

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GERAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA BACIAS
HIDROGRÁFICAS EM ÁREAS URBANAS ATRAVÉS DO EMPREGO DE TÉCNICAS INTEGRADAS
DE GEOPROCESSAMENTO**

ODIR FERNANDO VIDAL COUTO

ORIENTADOR: PROF. DR. LUÍS ALBERTO BASSO

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**GERAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA BACIAS
HIDROGRÁFICAS EM ÁREAS URBANAS ATRAVÉS DO EMPREGO DE TÉCNICAS INTEGRADAS
DE GEOPROCESSAMENTO**

ODIR FERNANDO VIDAL COUTO

Orientador: Prof. Dr. Luís Alberto Basso

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Dirce Maria Antunes Suertegaray

Prof. Dra. Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto

Prof. Dr. Paulo Roberto Fitz

**Dissertação de mestrado apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Geografia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como requisito
para obtenção do título de Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2007.

Couto, Odir Fernando Vidal

Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento. / Odir Fernando Vidal Couto. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2008.

[172 f]. il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre, RS - BR, 2008.

1. Índice de sustentabilidade. 2. Geoprocessamento. 3. Análise ambiental. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Veleida Ana Blank CRB 10/571

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul por proporcionar-me a oportunidade de crescimento pessoal e aperfeiçoamento profissional através do Programa de Pós-Graduação em Geografia, o que somente foi possível em função do caráter público dessa instituição.

A todos os professores do programa com os quais tive a oportunidade de conviver e compartilhar do seu conhecimento, em especial ao professor Luís Alberto Basso pelas sugestões e críticas a cerca dos trabalhos desenvolvidos mas principalmente pela sua confiança na minha capacidade de executar o projeto.

Aos colegas do programa com os quais tive a oportunidade de conviver e que de uma forma ou outra contribuíram com idéias e sugestões.

Aos colegas de ontem e hoje do Programa Especial de Geoinformações da CORSAN pelo apoio recebido, em especial ao Arq. Vinícius Heckmann Pereira por permitir minha frequência as aulas e pela cedência da base de dados espaciais utilizada nesse trabalho.

A minha família pela compreensão da ausência, pelo auxílio e incentivos recebidos, e principalmente aos meus pais que desde cedo me ensinaram o valor do conhecimento e da importância de trabalharmos continuamente na defesa de nossos ideais e na conquista de nossos objetivos.

Aos meus amigos pelo apoio e pelo carinho.

Um agradecimento especial a minha esposa, Maristela dos Santos Couto, pelo apoio irrestrito no desenvolvimento desse trabalho, pela sua valiosa assistência no cálculo e na revisão do texto, mas sobretudo por sua companhia confortadora.

Ao meu filho Felipe Augusto que a cada sorriso renova minha fé e esperança nos homens.

Ao meu Deus por guiar-me através do caminho.

SINOPSE

COUTO, Odir Fernando Vidal. *Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento*, 2007, 156 p., Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre.

Este trabalho propõe uma metodologia voltada para a geração de um índice de sustentabilidade ambiental aplicável a bacias hidrográficas urbanas abrangendo fatores relativos aos aspectos sociais, econômicos e físicos da bacia. O índice proposto foi implementado na bacia do arroio Sapucaia localizada na região metropolitana de Porto Alegre, abrangendo parte dos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, compreendendo uma área de aproximadamente 131 km², estando a mesma sujeita a um intenso processo de urbanização e submetida a uma forte pressão antrópica.

O índice proposto constitui-se de três dimensões: FDH (Fator de Desenvolvimento Humano), FUS (Fator de Uso do Solo) e FFP (Fator de Fragilidade Potencial). O FDH tem por objetivo representar aspectos da qualidade de vida da população expressa pelos itens educação, longevidade, renda e saneamento. O FUS avalia o uso do solo predominante na sub-bacia com base na classificação da imagem. O FFP avalia os aspectos físicos da bacia tomando por base a configuração da hidrografia e os dados altimétricos da área.

Neste trabalho foram utilizadas as folhas MI 2970/4 (São Leopoldo) e MI 2971/3 (Gravataí) da Cartografia Sistemática Brasileira em escala 1:50.000, uma imagem do sensor ASTER do ano de 2001 (plataforma EOS/TERRA), bandas 1, 2 e 3N com resolução espacial de 15 m, fotografias aéreas em escala 1:40.000 do ano de 1991 e a base de informações por setor censitário do Censo Demográfico 2000 (IBGE) dos municípios integrantes da bacia.

A metodologia mostrou-se adequada como instrumento de análise ambiental de bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas, sobretudo quando da inexistência de uma base de dados mais elaborada. Nesse aspecto o trabalho também permitiu demonstrar o potencial de utilização das técnicas de geoprocessamento como elemento de apoio na construção de indicadores de sustentabilidade ambiental.

Os resultados foram apurados por sub-bacia originando um mapa final de setorização em função dos níveis de sustentabilidade, classificados como alta, média e baixa sustentabilidade. Esse mapa indicou cinco áreas, considerando a distribuição espacial dos níveis de sustentabilidade apurados em cada sub-bacia, constituindo-se assim num primeiro indicador das suas condições ambientais.

Os resultados demonstram que as áreas mais sujeitas a pressão urbana, são aquelas que apresentaram os menores níveis de sustentabilidade, como no caso das sub-bacias 7 (IS = 0,531), 9 (IS = 0,67) e 10 (IS = 0,665) contudo também apontam baixos níveis de sustentabilidade para aquelas áreas localizadas junto as nascentes da bacia, em função de uma maior fragilidade potencial, como no caso da bacia 1 (IS = 0,612). Recomendando-se dessa forma restrições quanto ao seu uso e ocupação, bem como a adoção de políticas ambientais e de ordenamento territorial voltadas a sua preservação.

Palavras chaves: índice de sustentabilidade – indicadores – geoprocessamento – análise ambiental – bacia hidrográfica.

ABSTRACT

COUTO, Odir Fernando Vidal. *Generation of an index of environmental sustainability for hydrographic basins situated in urban areas through the employment of integrated techniques of geoprocessing*, 2007, 156 p., Dissertation (Mastership in Geography) - Program of Masters Degree in Geography, Institute of Earth Sciences, UFRGS, Porto Alegre - RS - Brazil.

This study proposes a methodology come back for the generation from an index of applicable environmental sustainability to hydrographic basins situated in urban areas considering relative factors to the social, economic and physical aspects of the basin. The proposed index was implemented in the basin of the Sapucaia river located in the metropolitan area of Porto Alegre, embracing part of cities of Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo and Sapucaia do Sul, understanding an area of approximately 131 km², being the same subjects to an intense urbanization process and submitted to a strong human-induced pressures.

The proposed index is constituted of three dimensions: FDH (Factor of Human Development), FUS (Factor of Use of the Soil) and FFP (Factor of Potential Fragility). FDH has for objective to represent aspects of the quality of life of the population expressed by the items education, longevity, income and sanitation. FUS evaluates the use of the predominant soil in the sub-basin with base in the classification of the image. FFP evaluates the physical aspects of the basin taking for base the configuration of the hydrography and the elevation data of the area.

In this study employed were the 1:50.000 charts, from Brazilian Systematic Cartography, MI 2970/4 (São Leopoldo) and MI 2971/3 (Gravataí) pages, an ASTER image (EOS/TERRA platform) of the year of 2001, used bands 1, 2 and 3N with space resolution of 15 m, aerial pictures in scale 1:40.000 of the year of 1991 and the 2000 Demographic Census (IBGE) of the integral municipal districts of the basin.

The methodology was shown appropriate as instrument of environmental analysis of hydrographic basins situated in urban areas, above all when of the inexistence of an elaborated base of data. In that aspect the study also allowed to demonstrate the potential of use of the geoprocessing techniques as support element in the construction of indicators of environmental sustainability.

The results were select for sub-basin originating a final map of sectors according to level of sustainability, classified as high, medium and low sustainability. This map indicated five areas, considering the spatial distribution of the levels of sustainability in each sub-basin, thereby a first indicator of its environmental conditions

The results show that the areas most subject to pressure urban, are those that have the smallest levels of sustainability, in the case of sub-basins 7 (IS = 0.531), 9 (IS = 0.67) and 10 (IS = 0.665), however also show low levels of sustainability for those areas located nears the sources of the basin, according to a greater potential fragility, as in the case of sub-basin 1 (IS = 0.612). Recommending so restrictions on their use and occupation, and the adoption of environmental policies and territory planning toward its preservation.

Keywords: sustainability index - indicators - geoprocessing - environmental analysis – hydrographic basin.

LISTA DE TABELAS

TAB. 1 : Índice de desenvolvimento humano dos municípios da bacia do arroio Sapucaia.....	107
TAB. 2 : Características técnicas gerais do sensor ASTER.....	121
TAB. 3 : Peso atribuído por classe de uso do solo.....	129
TAB. 4 : Peso atribuído por faixas de rugosidade.....	130
TAB. 5 : Apuração do Fator de Uso do Solo por sub-bacia.....	141
TAB. 6 : Cálculo da densidade de drenagem e do índice de rugosidade.....	144
TAB. 7 : Valor atribuído ao FFP x Faixas de rugosidade apuradas.....	145
TAB. 8 : Apuração do Fator de Fragilidade Potencial.....	145
TAB. 9 : Número de setores censitários por sub-bacia.....	149
TAB. 10 : Fator de Desenvolvimento Humano apurado nas sub-bacias.....	151
TAB. 11 : Apuração do Índice de Sustentabilidade.....	153
TAB. 12 : Intervalo dos níveis de sustentabilidade.....	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 : As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável.....	33
Quadro 2 : Exemplos de utilização de categorias de planos de informação.....	94
Quadro 3 : Comparação entre formas de representações de dados espaciais.....	96

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 : Relação entre crescimento econômico X restrições ambientais.....	28
FIG. 2 : Pirâmide de informações.....	38
FIG. 3 : Aspectos determinantes do desenvolvimento sustentável.....	45
FIG. 4 : Ciclo de tomada de decisão.....	47
Fig. 5 : Modelo Pressão – Estado – Resposta.....	48
FIG. 6 : Espectro eletromagnético.....	87
FIG. 7 : Obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.....	88
FIG. 8 : Curvas espectrais da vegetação, da água e do solo.....	89
FIG. 9 : Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas.....	93
FIG. 10 : Esquema de localização da bacia do arroio Sapucaia.....	102
FIG. 11 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.....	103
FIG. 12 : Dois extremos ao longo do arroio Sapucaia.....	103
FIG. 13 : Aspecto dos morros testemunhos da formação Patamares da Serra Geral.....	104
FIG. 14 : Extração mineral par a produção de brita.....	105
FIG. 15 : Parque industrial instalado na bacia do arroio Sapucaia.....	107
FIG. 16 : Aterro sanitário Santa Tecla.....	108
FIG. 17 : Vila irregular às margens do arroio Sapucaia.....	109
FIG. 18 : Mosaico de aerofotos da área da bacia do arroio Sapucaia.....	116
FIG. 19 : Composição das aerofotos da bacia do arroio Sapucaia.....	116
FIG. 20 : Sobreposição dos planos de informação “hidrografia” e “altimetria”.....	117
FIG. 21 : Altimetria e curvas auxiliares para a geração do MNT.....	118
FIG. 22 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia e setores censitários.....	119

FIG. 23 : Bandas espectrais do sensor ASTER.....	121
FIG. 24 : Bacia do arroio Sapucaia – classes de uso do solo nas sub-bacias.....	123
FIG. 25 : Pontos de controle para o georreferenciamento.....	124
FIG. 26 : Altimetria utilizada para a geração do MNT.....	126
FIG. 27 : Modelo numérico do terreno – MNT.....	126
FIG. 28 : Mapa da bacia do arroio Sapucaia – divisão por sub-bacias.....	137
FIG. 29 : Histogramas de análise do uso e ocupação do solo nas sub-bacias do arroio Sapucaia...	140
FIG. 30 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia – Fator de Uso do Solo.....	142
FIG. 31 : Mapa de declividades da bacia do arroio Sapucaia.....	146
FIG. 32 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia – Fator de Fragilidade Potencial.....	147
FIG. 33 : Resultados obtidos nas quatro dimensões consideradas no FDH.....	150
FIG. 34 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia – Fator de Desenvolvimento Humano...	152
FIG. 35 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia – Índice de Sustentabilidade.....	156
FIG. 36 : Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia – Nível de sustentabilidade nas sub-bacias.....	160

