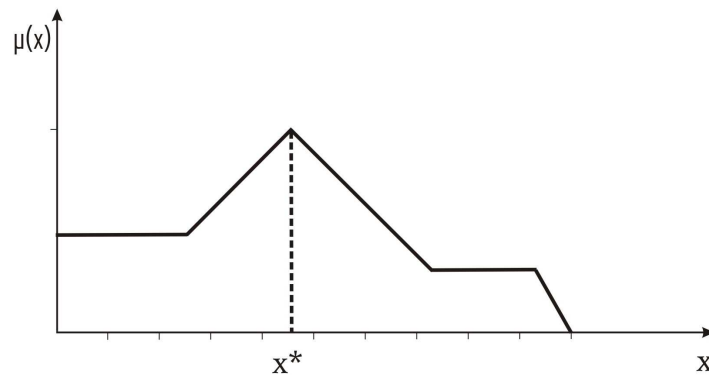


Figura 38: Método da Pertinência Máxima.

**b) Método do Centróide:** É o método mais utilizado dentre todos os métodos de *defuzzificação* e representa o centro da área do conjunto nebuloso de saída. É representado pela seguinte expressão:

$$x^* = \frac{\int \mu_A(x) \cdot x dx}{\int \mu_A(x) dx} \quad (\text{A.15})$$

A figura 39 ilustra graficamente o método do centróide.

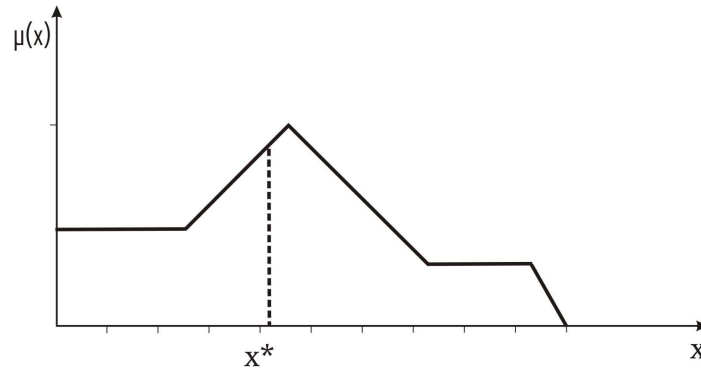


Figura 39: Método do Centróide.

c) Método da Média Ponderada: É recomendado para funções de pertinência com saídas simétricas. É dado pela seguinte expressão algébrica:

$$x^* = \frac{\sum \mu_A(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu_A(\bar{x})} \quad (\text{A.16})$$

Assim, de acordo com a figura 40, encontra-se o valor *defuzzificado* da seguinte maneira:

$$x^* = \frac{a(0,75) + b(0,5)}{0,75 + 0,5}$$

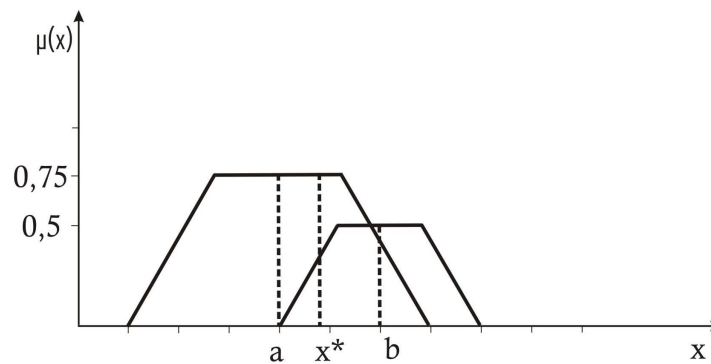


Figura 40: Método da Média Ponderada.

d) **Pertinência da Média dos Máximos:** Bastante parecido com o primeiro método, exceto pelo fato de que a máxima pertinência pode não ser única. Esse método é dado pela seguinte expressão:

$$x^* = \frac{a + b}{2} \quad (\text{A.17})$$

Esse método é mostrado pela figura 41.