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACI	Associação Cartográfica Internacional
AE	Número Médio de Anos de Estudo
ALL	América Latina Logística
A _{SB}	Área da Sub-bacia
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CAC	Cartografia Assistida por Computador
CADD/ CAD	Computer-Aided Design and Drafting / Computer-Aided Design
CAM	Computer Assisted Mapping / Mapeamento Assistido por Computador
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CEI	Core Environmental Indicators
COREDE	CONSELHO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO
CIDS	Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CNUCED	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CSD/CDS	Commission on Sustainable Development / Comissão de Desenvolvimento Sustentável
Dd	Densidade de Drenagem
DEI	Decoupling Environmental Indicators
DGC	Divisão de Geografia e Cartografia
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico
DMLU	Departamento Municipal de Limpeza Urbana
DWG	AutoCad Drawing
DXF	Drawing Exchange Format
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMATER/RS	Empresa de Assessoria Técnica Rural
ENVI	Environment for Visualizing Images
EPA	Environmental Protection Agency
ESA	European Space Agency
EVN	Esperança de Vida ao Nascer
EVN+	Média de Idade Acima da EVN Verificada para Cada Setor Censitário do Município

FDH	Fator de Desenvolvimento Humano
FEE/RS	Fundação de Economia e Estatística
FEPAM/RS	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FFP	Fator de Fragilidade Potencial
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FL	Fator de Longevidade
FUS	Fator de Uso do Solo
GIS/SIG	Geographical Information Systems / Sistemas de Informações Geográficas
GPS	Global Positioning System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
H	Amplitude Altimétrica da Sub-bacia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBS	Índice de Bem-Estar Social
ICCN	Índice de Consumo de Capital Natural
ICPI	Índice de Capacidade Político-Institucional
IDESE	Índice de Desenvolvimento Socioeconômico
IDH/IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano / Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDH _E	Índice de Desenvolvimento Humano - Dimensão Educação
IDH _L	Índice de Desenvolvimento Humano – Dimensão Longevidade
IDHM _L	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Dimensão Longevidade
IDH _R	Índice de Desenvolvimento Humano – Dimensão Renda
IDH _S	Índice de Desenvolvimento Humano – Dimensão Saneamento
IDPN	Índice de Degradação de Paisagens Naturais
IEP	Índice de Emissão de Poluentes
Ir	Índice de Rugosidade
IRPA	Índice de Redução da Pressão Antrópica
IS	Índice de Sustentabilidade
IQSA	Índice de Qualidade do Sistema Ambiental
IQV	Índice de Qualidade de Vida
KEI	Kei Environmental Indicators
L _t	Comprimento Total dos Canais
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MESMIS	Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores
METROPLAN	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional
MISR	Multiangle Imaging SpectroRadiometer
MNT	Modelo Numéricos do Terreno

MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	Measurements Of Pollution In The Troposphere
NAVSTAR	Navigation Satellite with Time And Ranging
OECD/OCDE	Organisation for Economic Co-operation And Development / Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PEI/ER	Pressão-Estado-Impacto/Efeito-Resposta
PER	Pressão-Estado-Resposta
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PI	Plano de Informação
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPC	Paridade do Poder de Compra
RDPP	Responsáveis por Domicílios Particulares Permanentes
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RST	Rotate/Strech/Translate
SEI	Sectoral Environmental Indicators
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SPOT	Satellite pour l'Observation de la Terre
SWIR	Short Wave Infrared Region / Infravermelho de Ondas Curtas
TA	Taxa de Alfabetização
TAA	Taxa de Abastecimento de Água
TCE	Taxa de Coleta de Esgotos
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TMD	Taxa de Moradores por Domicílio
TIR	Thermal Infrared / Infravermelho Termal
TRENSURB	Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.
VNIR	Very Near Infrared Radiometer / Infravermelho Próximo
WGS-84	World Geodetic System de 1984

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1 – SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO	20
1.1. VISÕES DE MUNDO E OS PRECEDENTES DA ATUAL CRISE AMBIENTAL.....	20
1.2. DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE.....	26
1.3. O PARADIGMA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO RESPOSTA A CRISE.....	29
CAPÍTULO 2 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA GEOGRAFIA	34
2.1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	37
2.2. A GEOGRAFIA COMO SUPORTE METODOLÓGICO PARA A FORMULAÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	50
2.3. EXPERIÊNCIAS E PRÁTICAS NA CONSTRUÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	66
CAPÍTULO 3 – EMPREGO DE TÉCNICAS INTEGRADAS DE EOPROCESSAMENTO NO SUPORTE À GERAÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	76
3.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO GEOPROCESSAMENTO.....	79
3.1.1. Cartografia Digital	82
3.1.2. Sensoriamento Remoto	86
3.1.3. Os Sistemas de Informações Geográficas	90
3.1.3.1. <i>Definição de SIG</i>	91
3.1.3.2. <i>Estrutura e Organização em SIG</i>	92
3.1.3.3. <i>Gerenciamento de Dados em SIG</i>	95
3.2. O EMPREGO DO GEOPROCESSAMENTO NO SUPORTE ÀS ATIVIDADES DE ANÁLISE AMBIENTAL.....	98
CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA	101

CAPÍTULO 5 – PROPOSTA PARA A GERAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS EM ÁREAS URBANAS.....	110
5.1. PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS ESPACIAL E ALFANUMÉRICA: ADEQUAÇÃO, COMPATIBILIZAÇÃO E SELEÇÃO.....	111
5.1.1. Revisão e Edição da Base Cartográfica.....	111
5.1.1.1. <i>Complementação da Hidrografia.....</i>	<i>114</i>
5.1.1.2. <i>Complementação da Topografia.....</i>	<i>117</i>
5.1.2. Preparação dos Setores Censitários.....	118
5.2. GERAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO PARA SUPORTE AO CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	120
5.2.1. Processamento e Classificação da Imagem Digital.....	120
5.2.1.1. <i>Georreferenciamento da Imagem.....</i>	<i>124</i>
5.2.2. Elaboração do Modelo Numérico do Terreno.....	125
5.3. CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	127
5.3.1. Cálculo do Fator de Uso do Solo.....	128
5.3.2. Cálculo do Fator de Fragilidade Potencial.....	129
5.3.3. Cálculo do Fator de Desenvolvimento Humano.....	130
CAPÍTULO 6 – APURAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	135
6.1. APURAÇÃO DOS FATORES CONSIDERADOS.....	138
6.1.1. Fator de Uso do Solo.....	138
6.1.2. Fator de Fragilidade Potencial.....	143
6.1.3. Fator de Desenvolvimento Humano.....	148
6.2. APURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE	153
6.2.1. Classificação dos Níveis de Sustentabilidade como subsídio a uma proposta de zoneamento ambiental.....	157
CONCLUSÃO.....	161
BIBLIOGRAFIA.....	165
APÊNDICE A - NOTAS DE TRADUÇÃO.....	171

INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que a crise ambiental que se avizinha de nossa época resulta da maneira pela qual os homens têm se relacionado com o planeta através dos tempos, uma vez que a história das sociedades humanas tem sido marcada por sua relação conflituosa com a natureza. Certamente já as primeiras civilizações sofreram em função dos fenômenos da natureza, e, por conseguinte, a sujeição a tais fenômenos, provavelmente propiciou o fortalecimento da sua organização social tendo em vista a necessidade de exercer um maior controle sobre os elementos da natureza a fim de utilizá-los em proveito próprio, bem como romper sua dependência em relação a imprevisibilidade dos fatores naturais.

Por essa razão, a sociedade desde cedo procurou exercer, através do conhecimento, maior controle sobre o meio em que vive, possibilitando-lhe assim uma crescente capacidade tecnológica que a permitiu interferir de forma significativa sobre os fatores da natureza, tornando possível aos seres humanos ocuparem praticamente todo o planeta, mesmo aqueles ambientes mais hostis a sua sobrevivência.

Apesar dessa busca por uma maior autonomia em relação a natureza, nossa sociedade criou uma necessidade quase que infinita por recursos naturais, indispensáveis para garantir a expansão contínua do seu sistema econômico e a manutenção do atual modo de vida dominante, o qual está ancorado sobre o consumo e o desperdício. O custo de manter esse modelo torna-se cada vez mais evidente, através das conseqüências danosas originadas pelos desequilíbrios causados nos sistemas ambientais, e que atualmente representam uma ameaça potencial a existência da própria humanidade. Essa constatação que inicialmente restringia-se ao meio científico e era motivo de preocupação para grupos ambientalistas, tem nos últimos tempos repercutido junto a opinião pública passando a constar na agenda da política internacional.

Em função disso, a busca pela sustentabilidade ambiental constitui o desafio de nossos dias, pois compreende estabelecer o ponto de equilíbrio entre a satisfação das sempre crescentes necessidades humanas e a manutenção dos sistemas naturais, considerando o fato da relação de dependência dos humanos com a natureza prevalecer em nossos dias, sem que haja expectativa de rompimento no futuro, condicionando a própria existência da sociedade humana à manutenção dos sistemas naturais.

Nesse aspecto, torna-se imperativo às sociedades humanas estabelecer limites para a exploração dos recursos naturais, bem como um maior ordenamento para a integração dos espaços aos processos produtivos da sociedade moderna, tendo em vista a manutenção dos níveis de qualidade ambiental e de vida das populações.

A partir dessas considerações, é relevante esclarecer qual a abordagem aqui adotada em relação ao conceito de sustentabilidade ambiental. Pois, não obstante às polêmicas que cercam esse conceito em função das contradições a ele inerentes, ainda assim, o mesmo tem servido como elemento catalisador das questões ambientais junto aos diversos segmentos da sociedade, havendo entretanto uma grande diversidade de conceitos e concepções sobre que realmente seja a sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, para efeito desse trabalho, compreende-se a sustentabilidade ambiental como um conjunto de práticas voltadas a “*manutenção ou melhoria das características e funcionalidades dos sistemas de suporte terrestre*” (CHRISTOFOLETTI, 1999), de forma a proporcionar condições adequadas para a vida das diferentes espécies inclusive a humana, bem como a melhoria da qualidade de vida e da qualidade ambiental. Por seu turno, Macedo (1995), considera que a qualidade ambiental consiste na condição de atendimento dos requisitos de naturezas diversas capazes de assegurar a estabilidade das relações ambientais do ecossistema, enquanto a qualidade de vida compreende as condições adequadas para a manutenção e o desenvolvimento das sociedades humanas.

Todavia, a fim de estabelecer os parâmetros de análise adequados à avaliação da sustentabilidade ambiental, consiste necessidade de primeira ordem a elaboração de instrumentos voltados a medir a degradação e a capacidade dos sistemas ambientais em suportá-la. Sendo necessário, para isso, que na concepção de tais instrumentos sejam consideradas todas as dimensões envolvidas na questão da sustentabilidade, tais como seus aspectos ecológicos, econômicos e sociais, para a partir daí ser possível determinar as conseqüências dos diversos fatores envolvidos no processo de desenvolvimento, sobre a qualidade ambiental e de vida dos assentamentos humanos.

Em função dessas considerações, se buscará aqui, propor uma metodologia voltada para a geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas urbanas, metodologia esta que deverá estar orientada no sentido de abranger um conjunto de fatores relativos aos aspectos sociais, econômicos e físicos da bacia analisada visando a obtenção de um índice capaz de aproximar-se ao máximo do estado de qualidade ambiental de seus ecossistemas e da qualidade de vida a que estão sujeitas as populações residentes nessas áreas.

Considerando os propósitos desse trabalho, o qual tem por pressuposto básico a construção de mecanismos de avaliação ambiental, buscou-se eleger uma área de estudo que corresponde-se a uma bacia hidrográfica em área urbana que reunisse, as características relativas ao uso e ocupação do solo, estrutura socioeconômica e configuração física, típicas àquelas encontradas nas áreas sujeitas a intenso processo de urbanização, tal como ocorre nos centros urbanos brasileiros, ou seja, que fosse alvo de forte pressão antrópica ocasionada por um processo de ocupação desordenado.

Dessa maneira, optou-se pela bacia do arroio Sapucaia, em função dessa área constituir-se de significativa importância no âmbito da região metropolitana de Porto Alegre, bem como pelo fato de ainda atender a outros critérios considerados essenciais para o desenvolvimento do projeto proposto, tal como a sua proximidade de Porto Alegre, a disponibilidade de informações e o conhecimento prévio da área, o que favoreceu sobremaneira a execução das atividades de campo, reunião e análise dos dados.

Por conseguinte, a elaboração do índice de sustentabilidade ambiental aqui proposto deverá acontecer a partir de um enfoque metodológico próprio da Geografia, no caso específico, através do emprego adequado das formulações teóricas e conceituais de base sistêmica, e que constituem parte do instrumental de análise da Geografia Física. Essa formulação pretende contribuir, assim, para o incremento da capacidade de análise e resolução de problemas ambientais pela Geografia, de forma a subsidiar a orientação de estudos voltados para a avaliação de impactos antrópicos e o planejamento territorial, tendo por base a aplicação dos indicadores de sustentabilidade ambiental

Ensejando desenvolver estas competências, esse trabalho pretende alcançar os seguintes objetivos:

- _ Estabelecer uma metodologia adequada à elaboração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas a partir do emprego de

forma integrada das técnicas de geoprocessamento, bem como o tratamento matemático apropriado visando a combinação de dados de naturezas diversas e representativos das condições ambientais, sociais e econômicas predominantes na área de estudo.

- _ Elaborar um conjunto de planos de informações a partir do uso integrado de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG), os quais serão posteriormente utilizados como base para a apuração dos fatores considerados na formulação do índice de sustentabilidade ambiental proposto.
- _ Gerar uma base de dados voltada ao armazenamento e ao gerenciamento das informações necessárias para a geração do índice de sustentabilidade. Essa base de dados, integrada ao SIG servirá de suporte na elaboração dos planos de informações e dos indicadores propostos.
- _ Setorizar a bacia do arroio Sapucaia segundo as condições ambientais verificadas em função de cada fator apurado nas sub-bacias. Esta setorização, tem por finalidade dar suporte às atividades de planejamento e gerenciamento originadas a partir dos resultados obtidos pelo índice de sustentabilidade, apontando as criticidades em relação a qualidade do meio ambiente predominante na bacia, bem como subsidiar uma proposta para o seu zoneamento ambiental.
- _ Avaliar a eficiência do índice de sustentabilidade proposto a partir da análise dos resultados obtidos na apuração dos diversos fatores considerados em cada sub-bacia e para a bacia do arroio Sapucaia como um todo.

Os propósitos fundamentais desse trabalho destinam-se portanto à obtenção de um índice representativo da capacidade de suporte das bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, sujeitas a intensa pressão originada pelas atividades antrópicas. A metodologia proposta destina-se principalmente àquelas bacias hidrográficas carentes de dados sócio-ambientais, situação comum nas bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas, sobretudo em países pobres ou mesmo naqueles considerados em desenvolvimento, como no caso brasileiro.

O emprego dessa metodologia visa obter um diagnóstico rápido das condições ambientais, a partir da análise de dados de fácil obtenção e com baixo custo de aquisição. Nesse sentido, considera três fatores de avaliação, os quais correspondem respectivamente ao Fator de Uso do Solo (*FUS*), Fator de Fragilidade Potencial (*FFP*) e Fator de Desenvolvimento Humano (*FDH*)

tomando por base as recomendações contidas no modelo pressão-estado-impacto/efeito-resposta - PEI/ER proposto pela OCDE (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico).

Dessa forma, a fim de viabilizar a determinação dos indicadores, serão selecionados dados representativos do relevo, do uso do solo e do desenvolvimento socioeconômico da bacia em estudo, derivados respectivamente da cartografia básica existente, da classificação de imagem orbital e dos dados censitários disponibilizados pelo IBGE, os quais uma vez submetidos ao tratamento adequado serão integrados em um ambiente de SIG possibilitando assim a análise e fusão desses dados de forma a obter um índice representativo dos níveis de qualidade ambiental de seus ecossistemas e da qualidade de vida a que estão sujeitas as populações residentes nessas áreas.

O índice aqui proposto, graças ao caráter público dos dados utilizados e o baixo custo de implementação, poderá ser aproveitado pelas comunidades locais, tanto por instituições públicas como entidades de caráter privado, no suporte ao planejamento de ações visando a preservação ou recuperação das condições ambientais dessas bacias.

1 – SOCIEDADE, NATUREZA E DESENVOLVIMENTO

1.1. VISÕES DE MUNDO E OS PRECEDENTES DA ATUAL CRISE AMBIENTAL

A preocupação em relação à natureza e seus recursos não pode ser considerada recente, entretanto, ao longo da história a abordagem dominante esteve vinculada à noção de progresso, ou seja do aproveitamento dos recursos naturais em benefício das atividades produtivas e do lucro. Esta vinculação resultou, desde cedo, na necessidade de subordinação da natureza aos interesses hegemônicos da sociedade, o que significou, na maioria das vezes, modificar o meio ambiente visando ao máximo aproveitamento dos seus recursos e a sua adaptação ao modo de vida dominante.

Essa idéia que concebia a natureza como sendo uma fonte infinita de recursos à disposição da sociedade, remonta ao século XVI, e teve sua origem no antropocentrismo cartesiano, o qual colocava o homem e a natureza em oposição, estabelecendo uma relação de conflito. Essa perspectiva, que perdura até aos nossos dias, pode ser constatada no clássico Discurso do Método, escrito por René Descartes em 1637, onde este afirmava que:

“[...]conhecendo a força e as ações do fogo, da água, do ar, dos astros, dos céus e de todos os outros corpos que nos cercam, tão distintamente quanto conhecemos os diversos ofícios de nossos artesãos, poderíamos empregá-la do mesmo modo em todos os usos a que se aplicam tais ofícios, e assim nos tornarmos como que mestres e possuidores da natureza. O que é desejável, não apenas para a invenção de uma infinidade de artificios, que nos fariam usufruir, sem nenhuma dificuldade os frutos da terra e todas as comodidades que nela se encontram,[...]” (Descartes, 2005, p. 102)

Essa visão de mundo a partir de uma perspectiva antropocêntrica e mecanicista foi amplamente difundida através das proposições de pensadores como Galileu, Bacon, Descartes e Newton, entre outros, que postulavam uma metodologia segundo a qual a natureza deveria ser decomposta aos seus elementos mais básicos para, a partir do entendimento das partes, possibilitar a compreensão do todo. Suas proposições representavam a emergência do

pensamento pós-feudal que conduziu às revoluções burguesas dos séculos XVII e XVIII, as quais tiveram, por consequência, a revolução industrial e a afirmação do capitalismo como sistema dominante. Estas proposições, foram de fundamental importância para a ciência moderna, sendo ainda aplicadas em diversos campos do conhecimento.

A dicotomia que se verifica no entendimento das interações entre as sociedades humanas e a natureza é decorrente destas proposições, as quais se por um lado contribuíram no desenvolvimento científico e tecnológico de nosso tempo, bem como na organização de diversos campos do conhecimento, também estabeleceram uma profunda cisão não apenas entre o homem e a natureza mas também nas ciências, criando fronteiras entre os diversos domínios do conhecimento necessários para um entendimento mais amplo da complexidade dos sistemas ambientais.

Neste aspecto, segundo Vitale (1983), atualmente existe a necessidade de uma ciência capaz de analisar o ambiente como um todo, dinâmico e em permanente transformação, entendendo o homem como parte indissolúvel do ambiente, levando-o a considerar:

“Es un gravísimo error conceptual establecer una separación entre el hombre, por un lado, y el ambiente, por outro, como si estuvieran escindidos. Es necesario superar la concepción dualista de hombre-naturaleza. La sociedad global humana debe analizarse como formando parte del ambiente, comprendiendo que su evolución está condicionada por la naturaleza. A su vez, el hombre modifica en parte la naturaleza.”¹
(Vitale, 1983, p. 15)

Segundo esta perspectiva a sociedade então deveria operar como um fator de mediação nas interações homem e natureza. Nesta proposição a natureza não aparece apenas como um estoque de recursos a ser explorado, mas ela também influi sobre os seres humanos e sua formação social. Neste aspecto, Bernardes e Ferreira (2003), a partir de uma abordagem marxista explicam que:

“as relações sociedade/natureza são enfocadas em termos das formas como determinada sociedade se organiza para o acesso e uso dos recursos naturais.[...] Na concepção marxista, a relação do homem com a natureza é sempre dialética: o homem enforma a natureza ao mesmo tempo em que esta o enforma.” (Bernardes e Ferreira, 2003, p. 19)

Esta concepção mostra-se mais adequada para a compreensão da realidade, pois possibilita uma maior integração entre os elementos naturais e físicos do meio ambiente, com aqueles de ordem sócio-econômica, possibilitando dessa forma uma visão de totalidade da organização espacial capaz de subsidiar respostas à crise ambiental de nossos dias. Todavia tais pressupostos entram em choque com a lógica do sistema econômico vigente, pois vão de encontro aos ideais da sociedade de consumo.

Em virtude dessa oposição de interesses o estado atual do meio ambiente global assume contornos de crise, sendo esta resultante dos conflitos estabelecidos a partir dos desequilíbrios entre a crescente demanda por recursos naturais e a capacidade limitada do planeta em suprir estas necessidades. Tal situação, ocasionada pela expansão em escala planetária do modo de produção capitalista, determinou um novo padrão de consumo tendo por perfil o modo de vida predominante nos países ricos do ocidente e sistematicamente imposto aos países subdesenvolvidos em detrimento de suas culturas tradicionais, fazendo aumentar a exclusão social. Sobre isso é significativo o que Feldmann (2003), afirma:

“Afora a desigualdade, há um componente cultural extremamente complexo que se manifesta na “universalização” de estilos de vida, caracterizada pela fixação de certos padrões sociais e aspirações de consumo através da expansão de uma cultura baseada em pesquisas de mercado, que se concretiza através de objetos como vídeos, músicas, automóveis, jeans, enfim, toda uma parafernália voltada para atender desejos e necessidades criados por uma sociedade que depende dessa economia para continuar existindo.” (Feldmann, 2003, p.149.)

Constata-se portanto que a atual lógica de funcionamento do sistema econômico global, além de marginalizar parcelas significativas da população tem gerado o desperdício de recursos naturais, sem que em contrapartida haja o aumento do bem estar das pessoas, justificando assim o comentário de Daly, 2005, segundo este: *“Muito provavelmente, os países ricos atingiram o “limite de futilidade”, ponto além do qual o crescimento não incrementa a felicidade”*, tais considerações apontam para o esgotamento desse modelo de desenvolvimento, sendo o mesmo considerado como causas importantes da pobreza e do subdesenvolvimento de inúmeros países. Em relação a isso o capítulo 4 da agenda 21, o qual trata das mudanças nas modalidades de consumo, faz a seguinte advertência:

“Existe una relación muy estrecha entre la pobreza y la degradación ambiental. Si bien la pobreza impone una gran presión sobre el medio ambiente, la causa principal del deterioro del medio ambiente es la modalidad insostenible de consumo y producción, en los países industrializados en particular, lo que agrava la pobreza e intensifica los desequilibrios. [...] El logro de un desarrollo sostenible exigirá una producción eficiente y cambios del consumo a fin de utilizar los recursos en forma óptima y de reducir la creación de desperdicios al mínimo. Esto hará necesario que se reorienten las modalidades de desarrollo en las sociedades industrializadas, las que han sido imitadas en gran parte del mundo en desarrollo.”² (ONU, 1992)

Estas considerações têm colocado em dúvida a possibilidade de manutenção do próprio sistema capitalista, pois repercutem sobre suas principais bases de sustentação uma vez que questionam a sociedade de consumo e impõem limites para a utilização de recursos naturais, a fim de amortecer seus impactos sobre o meio ambiente. Estas contradições interpostas ao sistema econômico capitalista, fazem com que Andrade (1994), duvide de sua capacidade de adaptação a

esta nova situação, pois segundo ele: *“o capitalismo é, por sua natureza, oposto a qualquer controle ambiental, de vez que a industrialização, com a defesa da natureza, aumentaria os custos de produção e diminuiria o lucro.”*

Em sua estratégia de expansão o capitalismo internacional tem buscado a integração dos territórios através do emprego da técnica e da ciência, que submetidas à lógica do mercado oferecem os meios para que este se torne global, o que nas palavras de Santos (1999) consiste na produção de um *“meio técnico-científico-informacional”*, no qual *“a informação é o vetor fundamental do processo social e os territórios são, desse modo, equipados para facilitar a sua circulação”*, dessa forma os espaços são requalificados a fim de possibilitar sua integração a este mercado global, pois, segundo Santos (1999): *“O meio técnico-científico-informacional é a cara geográfica da globalização.”*

Os territórios uma vez integrados ao sistema econômico mundial passam a ficar subordinados aos atores hegemônicos desse sistema, fragilizando o papel do Estado, bem como dos demais grupos sociais no ordenamento da sociedade, da economia e do uso dos recursos naturais deixando que essas questões fiquem subordinadas à lógica do mercado globalizado. Em função disso, Paul Kennedy (1993), ao examinar o problema de uma política ambiental mundial, afirma que:

“[...]vê a globalização conduzida pelos interesses das empresas transnacionais (controladoras das novas tecnologias) apoiadas pelo sistema financeiro internacional e na lógica do mercado global as causas do aumento das desigualdades no mundo. O mercado racional, pela sua própria natureza, não se preocupa com a justiça social e a igualdade”.
(Kennedy apud Montibeller F^o., 2004; p.43)

O que torna evidente as dificuldades que se interpõem ao desenvolvimento de políticas voltadas para a construção de um modelo de desenvolvimento capaz de conjugar desenvolvimento social e econômico com a preservação ambiental em nível global. Isto ocorre em função da diversidade de interesses presentes entre os diversos atores envolvidos e sobretudo pela concentração dos recursos tecnológicos e financeiros capazes de viabilizar estas políticas.