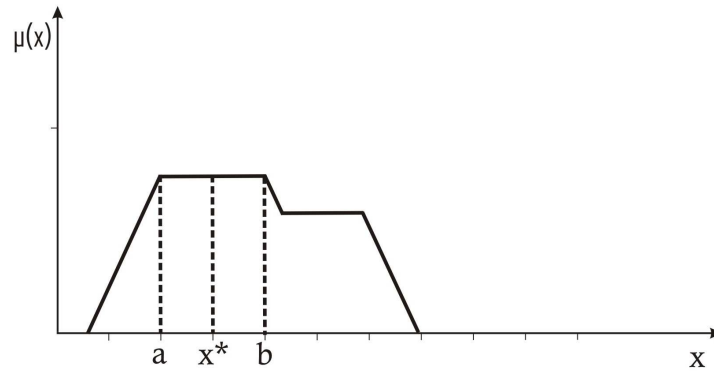


Figura 41: Método da Pertinência Média dos Máximos.

e) **Média Ponderada dos Centróides:** Esse método é menos flexível do que a maioria dos métodos atualmente usados. Envolve a soma algébrica individual de conjuntos nebulosos de saída em vez da união destes. Uma desvantagem desse método é que as áreas de intercessão são somadas duas vezes. O método é representado graficamente pela figura 42 e algebricamente pela seguinte expressão:

$$x^* = \frac{\int_X x \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(x) dx}{\int_x \sum_{k=1}^n \mu_{A_k}(x) dx} \quad (\text{A.18})$$

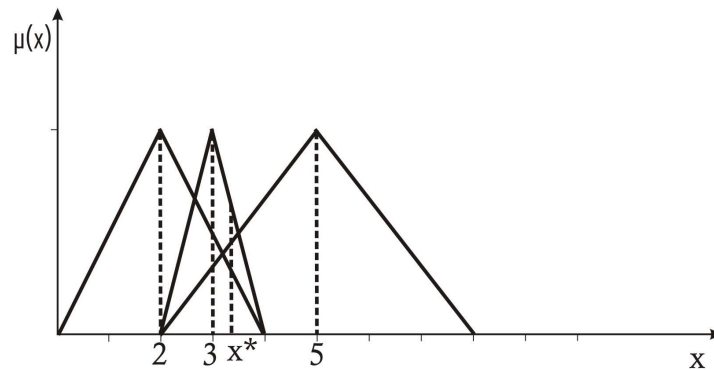


Figura 42: Método da Média Ponderada dos Centróides.



f) Centro da Maior Área: Quando o conjunto nebuloso de saída possui ao menos duas sub-regiões convexas, o centro de gravidade da sub-região com maior área é usado para obter o valor de  $x^*$  defuzzificado da saída. Esse método é representado algebricamente pela equação A.19 e graficamente pela figura 43.

$$x^* = \frac{\int \mu_{A_m}(x)x \cdot dx}{\int \mu_{A_m}(x)dx} \quad (\text{A.19})$$

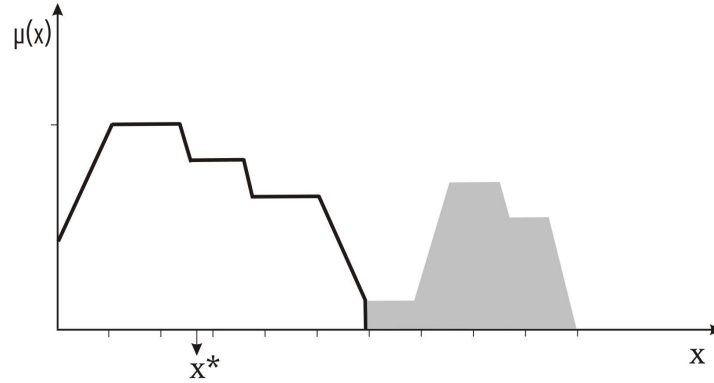


Figura 43: Método do Centro de Maior Área.

g) Primeiro (ou Último) dos Máximos: Esse método considera a união de todos os conjuntos nebulosos de saída para determinar o menor valor do domínio (primeiro no eixo das abscissas) com o maior grau de pertinência em A. Para se encontrar o valor de  $x^*$ , determina-se primeiro a maior altura da união (h):

$$h(A_k) = \sup_{x \in X} \mu_{A_k}(x) \quad (\text{A.20})$$

Em seguida, encontra-se o primeiro dos máximos:

$$x^* = \inf_{x \in X} \{x \in X \mid \mu_{A_k}(x) = h(A_k)\} \quad (\text{A.21})$$

O este método é ilustrado graficamente pela figura 44.