Desse modo, os atores hegemônicos do sistema econômico globalizado, buscam determinar as prioridades da sociedade segundo as suas próprias necessidades, impondo uma perspectiva segundo a qual questões econômicas devam sobrepor-se as demais a fim de possibilitar o crescimento econômico, segundo estes, único meio capaz de garantir o bem estar da sociedade. Impondo-se ao conjunto da sociedade o aumento dos investimentos em pesquisa e infra-estrutura capaz de alavancar o progresso uma vez que é a partir da técnica e da ciência que

se dará a aceleração do processo produtivo e a intensificação da exploração dos recursos naturais. Dessa forma, a expansão capitalista passa pelo aumento do consumo, pela dominação e pela conseqüente degradação da natureza.

Por conseguinte, foi a busca por melhores resultados na exploração dos recursos naturais que demandou ao longo da história um crescente conhecimento a cerca dos mecanismos de funcionamento da natureza. O corolário dessa busca em desvendar os sistemas ambientais foi uma mudança na forma de relacionamento entre a sociedade e a natureza, pois a produção e dominação da natureza ocorre através de um processo social que modifica a forma como a sociedade percebe a natureza, neste sentido, segundo Montibeller F° (2004): *“a visão de mundo vai sendo modificada em decorrência das mudanças na relação do homem com a natureza, na busca da satisfação de suas necessidades ou dos interesses da classe dominante.”*

A introdução de políticas e outros mecanismos capazes de reverter a tendência atual de agressão ao meio ambiente no âmbito do sistema capitalista vigente, foi conseqüência do surgimento, a partir da segunda metade do século XX, do movimento ambientalista, o qual tem mobilizado setores importantes da sociedade organizada no debate em torno dessa questão a ponto de conferir-lhe relevância na agenda internacional. Este movimento tem possibilitado difundir a questão do meio ambiente através da conscientização, da denúncia e da reivindicação junto aos responsáveis pela condução das políticas ambientais.

Paradoxalmente, foi a partir da exacerbação do descaso com o meio ambiente pelo sistema produtor de mercadorias e riquezas que criaram-se as condições para o surgimento de uma nova visão de mundo. Essa nova postura em relação aos problemas ambientais surgiu em função da ocorrência de desastres ambientais em diversas partes do mundo, sobretudo nas últimas décadas do século passado, causando forte impacto sobre a opinião pública mundial, fortalecendo a atuação dos movimentos ambientalistas, bem como motivando o engajamento da sociedade em torno de seus ideais.

A mudança de enfoque no tratamento da questão ambiental, advinda do movimento ambientalista, forneceu uma nova racionalidade a cerca das relações do meio ambiente com o sistema econômico e suas implicações no que se refere ao desenvolvimento, da mesma forma passou a considerar questões relativas a qualidade de vida e exclusão social entre os fatores associados a temática ambiental.

A projeção obtida pelo movimento ambiental possibilitou a difusão de suas idéias pelos diversos segmentos da sociedade, alertando-a para a crise ambiental que se configurava e criando uma tendência de mudança em seu comportamento. Esta modificação de postura frente aos problemas do meio ambiente acabou influenciando os diversos campos das atividades humanas, determinando o envolvimento tanto do setor público, quando dos setores empresariais, científicos, culturais e da sociedade organizada como um todo na busca de um reordenamento sócio-econômico mais adequado aos limites determinados pelo meio ambiente. Entretanto, segundo Gorz *apud* Romeiro (1999), esta nova racionalidade deve envolver outros valores do que aqueles da acumulação de riqueza material, demandando por espaços crescentes para atividades culturais, sociais e criativas; dando maior importância a valores como *a sensibilidade, a imaginação, o amor, a convivência, o sonho, a reflexão.*

Nesse sentido, Santos (2001), considera que existam condições materiais para uma grande mutação, pois acredita que a globalização atual não seja irreversível, apesar das técnicas o serem *“porque aderem ao território e ao cotidiano”*. Essa mutação compreenderia a mutação tecnológica e a mutação filosófica da espécie humana. Considerando isso afirma:

“[...] a grande mutação tecnológica é dada com a emergência das técnicas da informação, as quais – ao contrário das técnicas das máquinas – são constitucionalmente divisíveis, flexíveis e dóceis, adaptáveis a todos os meios e culturas, ainda que seu uso perverso atual seja subordinado aos interesses dos grandes capitais. Mas, quando sua utilização for democratizada, essas técnicas doces estarão ao serviço do homem. (Santos, 2001, p. 174.)

Da mesma forma, Santos (2001), pensa também existirem as condições necessárias para possibilitar a mutação filosófica do homem que *seja “capaz de atribuir um novo sentido à existência de cada pessoa e, também do planeta”*. Ou ainda como afirma Sachs *apud* Romeiro (1999): *“trata-se da passagem de uma civilização do “ter” para uma civilização do “ser”.*”

Estes indicativos de mudança passaram a ser percebidos de forma mais acentuada a partir de meados do último século gerando as condições para que em nossa época fosse possível surgir uma nova visão de mundo, de concepção holística, capaz de considerar as relações entre o sistema ambiental e econômico em sua complexidade. Promovendo as mudanças necessárias à manutenção das condições de vida em nosso planeta, pois de acordo com Hobsbawm, (1995):

“As forças geradas pela economia tecnocientífica são agora suficientemente grandes para destruir o meio ambiente, ou seja, as fundações materiais da vida humana. As próprias estruturas das sociedades humanas, incluindo mesmo algumas das fundações sociais da economia capitalista, estão na iminência de ser destruídas pela erosão do que herdamos do passado humano. Nosso mundo corre o risco de explosão e implosão. Tem de mudar.” (Hobsbawm, 1995, p.562.)

Espera-se pois, que tais princípios permitam conduzir a um novo modelo de desenvolvimento, onde a exclusão social e a devastação ecológica possam ser superadas, evitando-se dessa forma o colapso dos sistemas de suporte a vida.

1.2. DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

A forma como concebemos a noção de desenvolvimento nos remete à idéia de inovação, evolução e realização, ou seja, ao progresso econômico e tecnológico de uma sociedade, capaz de garantir a melhoria de suas condições de sobrevivência. Constituí-se dessa maneira em meta primordial de qualquer plano de ação política, independente do matiz ideológico. Em função disso, a forma como a questão do desenvolvimento econômico é tradicionalmente enfocada privilegia a idéia de que as políticas de desenvolvimento devam consistir de mecanismos econômicos voltados à melhoria dos indicadores de desempenho das economias nacionais, tais como o Produto Interno Bruto ou a Renda *per capita*, devendo os países, para isso, buscarem o aumento do seu nível de industrialização e a modernização de suas bases produtivas tendo em vista o crescimento de suas economias. Esta característica leva Guimarães (2003), a afirmar que:

“As idéias associadas a esse modelo de desenvolvimento são a da modernização e progresso, que crêem e professam um caminho evolutivo a seguir, tendo como referencial de sociedade “desenvolvida” aquelas que estão no centro do sistema capitalista, modelo hoje hegemônico em toda a parte do mundo com o fim da bipolaridade, ou seja, o grupo daqueles países ditos do norte.” (Guimarães, 2003, p.85)

Essa concepção economicista de desenvolvimento não contempla a realidade da sociedade em todas as suas dimensões (social, cultural, ambiental, etc.), pois privilegia o aspecto econômico, ou seja, a necessidade de promover o crescimento da economia a qualquer custo sem considerar os demais fatores envolvidos. O resultado desse modelo de desenvolvimento invariavelmente será o aumento da exclusão social e dos níveis de degradação ambiental, e por consequência, a diminuição da qualidade de vida.

No âmbito do sistema capitalista dominante, o desenvolvimento somente é obtido quando há crescimento da economia, ou seja, se dá a partir de uma aceleração dos processos produtivos e de um incremento do consumo de bens e serviços. Essa visão reducionista de desenvolvimento implica necessariamente na manutenção de uma sociedade extremamente dependente do consumo e desperdício dos recursos naturais, a fim de manter o equilíbrio entre a oferta e a demanda de bens de consumo de toda a ordem, bem como a manutenção dos empregos. Nesse

contexto, Harvey (2001), quando se refere as características essenciais do modo capitalista de produção considera que:

“O capitalismo é orientado para o crescimento. Uma taxa equilibrada de crescimento é essencial para a saúde de um sistema econômico capitalista, visto que só através do crescimento os lucros podem ser garantidos e a acumulação do capital, sustentada. Isso implica que o capitalismo tem de preparar o terreno para uma expansão do produto e um crescimento em valores reais (e, eventualmente, atingi-los), pouco importam as conseqüências sociais, políticas, geopolíticas ou ecológicas. Na medida em que a virtude vem da necessidade, um dos pilares básicos da ideologia capitalista é que o crescimento é tanto inevitável como bom. A crise é definida, em conseqüência, como falta de crescimento.” (Harvey, 2001, p.166)

Essa lógica de desenvolvimento econômico, no entanto, tem causado mais miséria, desemprego e carências de serviços básicos, promovendo a exclusão de parcelas crescentes da população mundial do sistema econômico formal, sobretudo nos países periféricos subdesenvolvidos ou mesmo naqueles considerados em desenvolvimento como no caso do Brasil. Por esse motivo, esse modo de desenvolvimento vem sofrendo, desde as últimas décadas do século passado, fortes críticas uma vez que tem produzido muito mais pobreza do que propriamente desenvolvimento.

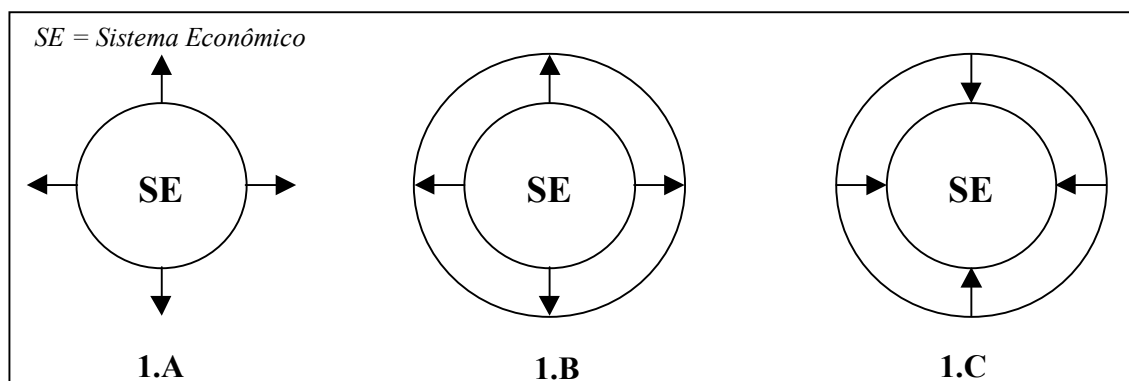
Tal constatação reforça a proposta de um desenvolvimento ancorado em outras bases, o que Daly *apud* Romeiro (1999), denomina economia do estado estacionário, que não significa estagnação da economia mas sim a busca da otimização do aproveitamento dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida, bem como a redução da dependência dos recursos naturais não renováveis. Igualmente necessário também é definir indicadores de crescimento e desenvolvimento que levem em conta a partir de bases adequadas, o valor real dos recursos e serviços ambientais nas contas nacionais.

Essa proposição de mudança encontra muitos obstáculos, sendo que a maior dificuldade, segundo Christofolletti (1993), encontra-se em definir os limites para o crescimento em função do ponto de equilíbrio dos sistemas ambientais, pois mesmo o relatório Brundtland assinala que *o crescimento não estabelece um limite preciso a partir do qual o tamanho da população ou o uso dos recursos podem levar a uma catástrofe ecológica*. Segundo esse documento os limites variam em função dos recursos (energia, matérias primas, água, terra), devendo se impor *mediante a elevação de custos e diminuição de retornos, e não mediante uma perda súbita de alguma base de recursos*, ou seja através das oscilações do mercado capitalista.

Observando a lógica de expansão do Sistema Econômico Capitalista, Romeiro (1999), organizou o esquema apresentado na figura 1, a qual apresenta a relação do crescimento do

sistema econômico e as restrições ambientais (disponibilidade de recursos naturais e capacidade de assimilação dos ecossistemas) a partir de três visões econômicas distintas:

FIGURA 1 : RELAÇÃO ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO X RESTRIÇÕES AMBIENTAIS



Fonte: Adaptado de Romeiro, 1999, p.78.

Figura 1.A – apresenta a visão econômica neoclássica de representação da realidade econômica, onde o sistema econômico não é limitado por restrições ambientais, podendo expandir-se livremente por tempo indeterminado a partir da substituição dos recursos naturais por outros fatores.

Figura 1.B – apresenta uma visão de desenvolvimento sustentável a partir da perspectiva neoclássica, onde o sistema econômico é visto como suficientemente grande para que o meio ambiente se torne uma restrição à sua expansão mas apenas uma restrição relativa, superável através do progresso técnico e científico, que possibilitaria a substituição da base de recursos.

Figura 1.C – representa uma interpretação a partir da economia ecológica. Nessa interpretação o sistema econômico é parte de um todo maior, o meio ambiente, que impõe uma restrição absoluta à sua expansão. Neste caso o progresso técnico-científico é fundamental no sentido de aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais.

A busca contínua pelo aumento da atividade econômica, entretanto, repercute diretamente sobre os sistemas ambientais em escala planetária, pois este modelo desenvolvimentista, está voltado para a ampliação do mercado, do lucro e da acumulação, e que segundo Guimarães (2003), “*prima pelos interesses privados (econômicos) frente aos bens coletivos (meio ambiente)*.”, ocasionando desta forma uma crescente pressão sobre os recursos naturais, bem como fortes impactos socioambientais. Portanto os custos cobrados do meio ambiente decorrentes da manutenção do modelo tradicional de desenvolvimento econômico passam a ser insustentáveis, pois dependem da obtenção de taxas contínuas de crescimento econômico e de níveis de consumo impraticáveis. A partir da percepção desse cenário Hobsbawm (1995), faz o seguinte comentário:

“Uma taxa de crescimento econômico como a da segunda metade do Breve Século XX, se mantida indefinidamente (supondo-se isso possível), deve ter conseqüências irreversíveis e catastróficas para o ambiente natural deste planeta, incluindo a raça humana que é parte dele. Não vai destruir o planeta, nem torná-lo inabitável, mas certamente mudará o padrão de vida na biosfera, e pode muito bem torná-la inabitável pela espécie humana, como a conhecemos, com uma base parecida a seus números atuais. Além disso, o ritmo em que a moderna tecnologia aumentou a capacidade de nossa espécie de transformar o ambiente é tal que, mesmo supondo que não vá acelerar-se, o tempo disponível para tratar do problema deve ser medido mais em décadas do que em séculos.” (Hobsbawm, 1995, p. 547)

O aguçamento dos conflitos originados em função da forma de exploração e apropriação dos recursos naturais a partir de meados do século XX, tal como as crises produzidas em função da escassez do petróleo, acabaram por deixar evidentes os sinais de esgotamento do atual modo de desenvolvimento capitalista, abrindo a possibilidade para que diversos setores da sociedade promovessem uma ampla e profunda revisão de suas bases de sustentação a partir do questionamento da lógica desenvolvimentista. Outro fator determinante nesse sentido foi o surgimento de um conjunto de valores, os quais estão associados a conscientização ambiental, e que têm apontado a necessidade de alteração do estilo de vida dominante em nossa sociedade, pois segundo Brown (2003), *“o desafio de nossa geração é reverter essas tendências, antes que a deterioração ambiental conduza a um declínio econômico de longo prazo, como ocorreu com tantas outras civilizações anteriores.”*

Em função desses fatos é que a construção de novas propostas para o desenvolvimento econômico deve apontar na direção de novos parâmetros a serem considerados nas políticas de desenvolvimento econômico, passando-se a dispensar maior atenção aos fatores sociais e ambientais na elaboração de seus planejamentos, visando reverter a tendência de esgotamento demonstrado pelo atual modelo.

1.3. O PARADIGMA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO RESPOSTA À CRISE

O paradigma do desenvolvimento sustentável, a despeito da polêmica que o envolve, representa em nossa época uma alternativa à forma tradicional da sociedade se relacionar com a natureza. Segundo o relatório Brundtland (CMMAD, 1988), desenvolvimento sustentável, é definido como o *“desenvolvimento que responde às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”*. Contudo, conforme Almeida (1997), tal proposição abriga múltiplas concepções e visões de mundo, desde críticos da modernidade, defensores do “capitalismo verde” e até aqueles que buscam um novo modo de desenvolvimento que seja *“socialmente justo, economicamente viável, ecologicamente sustentável e culturalmente aceito”*. Todos estes, concordam no entanto que esta proposta representa um grande avanço nas abordagens relativas ao desenvolvimento e à preservação dos recursos naturais. Para Tayra e Ribeiro (2004), o desenvolvimento sustentável engloba a idéia de compatibilidade do crescimento econômico, com desenvolvimento humano e qualidade ambiental. Preconiza que as sociedades atendam às necessidades humanas em dois sentidos:

aumentando o potencial de produção e assegurando a todas as pessoas as mesmas oportunidades (gerações presentes e futuras).

Nesse aspecto, Christofolletti (1993), destaca dois conceitos chaves relacionados ao Desenvolvimento Sustentável. O primeiro refere-se à caracterização das necessidades que devem ser estabelecidas, priorizando principalmente as dos países pobres. O segundo, refere-se à existência de limitações impostas ao meio ambiente em função do atual estágio tecnológico e da organização social, condicionantes para que tais recursos possam atender as necessidades presentes e futuras. A partir do conceito de Desenvolvimento Sustentável torna-se explícito que o meio ambiente e a economia obrigatoriamente se interagem.

Ainda segundo esse autor, o relatório Brundtland propôs medidas visando reverter a tendência de devastação ambiental, para tanto considerava que os países deveriam rever suas políticas ligadas ao meio ambiente e desenvolvimento econômico a partir das seguintes diretrizes:

- *restabelecimento do crescimento econômico, principalmente nos países pobres, mais afetados pelos desequilíbrios sócio-ambientais;*
- *busca de crescimento econômico menos intensivo em energia e mais igualitário socialmente, baseado na idéia de reforço mútuo entre esses elementos;*
- *atendimento das necessidades básicas de uma população expandido-se pela criação de empregos que permitam um padrão mínimo de consumo;*
- *assegurar um nível populacional estável e sustentável;*
- *conservação e diversificação da base de recursos, em vista do aumento da pressão exercida pelas técnicas intensivas e pela demanda do crescimento demográfico;*
- *reorientação tecnológica e gerenciamento de riscos;*
- *compatibilização de objetivos econômicos e ecológicos levando em consideração os limites do conhecimento científico atual e as conseqüências a longo prazo dos fenômenos, além do estímulo à participação dos cidadãos e do acesso destes à informação.*

A difusão de idéias vinculadas ao desenvolvimento sustentável, bem como a crescente procura de soluções para os problemas ambientais, tem demandado o estabelecimento de estratégias que viabilizem uma nova forma de desenvolvimento capaz de conservar a diversidade e as condições do meio ambiente e que ao mesmo tempo proporcione melhorias na qualidade de vida. Para isso é necessário induzir a sociedade a uma mudança conceitual em sua visão-de-mundo que possibilite uma nova atitude frente ao meio ambiente.

A partir de meados do século XX, o movimento ambientalista passou a ganhar relevância e influenciar a opinião pública e as decisões políticas. Nesse sentido, Castells (1999), afirma que as grandes empresas passaram a incluir a questão do ambientalismo em sua agenda, apesar disso ressalta que *“a maioria de nossos problemas ambientais mais elementares ainda persiste, uma vez que seu tratamento requer uma transformação nos meios de produção e de consumo, bem como de nossa organização social e de nossas vidas pessoais”*

Em 1987, a partir da publicação do *Relatório Brundtland ou Nosso Futuro Comum*, o paradigma do Desenvolvimento Sustentável, tornou-se consagrado, passando a influenciar nas decisões referentes ao meio ambiente, tal como aconteceu na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED), realizada no Brasil em 1992. A partir da introdução do paradigma da sustentabilidade o termo desenvolvimento passou a assumir outra dimensão que segundo Christofletti (1993), difere da concepção de crescimento econômico tradicional, passando a significar uma forma particular de crescimento, pela qual o crescimento não compromete nem é comprometido pelos fatores naturais em função dos impactos antropogênicos, possibilitando ainda o aumento do bem estar da sociedade.

Todavia, a implementação de um modelo sustentável de desenvolvimento passa pela formulação de mecanismos de gerenciamento e controle sobre a forma de utilização dos recursos naturais pela sociedade, que tenham por objetivo o monitoramento e o apoio à decisão visando alcançar padrões aceitáveis de qualidade ambiental e de vida. Nesse sentido, segundo Macedo (1995), entende-se qualidade ambiental como a condição de atendimento dos requisitos de natureza física, química, biológica, social, econômica, tecnológica, cultural e política que assegurem a estabilidade das relações ambientais do ecossistema, enquanto a qualidade de vida expressa a qualidade ambiental específica ao fator ambiental homem.

A atual crise ambiental, produto do modelo de desenvolvimento dominante, tem levado os atores responsáveis pela definição das políticas relacionadas ao meio ambiente a buscarem, através do paradigma da sustentabilidade, o instrumental teórico necessário para a solução dos problemas ambientais, bem como o estabelecimento de uma nova racionalidade no uso dos recursos naturais. Esta nova racionalidade necessariamente implica em uma mudança no comportamento da sociedade, ou seja, no estabelecimento de uma nova forma de percepção do meio ambiente, e na definição de um conjunto de estratégias, tecnologias e instrumentos capazes de possibilitar o planejamento, gerenciamento e o monitoramento do meio ambiente visando o

seu manejo de forma adequada, capaz de gerar benefícios para o conjunto da sociedade sem comprometer as condições de manutenção dos seus ecossistemas.

O agravamento das condições ambientais neste período, principalmente nos grandes centros urbanos, foi determinante na formulação de uma nova concepção de desenvolvimento subordinada às condições de sustentabilidade do meio ambiente a qual, segundo Almeida (1997), parte da seguinte proposição:

“A noção de desenvolvimento sustentável tem como uma de suas premissas fundamentais o reconhecimento da “insustentabilidade” ou inadequação econômica, social e ambiental do padrão de desenvolvimento das sociedades contemporâneas. Esta noção nasce da compreensão da finitude dos recursos naturais e das injustiças sociais provocadas pelo modelo de desenvolvimento vigente na maioria dos países.” (Almeida, 1997, p.21).

A condição essencial para que o desenvolvimento possa ser sustentável do ponto de vista ambiental é segundo Kitahara (2004), compreender a capacidade de auto-recuperação dos ecossistemas, bem como revisar os valores, incluindo os hábitos de consumo, a fim de minimizar a pressão exercida sobre os recursos naturais decorrentes do crescimento da população e da globalização dos costumes promovida pelos países hegemônicos. Em relação a isso, a Agenda 21 em seu capítulo 4, também sugere que:

“Se deberían formular nuevos conceptos de la riqueza y la prosperidad en los cuales haya margen para alcanzar niveles de vida más altos, utilizando para ello el cambio de los estilos de vida hacia estilos que dependan menos de los recursos finitos de la Tierra y que estén más en consonancia con su capacidad de sostenimiento. Esta idea debería manifestarse en nuevos sistemas de cuentas nacionales y de otros indicadores del desarrollo sostenible.”³ (ONU, 1992)

O processo de mudança necessário à implementação de um modelo de desenvolvimento que tenha por princípio sua sustentabilidade ambiental deve considerar todas as dimensões envolvidas, buscando para isso observar todas as articulações dos processos produtivos, a fim de assegurar uma abordagem integrativa, uma vez que uma das características básicas do desenvolvimento sustentável é a sua multi-setorialidade. Considerando isso, Sachs *apud* Montibeller F° (2004), elaborou o que denomina as cinco dimensões da sustentabilidade, as quais são apresentadas no quadro 1:

QUADRO 1 : AS CINCO DIMENSÕES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DIMENSÃO	COMPONENTES	OBJETIVOS
SUSTENTABILIDADE SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de postos de trabalho que permitam a obtenção de renda individual adequada (à melhor condição de vida; à maior qualificação profissional). - Produção de bens dirigida prioritariamente às necessidades básicas sociais. 	REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES SOCIAIS
SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA	<ul style="list-style-type: none"> - Fluxo permanente de investimentos públicos e privados (estes últimos com especial destaque para o cooperativismo). - Manejo eficiente dos recursos. - Absorção, pela empresa, dos custos ambientais. - Endogeneização: contar com suas próprias forças. 	AUMENTO DA PRODUÇÃO E DA RIQUEZA SOCIAL SEM DEPENDÊNCIA EXTERNA
SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA	<ul style="list-style-type: none"> - Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas. - Prudência no uso de recursos naturais não renováveis. - Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis. - Redução da intensidade energética e aumento da conservação de energia. - Tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos. - Cuidados Ambientais. 	MELHORIA DA QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE E PRESERVAÇÃO DAS FONTES DE RECURSOS ENERGÉTICOS E NATURAIS PARA AS PRÓXIMAS GERAÇÕES
SUSTENTABILIDADE ESPACIAL/GEOGRÁFICA	<ul style="list-style-type: none"> - Desconcentração espacial (de atividades econômicas; de produção). - Desconcentração/democratização do poder local e regional. - Relação cidade/campo equilibrada (benefícios centrípetos). 	EVITAR EXCESSO DE AGLOMERAÇÕES
SUSTENTABILIDADE CULTURAL	<ul style="list-style-type: none"> - Soluções adaptadas a cada ecossistema. - Respeito à formação cultural comunitária. 	EVITAR CONFLITOS CULTURAIS COM POTENCIAL REGRESSIVO

Fonte: Ignacy Sachs, adaptado por: Montibeller in Montibeller F^o., 2004, p. 51.