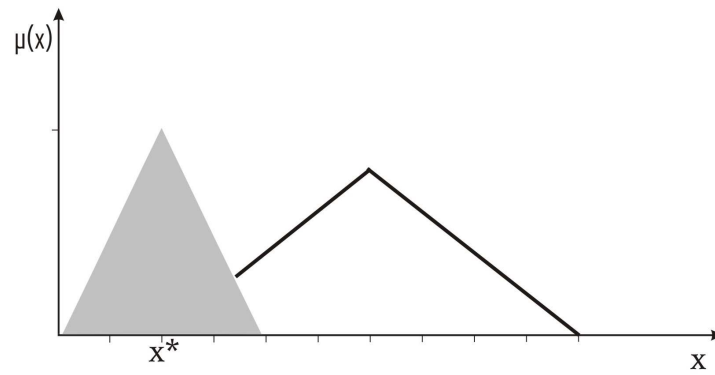


Figura 44: Método do Primeiro dos Máximos.

## *ANEXO A – Dados Utilizados pelo Sistema*

Os resultados apresentados no capítulo 6 foram obtidos de dados fornecidos pela Saneago,<sup>1</sup> para os quatro pontos da bacia do rio Meia Ponte (apresentados na tabela 10, página 100), durante 24 meses (entre janeiro de 2003 e dezembro de 2004). Os parâmetros referentes aos dados foram apresentados na seção 5.2, página 89.

---

<sup>1</sup>Saneamento de Goiás S/A <[www.saneago.com.br](http://www.saneago.com.br)>

## A.1 Dados do Ponto 1

Os dados utilizados para o estudo de caso 1, página 101, são apresentados na tabela 15.

RIO MEIA PONTE - PONTO 1						
PERIO. (m/a)	VARIÁVEIS					
	pH	%SOD	DBO	PT*	TURB	CF
01/2003	7,34	6	1,9	0,9	77	1500
02/2003	7,17	4,3	4,4	1	93,6	1000000
03/2003	7,48	6,1	0,6	0,1	81,6	29000
04/2003	7,44	6,3	1,13	0,2	86,5	110000
05/2003	6,94	7	0,6	0,3	43	7500
06/2003	7,66	7,3	1,9	0,4	33,3	900
07/2003	7,54	7,9	1,7	0,5	16,6	700
08/2003	7,85	7,4	1,8	0,6	17,7	4300
09/2003	7,69	6	1	0,7	16,5	4000
10/2003	7,66	6,1	0,2	0,8	38,4	2300
11/2003	7,08	6	0,8	0,9	18	2300
12/2003	7,35	6	2,8	1	181	23000
01/2004	7,54	5,5	3,6	0,1	152	30
02/2004	7,11	4,5	0,3	0,2	82,8	900
03/2004	7,16	4,1	0,3	0,3	132	8000
04/2004	7,19	5,4	0,3	0,4	80	5000
05/2004	7,62	6,1	0,3	0,5	55	2600
06/2004	7,68	7,4	0,2	0,6	39	70
07/2004	7,69	7,3	0,8	0,7	35,7	2200
08/2004	7,77	8	1,2	0,8	23,3	200
09/2004	7,85	7,9	0,3	0,9	16,4	400
10/2004	7,54	5,6	1,2	1	161	2700
11/2004	7,74	6	0,4	0,1	85	1700
12/2004	7,36	5	0,5	0,2	140	2600

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 15: Dados utilizados para o Estudo de Caso 1, Ponto 1.

## A.2 Dados do Ponto 2

Para o estudo de caso 2, página 103, os dados utilizados são apresentados pela tabela 16.

RIO MEIA PONTE - PONTO 2						
PERIO. (m/a)	VARIÁVEIS					
	pH	%SOD	DBO	PT*	TURB	CF
01/2003	7,21	5,9	0,9	0,3	278	400000
02/2003	7,14	6,4	2,3	0,4	95,2	28000
03/2003	7,33	6,5	2,3	0,5	159	110000
04/2003	7,38	6,9	6,6	0,6	79,4	4600000
05/2003	7,56	7,2	4,7	0,7	43,9	430000
06/2003	7,29	7,7	1	0,8	28,9	150000
07/2003	7,26	7,3	0,5	0,9	25,8	90000
08/2003	7,75	6,8	0,2	1	29,8	2300000
09/2003	7,41	5	8,8	0,1	23,1	40000
10/2003	7,29	7,5	7,4	0,2	56,5	9300000
11/2003	7,24	4,6	7,8	0,3	24,9	900000
12/2003	7,12	6,8	5,2	0,4	212	900000
01/2004	7,24	6,2	8,7	0,5	51	1100000
02/2004	7,12	6,5	5,6	0,6	172	110000
03/2004	7,03	6,5	5,6	0,7	123	400000
04/2004	7,62	7,2	3,3	0,8	97,7	70000
05/2004	7,59	7,5	6,5	0,9	50,5	170000
06/2004	7,44	6,5	3,6	1	34,6	4000
07/2004	7,45	6,6	5,1	0,1	38,2	9000
08/2004	7,55	5,8	6,6	0,2	27,1	4000
09/2004	7,33	4,4	3	0,3	19,5	22000
10/2004	7,41	5,9	4	0,4	121	260000
11/2004	7,12	5,7	17,4	0,5	41,4	1700000
12/2004	7,25	6,8	6,6	0,6	143	220000

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 16: Dados utilizados para o Estudo de Caso 2, Ponto 2.