Nesse sentido, a busca pelo desenvolvimento sustentável, passa necessariamente por um conjunto de mudanças voltadas a superar o atual modelo econômico concorrencial, assimilando essa nova concepção de desenvolvimento, a qual tem por objetivo a utilização adequada dos recursos naturais e a melhoria e/ou manutenção da qualidade de vida, assegurando condições semelhantes às gerações futuras. E que tem nestes fatores os parâmetros para sua evolução. Todavia, esse processo de mudança, significa sobretudo a assimilação de uma nova racionalidade por parte da sociedade, a qual não esteja enfocada sobre a economia e os mecanismos de mercado, mas sim ancorada sobre um conjunto de valores centrados na vida e o respeito aos semelhantes. Neste aspecto o paradigma do desenvolvimento sustentável sugere mais do que apenas um novo modelo econômico, tendo em vista que demanda uma profunda mudança no estilo de vida predominante em nossa sociedade.

2 – INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA GEOGRAFIA

A crescente preocupação em relação ao meio ambiente causada pelo aumento da demanda de recursos naturais e a conseqüente degradação dos ecossistemas tem colocado a questão ambiental no centro da discussão sobre o desenvolvimento, sobretudo quanto a sua compatibilidade com padrões adequados aos limites impostos pela natureza. A busca pelo equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos sistemas naturais, tendo em vista a manutenção da qualidade de vida das comunidades, tem nos últimos anos fortalecido o paradigma do desenvolvimento sustentável, entretanto em função da sua dimensão e complexidade, tem-se buscado ampliar a compreensão em torno desse conceito visando estabelecer mecanismos capazes de subsidiar as ações da sociedade que conduzam na direção do desenvolvimento sustentável, ou seja, capazes de balizar as interações sociedade – natureza, através de rotinas de planejamento que priorizem a componente ambiental.

A construção de um modelo de desenvolvimento, sob novas bases econômicas em consonância com a capacidade de suporte dos sistemas naturais, demanda por parte dos agentes responsáveis por sua concepção um amplo levantamento de dados e informações representativas das diversas dimensões envolvidas nos processos produtivos, bem como da condução de investigações que possibilitem um melhor entendimento dos sistemas ambientais.

Estas informações deverão subsidiar as etapas de planejamento, implantação e acompanhamento das políticas de gestão ambiental voltadas ao uso racional dos recursos naturais e ao ordenamento das intervenções no meio ambiente. Em função disso, as atividades relativas à análise de requisitos e levantamento de dados, visando a implementação de uma base de informações ambientais revestem-se de especial importância, uma vez que servirá de apoio as

demais ações voltadas ao gerenciamento ambiental, tais como o estabelecimento de indicadores de desenvolvimento sustentável, em conformidade com o que preconiza a Agenda 21 das Nações Unidas. Segundo este documento, tanto as agências governamentais no plano nacional quanto as organizações não governamentais no plano internacional devem desenvolver o conceito de indicadores de desenvolvimento sustentável a fim de futuramente viabilizar o uso desses indicadores nas contas nacionais.

Entretanto exatamente aí reside a maior dificuldade no estabelecimento desses indicadores, ou seja, na impossibilidade de estabelecer um único conceito, ou mesmo idéia dominante do que seja sustentabilidade, haja vista que esta é resultado das diferentes formas de percepção da sociedade frente a natureza e aos problemas ambientais que a afligem. Em relação a isso Braga (2002), afirma que *“uma primeira dificuldade diz respeito aos diferentes conceitos e concepções sobre o que seja sustentabilidade e qualidade ambiental, o que torna obscuro o processo de escolha das variáveis a serem utilizadas na mensuração.”*

Não obstante, a definição das variáveis voltadas a compor um modelo de avaliação da sustentabilidade compreende sobretudo a definição de critérios para a seleção dos diversos elementos envolvidos nos sistemas ambientais, considerando os mais significativos de acordo com os objetivos que orientam o modelo, bem como a sua disponibilidade e facilidade de compreensão a fim de possibilitar a participação da sociedade no processo de tomada de decisão. Ainda neste aspecto, merece atenção a forma de ponderação das variáveis selecionadas uma vez que possuem naturezas diversas e níveis de significância que podem ser modificados em função das prioridades do modelo de avaliação e da própria concepção de desenvolvimento sustentável internalizada nesse processo, pois conforme Marzall e Almeida (2000):

“Um aspecto determinante é a impossibilidade de determinar a sustentabilidade de um sistema considerando apenas um indicador, ou indicadores que se refiram a apenas um aspecto do sistema. A sustentabilidade é determinada por um conjunto de fatores (econômicos, sociais, ambientais, entre outros) que devem ser contemplados. Dessa forma, ao se avaliar a sustentabilidade, deve-se usar sempre um conjunto de indicadores (Bouni, 1996). Quantidade de indicadores que formarão o conjunto e os fatores a serem considerados como prioritários são aspectos que devem ser determinados pelos princípios de sustentabilidade que estão na base do processo (Marzall, 1999).” (Marzall e Almeida, 2000, p. 46.)

Por conseguinte, a implementação de indicadores apropriados à medição da sustentabilidade dos sistemas naturais envolve importantes questões de caráter teórico e

metodológico, além daquelas de ordem política, econômica e social. Em vista disso as investigações voltadas para a formulação de indicadores de sustentabilidade têm despertado a atenção de pesquisadores das mais diversas áreas do conhecimento, a fim de determinar mecanismos adequados para a mensuração dos níveis de manutenção dos recursos naturais em função das atividades econômicas. Nesse aspecto deve-se considerar a constatação de Merico (1997), que afirma:

“se para medir o crescimento econômico e o desenvolvimento humano os indicadores mais tradicionais já têm demonstrado fraquezas, e se pretendemos acrescentar mais uma variável, necessitamos de indicadores mais complexos. Estes indicadores devem dar conta da relação entre a manutenção e conservação dos recursos naturais e do meio ambiente e o nível e estilo do processo de produção adotado.” (Merico et al., 1997, p.152)

Isso sugere que a construção de indicadores de sustentabilidade ambiental demanda necessariamente a geração de conhecimento a partir de diferentes abordagens, a cerca do funcionamento e da capacidade de suporte dos sistemas naturais tendo em vista suas singularidades. No campo da Geografia o estudo de variáveis geomorfológicas, e morfométricas no âmbito das bacias hidrográficas, tanto quanto os conceitos de Geossistema, Ecodinâmica e as noções de equilíbrio/desequilíbrio dinâmico, grau de fragilidade e fragilidade potencial dos ambientes naturais, podem a partir do tratamento metodológico adequado, constituírem contribuições efetivas, passíveis de serem aplicadas na elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental. De igual maneira, a necessidade de delimitar a ocorrência de processos e fenômenos naturais, bem como em espacializar dados, ou ainda em compatibilizar informações de diferentes naturezas, padrões ou escalas entre outros procedimentos envolvidos na construção de indicadores de desenvolvimento sustentável, representam campos importantes nos quais o auxílio da Geografia torna-se indispensável.

Segundo Marzall e Almeida (2000), os trabalhos realizados nesse campo são ainda incipientes, tendo-se iniciado efetivamente apenas na segunda metade da década passada tendo a sua origem na Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio-92), a partir das recomendações constantes no seu documento final – a Agenda 21: *“dessa maneira os conceitos são novos e os resultados de pesquisas e experimentação, em grande parte dos casos não estão ainda disponíveis.”*

2.1. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

No processo de planejamento, o emprego de indicadores possibilita o monitoramento de diferentes tipos de sistemas, sobretudo aqueles de maior complexidade e que envolvem maior número de variáveis e não raramente são considerados pela sociedade como aqueles de maior importância. Por essa razão, considerando as afirmações de Bellen (2005), pode-se concluir que os indicadores encontram-se subordinados a um sistema de valores estabelecido pela sociedade através de seus governantes, os quais a partir desses valores estabelecem as metas a serem alcançadas e dessa forma definem os parâmetros de mensuração para o acompanhamento dos progressos nessa direção. Ainda de acordo com esse autor, o objetivo dos indicadores “*é agregar e quantificar informações de modo que sua significância fique mais aparente.*” Dessa forma considera os indicadores como um modelo da realidade, mas que não pode substituir a própria realidade, “*entretanto devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia coerente de mensuração.*” Em relação a isso Benbrook e Groth III (1996) *apud* Marzall e Almeida (2000) afirmam:

“[...] um indicador em si é apenas uma medida, não um instrumento de previsão, ou uma medida estatística definitiva, tampouco uma evidência de causalidade; eles apenas constataam uma dada situação. As possíveis causas, conseqüências ou previsões que podem ser feitas são um exercício de abstração do observador, de acordo com sua bagagem de conhecimento e sua visão de mundo.” (Marzall & Almeida, 2000, p.44)

De maneira geral, Santos (2004), define um indicador da seguinte forma: “*indicadores são parâmetros, ou funções derivadas deles, que têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio.*”, ou seja, corresponde a uma forma de percepção da realidade que se dá através de um conjunto de dados representativos de parâmetros capazes de traduzir o estado de um ambiente. Ainda segundo a *Environmental Protection Agency - EPA apud* Santos, (2004), “*indicadores medem o avanço em direção a metas e objetivos*”.

Alguns autores, tais como Chevalier *et al.* (1992) e Gallopin (1996), apresentam os indicadores no mesmo nível de variável, mesmo quando este indicador seja resultado da análise indireta de uma outra variável. Segundo Bellen (2005), uma variável é uma representação de um atributo em um determinado sistema, ou seja, uma abstração dele, sendo a sua relevância para a política e para o processo de tomada de decisão a sua principal característica e vantagem em relação a outras formas de informação. Essa relevância deve-se sobretudo a sua capacidade de

synthetizar uma grande quantidade de dados ou variáveis, agregando a elas significado. É o caso dos indicadores ambientais, aos quais Macedo (1995), define como sendo:

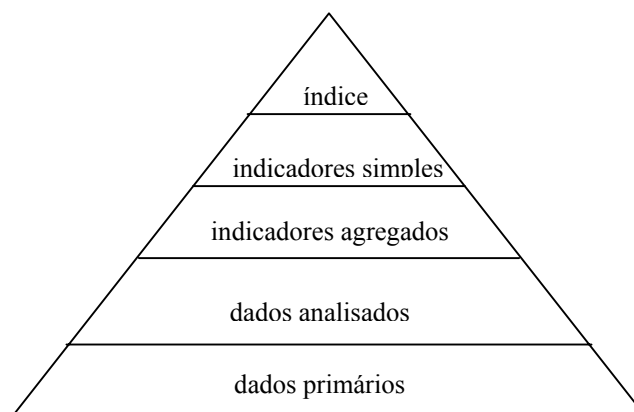
“variáveis, específicas a cada fator ambiental, que permitem a aferição das oscilações de comportamento e/ou de funcionalidade do fator, tornando-se o elemento mais adequado para a análise qualitativa e quantitativa das variações da qualidade ambiental de um ecossistema.” (Macedo, 1995, p.18.)

Contudo, para fins de avaliação ambiental, há a necessidade da definição dos atributos representativos desses fatores ambientais, assim como parâmetros de avaliação, a fim de permitir o acompanhamento das suas características no que se refere a aspectos qualitativos e/ou quantitativos.

A capacidade dos indicadores em agregar e relacionar dados de diferentes fontes, naturezas e escalas, torna essencial a organização e hierarquização desses elementos, a fim de conferir credibilidade e evitar redundâncias e discrepâncias de escala. Uma proposta de organização dos diferentes níveis de informação amplamente aceita, segundo Winograd (1995) e Hammond (1995), consiste na construção de uma pirâmide de informações, conforme apresentado na figura. 2. Nela devem serem estabelecidas as relações entre dados primários e indicadores levando em conta o seu grau de complexidade. Santos (2004), explica essa estrutura de organização da seguinte maneira:

“Em sua base estão concentrados os dados que, agregados, informam sobre os indicadores. Esses, por sua vez, são sintetizados em índices, organizando-se, dessa forma, conjuntos dependentes, com níveis crescentes de informação, sendo o ápice a forma mais simples de representar um conjunto complexo de dados. Quanto mais próximo do ápice, mais estruturada é a informação resultante da combinação de dados. Apesar de ser um conceito de fácil entendimento, não é tão fácil sua aplicação, pois a separação entre uma camada e outra nem sempre é evidente.” (Santos, 2004, p. 64)

FIGURA 2: PIRÂMIDE DE INFORMAÇÕES



Fonte: Adaptado de Santos (2004 e Bellen (2005)

A partir dessa estrutura é possível compreender as diferenças entre os principais níveis de informação, possibilitando uma melhor ordenação dos elementos a serem utilizados na construção dos indicadores. Dessa forma conclui-se que os índices constituem a melhor forma de apresentação das informações, pois são capazes, segundo Santos (2004) *“de simplificar, quantificar, comunicar e expressar de forma resumida fenômenos complexos, a partir da agregação de dados e informações”*. Sugerindo um conceito para índice pelo qual estes devam ser entendidos *“como o resultado da combinação de um conjunto de parâmetros associados uns aos outros por meio de uma relação pré-estabelecida que dá origem a um novo e único valor”*.

Nessa associação deve-se estabelecer pesos para cada parâmetro que irá formar o índice. Dessa forma, os índices diferenciam-se dos indicadores agregados justamente pela necessidade de estabelecer ponderações entre os parâmetros, ao contrário dos indicadores agregados. Já os indicadores simples são capazes de representar apenas um único parâmetro.

A definição quanto à utilização de indicadores agregados ou simples, ou a formulação de um índice depende do nível de análise que se pretende, se global, regional ou local, e está associada a questões econômicas, políticas, sociais, culturais e técnicas. Por exemplo, índices são de extrema utilidade para análises globais, contudo no seu processo de formulação podem haver inconsistências que não são facilmente percebidas ou são de difícil solução. Por conseguinte o uso de indicadores simples é muito recomendado para o monitoramento de problemas específicos onde seja necessário implementar ações pontuais e localizadas. Nesse sentido Bossel apud Bellen (2005), considera que os indicadores agregados afastam-se dos problemas e tem maiores dificuldades para articular estratégias de ação voltadas a problemas específicos havendo também maiores chances de possuírem problemas conceituais. Por isso, a construção de indicadores, deve estar ancorada sobre sólida base conceitual, a fim de nortear os procedimentos operacionais das diversas etapas necessárias a sua implementação, tais como: definição de variáveis, escala de trabalho, levantamento de dados, modelagem do sistema e definição das ponderações necessárias, etc.

O emprego adequado de indicadores é capaz de possibilitar a execução de inúmeras análises, inclusive de caráter preventivo, tal como a construção de cenários e tendências, o que permite agilizar as ações a serem implementadas na solução de problemas ou mesmo a avaliação de uma determinada realidade em relação as metas previamente estipuladas. A utilização de

indicadores permite ainda a obtenção de informações relevantes, tais como a evolução de projetos ou processos, ou ainda o acompanhamento de problemas de naturezas diversas a partir de determinados parâmetros, fornecendo respostas a temas complexos com certa precisão. Havendo portanto a necessidade de um constante aperfeiçoamento desses instrumentos de avaliação.

A utilização de indicadores foi motivada, num passado recente, em grande parte pela necessidade do Estado avaliar o nível de desenvolvimento socioeconômico e acompanhar o resultado das políticas públicas adotadas. Essa atuação de controle e planejamento estatal inseria-se no contexto das políticas de “*welfare state*” implementadas em diversos países capitalistas nas décadas de 1960 e 1970 em oposição ao modelo socialista existente nos países do leste europeu nessa época. Em razão disso, Martins (2005) considera que:

“[...] o desenvolvimento da pesquisa sobre indicadores sociais deve-se, sobretudo, à necessidade de informações para o planejamento e a execução de políticas públicas concernentes à melhoria da qualidade de vida, buscando-se dados que possam esclarecer, da forma mais precisa possível, a dinâmica de processos e as estruturas, os objetivos, as opiniões e os valores de cada sociedade específica”. (Martins, 2005, p. 26.)

Ainda segundo esse autor, a utilização de indicadores inicialmente foi mais acentuada na esfera econômica, porém logo passou a ser aplicado na análise de aspectos sociais e demográficos. Entretanto, após o uso generalizado dos indicadores nas décadas 1960 e 1970, motivado pela atuação mais incisiva do estado neste período, na década de 1980, em função da crítica liberal à gestão estatal e aos seus instrumentos de avaliação, os estudos envolvendo indicadores passaram a um segundo plano. Sendo contudo retomados a partir da década de 1990, através da atuação de organismos internacionais, os quais passaram a recomendar a adoção de indicadores a partir de uma perspectiva socioambiental. Neste sentido, Martins (2005) afirma:

“A reconsideração sobre conceitos de bem-estar e qualidade de vida, ligados agora a uma visão ecológica, ou seja, integrando as dimensões social, econômica e ambiental do desenvolvimento sustentável é uma das tendências fortes que têm despontado no cenário da pesquisa sobre indicadores.” (Martins, 2005, p.27)

Considerando esse enfoque, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em vista da importância da disponibilidade de indicadores ambientais consistentes, trata deste tema no Capítulo 40 de seu documento síntese - a Agenda 21. Neste documento constatou-se que embora houvesse uma quantidade considerável de dados em nível local, regional e mundial havia também uma grande desigualdade na disponibilidade destes dados

entre os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento. Em função das carências verificadas quanto à disponibilidade e acesso a dados ambientais necessários a formulação de indicadores, a Agenda 21 recomenda que os diversos órgãos do sistema das Nações Unidas em conjunto com outras instituições interessadas, governamentais ou privadas desenvolvam um conjunto apropriado de indicadores para os diversos planos de atuação (nacional, regional e mundial), visando sua utilização de forma generalizada. Além disso, propõe a elaboração de inventários de dados ambientais e o reforço nas atividades de monitoramento do meio ambiente.

Tomando por base essas recomendações, a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Commission Sustainable Development – CSD) publicou em 1996 o documento Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – estrutura e metodologia, no qual apresentava um conjunto de 134 indicadores econômicos, sociais e ambientais. Em 1999 esta listagem foi revista para permitir uma maior flexibilidade aos países na elaboração de seus índices, passando a propor, então, um conjunto de 57 indicadores. No Brasil, a Diretoria de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, trabalha na construção de Indicadores de Sustentabilidade visando a formulação de um conjunto de indicadores capaz de mensurar o padrão de desenvolvimento brasileiro, bem como determinar um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a equidade social e a proteção ao meio ambiente.

Busca-se portanto a elaboração de indicadores que internalizem as interações homem-natureza abrangendo aspectos sociais, econômicos e ambientais, com maior alcance daqueles tradicionalmente utilizados, tendo em vista determinar os níveis de exploração da natureza decorrente das atividades humanas e a capacidade de resiliência do meio ambiente, uma vez que, a formulação de instrumentos de apoio à decisão, constitui etapa fundamental na direção a um modelo sustentável de desenvolvimento.

Segundo Martins (2005), *“a construção de indicadores e índices que levem em conta a problemática ambiental está relacionada com as concepções mais atuais sobre qualidade de vida e bem-estar”*. Nesse sentido a geração de indicadores, ainda que represente uma ferramenta de importante valor à análise ambiental, deve ser utilizada de forma criteriosa a partir de um referencial teórico e metodológico adequado, sem perder de vista as limitações dessas técnicas, sobretudo quando aplicadas aos sistemas naturais. Observa-se ainda, na geração de indicadores de sustentabilidade, ser necessário obedecer determinadas condições a fim de conferir

determinadas características essenciais para a consistência das informações geradas através de tais instrumentos de avaliação.

Para a *Organisation for Economic Co-operation And Development - OECD apud Fundação Getúlio Vargas - FGV* (2000), o processo de acompanhamento do desenvolvimento sustentável é complexo e multidimensional. Ainda segundo a terminologia adotada pela OECD (2003) os indicadores de desenvolvimento sustentável possuem duas funções principais: reduzir o número de medições e parâmetros que normalmente é requerido para representar uma situação e simplificar o processo de comunicação pelo qual os resultados das medições são repassados aos usuários. Da mesma forma a OECD define os indicadores de desenvolvimento ambientalmente sustentável da seguinte forma:

*“a parameter, or a value derived from parameters, which points to, provides information about, describes the state of a phenomenon/environment/area, with a significance extending beyond that directly associated with a parameter value.”*⁴ (OECD, 2003, p. 5)

No Brasil, o IBGE através de sua Divisão de Geografia e Cartografia – DGC, tem elaborado nos últimos anos um guia relativo aos indicadores de desenvolvimento sustentável utilizados no país. Esse guia consiste de um conjunto de indicadores capazes de expressar as diferentes abordagens da sustentabilidade. De acordo com a DGC/IBGE, um dos desafios na construção do desenvolvimento sustentável é o de criar instrumentos de mensuração, tais como indicadores de desenvolvimento. Esses indicadores são conceituados da seguinte forma pela DGC/IBGE:

“Indicadores são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem. Indicadores de desenvolvimento sustentável são instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável.” (DGC/IBGE, 2004, p. 10)

Não obstante, Gallopin *apud* Bellen (2005), considera os indicadores de desenvolvimento como “*componentes de avaliação do progresso em relação a um desenvolvimento dito sustentável*”. Sendo que a utilização “*deve se dar em função da sua disponibilidade e custo de obtenção*.” Para esse autor, a função primordial dos indicadores de sustentabilidade consiste em “*apoiar e melhorar a política ambiental e o processo de tomada de decisão em diferentes níveis*”, ou seja, considera que a importância dos meios de avaliação é a de informar os gestores sobre o seu desempenho em relação aos objetivos estabelecidos, fornecendo as bases para o

planejamento de futuras ações. De acordo com Bellen (2005), essas medidas são úteis pelos seguintes motivos:

- *Auxiliam os tomadores de decisão a compreender melhor, em termos operacionais, o que o conceito de desenvolvimento sustentável significa.*
- *Auxiliam na escolha de alternativas políticas, direcionando para metas relativas à sustentabilidade, funcionando como ferramentas de planejamento.*
- *Avaliam o grau de sucesso no alcance das metas estabelecidas referentes ao desenvolvimento sustentável.*

Portanto a principal função dos indicadores de desenvolvimento sustentável é apoiar e otimizar o processo de tomada de decisão nos seus diferentes níveis através da definição de políticas, objetivos e prioridades. Estes mecanismos, segundo Gallopin (1997) têm sido aplicados sobretudo nos níveis nacional e internacional, mas também podem ser utilizados em outras esferas de poder.

Dessa forma, os indicadores de sustentabilidade ambiental, têm sido cada vez mais recomendados para a condução de ações que estejam voltadas para a solução de problemas ambientais, pois permitem de acordo com Santos (2004), “*criar cenários sobre o estado do meio, aferir ou acompanhar os resultados de uma decisão tomada*”. Segundo essa autora a implementação de indicadores de sustentabilidade de forma adequada possibilita a geração de indicativos bastante consistentes tanto do estado atual do ambiente, como das suas alterações. Podem ainda, dependendo do nível de análise apontar as possíveis causas envolvidas nessas alterações.