### A.3 Dados do Ponto 3

Os dados utilizados para o terceiro estudo de caso, página 105, são apresentados na tabela 17.

RIBEIRÃO JOÃO LEITE - PONTO 3						
PERIO. (m/a)	VARIÁVEIS					
	pH	%SOD	DBO	PT*	TURB	CF
01/2003	7,43	6	2,2	0,5	26,2	17000
02/2003	7,48	7,1	3,3	0,6	91,3	120
03/2003	7,57	6,5	2,5	0,7	79,4	2,9
04/2003	7,26	5,5	1,2	0,8	116	52,08
05/2003	7,66	6,9	1,2	0,9	38,7	900
06/2003	7,73	7	1,2	1	35,1	2300
07/2003	7,38	8,5	1,7	0,1	15,9	4600
08/2003	7,61	7,3	1,1	0,2	13,7	2300
09/2003	7,55	6,8	1,8	0,3	34,8	4600
10/2003	7,33	6	1,1	0,4	16,5	1200
11/2003	7,29	5,03	5,2	0,5	86,13	73466
12/2003	7,5	6,6	2,4	0,6	35,7	240000
01/2004	7,03	5,5	2	0,7	102	110000
02/2004	7,36	6,3	1,8	0,8	86,7	4300
03/2004	7,34	6,9	2,9	0,9	146	3300
04/2004	7,3	7	6	1	431	28000
05/2004	7,63	7,7	2,6	0,1	44,3	22000
06/2004	7,63	7,8	1,1	0,2	29,2	330
07/2004	7,73	7,4	1,5	0,3	22	20
08/2004	7,72	7,5	0,33	0,4	16,8	220
09/2004	7,74	6,4	2	0,5	9,6	2400
10/2004	7,57	6,3	2,4	0,6	7,84	2700
11/2004	7,35	6	6	0,7	57	35000
12/2004	7,41	6,3	4,2	0,8	35,9	16000

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 17: Dados utilizados para o Estudo de Caso 3, Ponto 3.

## A.4 Dados do Ponto 4

Para o quarto estudo de caso, página 107, os dados utilizados são apresentados pela tabela 18.

RIBEIRÃO JOÃO LEITE - PONTO 4						
PERIO. (m/a)	VARIÁVEIS					
	pH	%SOD	DBO	PT*	TURB	CF
01/2003	7,21	4,4	2,9	0,1	262	11000
02/2003	7,56	7,6	4,9	0,2	52,6	43
03/2003	7,4	6	2,4	0,3	71,6	400
04/2003	7,25	5,8	2	0,4	62,5	43000
05/2003	7,42	6	1,5	0,5	27,4	23000
06/2003	7,69	7,1	3,6	0,6	30,3	4300
07/2003	7,16	7,6	1,1	0,7	16,1	430
08/2003	7,59	7,2	0,9	0,8	31	11000
09/2003	7,44	6,5	5,5	0,9	117	24000
10/2003	7,41	6,1	3,7	1	42,7	1200
11/2003	7,43	6,3	1,8	0,1	29,3	900
12/2003	7,39	6	2,1	0,2	22,8	23000
01/2004	7,38	6,1	2,4	0,3	110	240000
02/2004	7,36	6,1	2	0,4	65,8	4300
03/2004	7,34	6,1	2,6	0,5	79,5	7000
04/2004	-	-	-	-	-	-
05/2004	7,62	6,6	3,6	0,7	41,1	2200
06/2004	7,62	7,5	2	0,8	30,8	110
07/2004	7,62	7,5	2	0,9	30,8	110
08/2004	7,79	7,6	2,2	1	28	1,9
09/2004	7,72	7,4	2,4	0,1	21,6	400
10/2004	7,63	6,3	6,1	0,2	24,2	1700
11/2004	7,7	6,7	2,2	0,3	22,9	1700
12/2004	7,18	5,3	3,3	0,4	293	1700

\* valores x  $10^{-1}$ .

Tabela 18: Dados utilizados para o Estudo de Caso 4, Ponto 4.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)