Por isso, a definição de indicadores, passou a constituir etapa fundamental no processo de gestão ambiental, pois através destes instrumentos de avaliação é possível analisar o desempenho obtido através das ações desenvolvidas, bem como estabelecer metas ou mesmo reordenar as políticas implementadas visando melhores resultados na busca pelo desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, Bellen (2005), afirma:

“Medições são indispensáveis para que o conceito de desenvolvimento sustentável se torne operacional. Elas podem ajudar os tomadores de decisão e o público em geral a definir os objetivos e as metas do desenvolvimento e permitir a avaliação do desenvolvimento na medida em que alcance ou se aproxime destas metas. A mensuração também auxilia na escolha entre alternativas políticas e na correção da direção política, em alguns casos, em resposta a uma realidade dinâmica. As medidas fornecem uma base empírica e quantitativa de avaliação da performance e permitem comparações no tempo e no espaço, proporcionando oportunidades para descobrir novas correlações.” (Bellen, 2005, p. 54)

No processo de definição de indicadores de sustentabilidade deve-se buscar explorar os conceitos de desenvolvimento sustentável e de sustentabilidade, pois constituem fatores determinantes na interpretação dos indicadores. A abordagem desses conceitos possibilita uma melhor compreensão do processo e contribui para um maior comprometimento dos usuários de tais instrumentos com as metas estabelecidas na base do processo. Por conseguinte, Marzall & Almeida (2000), enumeram os resultados que uma avaliação que vise caracterizar e analisar um determinado sistema deve permitir:

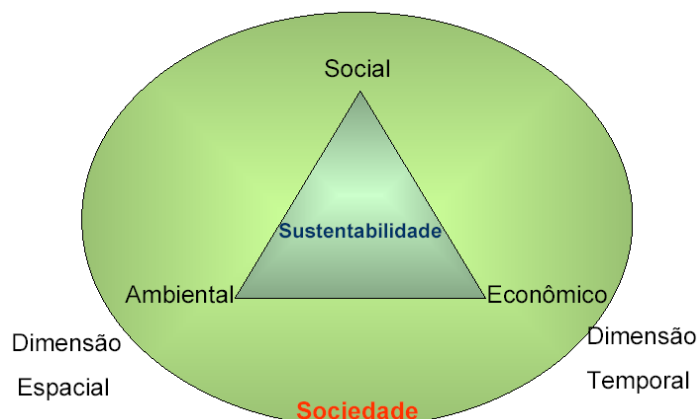
- i. *quantificar fenômenos complexos;*
- ii. *simplificar mecanismos e lógicas atuantes na área considerada;*
- iii. *determinar como as ações humanas afetam seu entorno;*
- iv. *alertar para as situações de risco e conseqüentemente mobilização dos atores envolvidos;*
- v. *prever situações futuras;*
- vi. *informar e guiar decisões políticas.*

Nas rotinas de planejamento ambiental, existem inúmeras variáveis a serem consideradas, em função disso o processo de seleção das variáveis voltadas a construção de indicadores ambientais deve obedecer critérios específicos levando em conta a natureza dos dados e os propósitos da avaliação. Nesse aspecto, Braga *et. al.* (2002), afirma que:

“As tentativas de construção de indicadores ambientais e de sustentabilidade seguem três vertentes principais. A primeira delas, de vertente biocêntrica, consiste principalmente na busca por indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas. A segunda, de vertente econômica, consiste em avaliações monetárias do capital natural e do uso de recursos naturais. A terceira vertente busca construir índices de sustentabilidade e qualidade ambiental que combinem aspectos do ecossistema natural a aspectos do sistema econômico e da qualidade de vida humana, sendo que em alguns casos, também são levados em consideração aspectos do sistema político, cultural e institucional.”
(Braga *et al.*, 2002, p.2)

Na elaboração de indicadores de desenvolvimento sustentável a terceira vertente se apresenta mais apropriada, pois essa abordagem mais ampla permite uma representação mais próxima da realidade, haja vista, que ao tempo em que considera os sistemas ambientais também não negligencia outros fatores envolvidos, permitindo dessa forma uma análise capaz de mensurar a sustentabilidade do modelo de desenvolvimento expressando, ainda que de forma aproximada, toda a sua dimensão. Essa vertente pode ser esquematizada a partir da figura 3, onde são apresentados os principais aspectos envolvidos no desenvolvimento sustentável.

FIGURA 3 : ASPECTOS DETERMINANTES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Fonte: EMBRAPA Monitoramento por Satélite – obtido em: <http://www.is.cnpem.br>

Entretanto, essa abordagem, torna necessário o levantamento e análise de um amplo conjunto de variáveis de naturezas diversas e provenientes de diferentes fontes de dados, o que implica no ordenamento e classificação desses dados observando entre outros fatores, aqueles sugeridos por Santos (2004), tais como a sua confiabilidade, recorrência, limiares ou valores de referência, escala espacial e temporal, representatividade, disponibilidade, acesso aos dados e os custos de levantamento e tratamento dos dados.

Deponti *et. al.* (2002), em estudo visando estabelecer estratégias para a construção de indicadores, relacionam as principais características a serem consideradas na formulação de indicadores:

- Ser significativo para a avaliação do sistema;
- Ter validade, objetividade e consistência;
- Ter coerência e ser sensível a mudanças no tempo e no sistema;
- Ser centrado em aspectos práticos e claros, fácil de entender e que contribua para a participação da população local no processo de mensuração;
- Permitir enfoque integrador, ou seja, fornecer informações condensadas sobre vários aspectos do sistema;
- Ser de fácil mensuração, baseado em informações facilmente disponíveis e de baixo custo;
- Permitir ampla participação dos atores envolvidos na sua definição;
- Permitir a relação com outros indicadores, facilitando a interação entre eles.

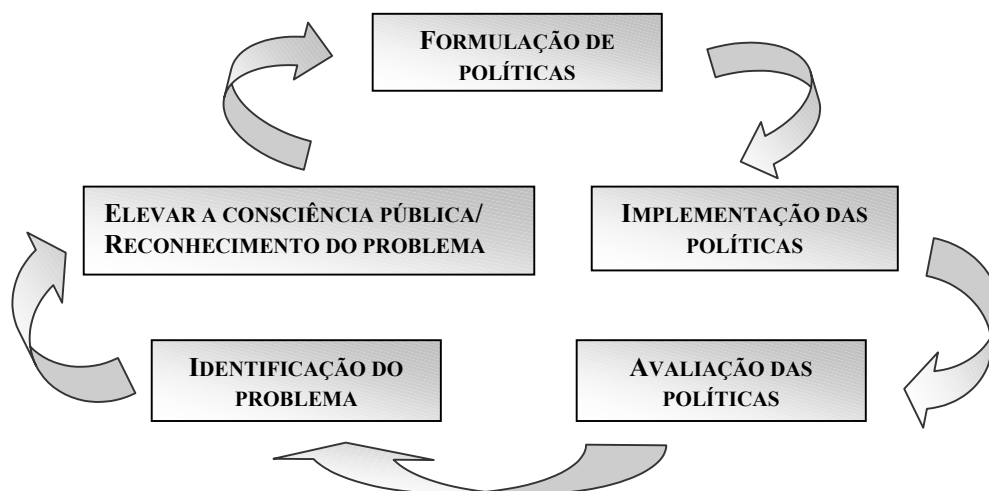
A formulação de sistemas de indicadores implica, por sua vez, no estabelecimento de padrões de referência que possibilitem avaliar o nível de sustentabilidade, ou seja, capaz de determinar os avanços na relação sociedade X natureza, já que é a partir do aperfeiçoamento dessa interação que devem ser construídas as bases para o desenvolvimento sustentável, o que permite a Bellen (2005), afirmar que: “o próprio processo de desenvolvimento de indicadores de

sustentabilidade deve contribuir para uma melhor compreensão do que seja exatamente desenvolvimento sustentável". Por isso torna-se importante uma clara definição conceitual sobre desenvolvimento sustentável capaz de abranger os aspectos ecológicos, econômicos, sociais, culturais, políticos, etc., assim como determinar as escalas de análise geográfica e temporal e o padrão de mensuração correspondente, ou seja, as unidades de medidas adotadas em cada nível de análise (global, nacional, regional, local, etc.).

Os sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável têm sido elaborados sobretudo para aplicação em escala nacional, entretanto, as particularidades existentes em cada país impedem sua simples reprodução, dessa forma, segundo Gallopin (1997), os principais desenvolvimentos desses indicadores estão voltados para o nível sub-nacional. Ainda, segundo esse autor, os indicadores devem ser facilmente compreensíveis pois constituem um meio de comunicação e dessa forma requerem entendimento por todos os participantes para que possibilite avançar em direção ao desenvolvimento sustentável. Portanto, os indicadores precisam ser transparentes e os usuários capacitados a fim de compreender por conta própria o seu sentido e significado.

Advém daí a necessidade de estruturar a informação e estabelecer um sistema de mensuração capaz de balizar as ações em direção aos objetivos definidos em um planejamento que tenha por finalidade a construção de um modelo sustentável de desenvolvimento. Para isso, é imprescindível que o processo de seleção, classificação e hierarquização do conjunto de indicadores relativo aos componentes do meio ambiente seja realizado levando em conta a natureza e relevância dos aspectos específicos de cada um desses elementos em relação à sustentabilidade. A fim de apoiar esse processo de avaliação, torna-se necessário implementar sistemas de informações adequados e compatíveis com a racionalidade do grupo social. Nesse aspecto, de acordo com Moldan (1997), o processo de tomada de decisão ocorre em todos os níveis de governo e nas diversas esferas da sociedade e são influenciados por seus valores, tradições, preconceitos e inumeráveis "inputs" de varias direções, sendo que a informação representa um papel crucial nesse processo. Dessa forma, a efetividade e racionalidade do processo podem ser aumentadas substancialmente pelo uso da informação apropriada. Ou seja, os indicadores podem ajudar provendo ferramentas para cada fase do ciclo de processo decisório. Moldan (1997), apresenta essa capacidade através do esquema da figura 4 a seguir:

FIGURA 4 : CICLO DE TOMADA DE DECISÃO



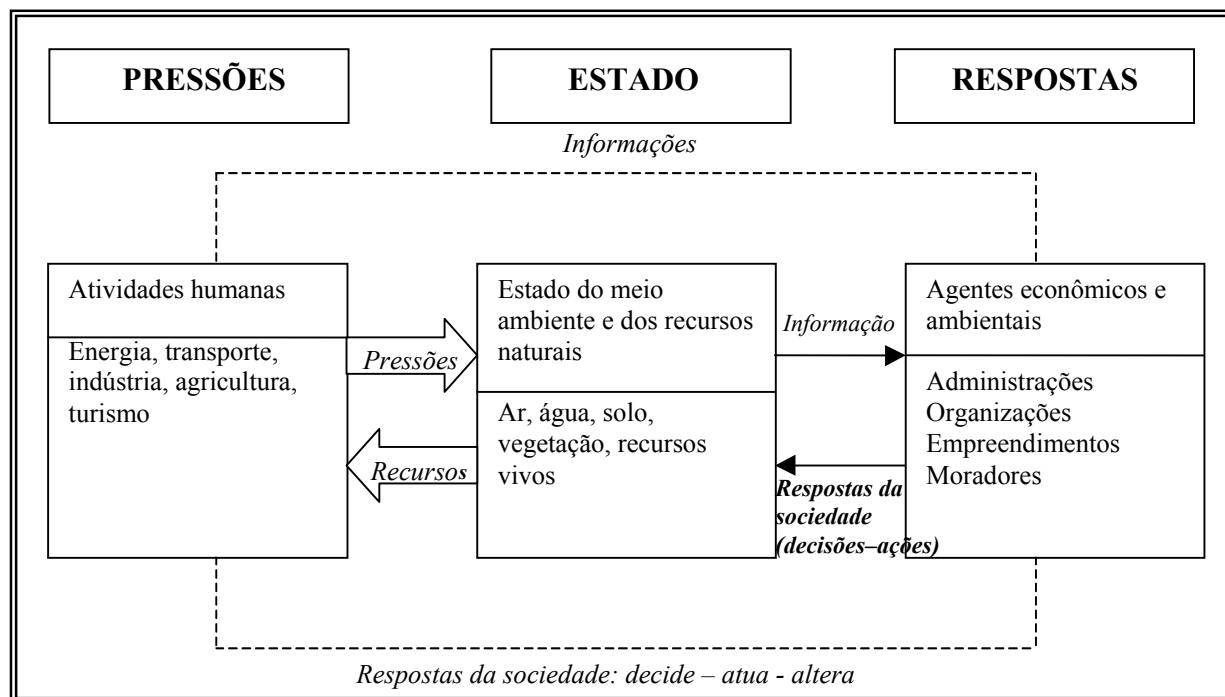
Fonte: Adaptado de Moldan, 1997.

O entendimento desse processo é importante no sentido de orientar a produção de indicadores, a fim de torná-los capazes não só de apontar os problemas ambientais existentes, mas sobretudo possibilitar a geração de conhecimento a cerca da dimensão e das conseqüências dos desequilíbrios, assegurando dessa forma condições para a tomada de consciência pelo conjunto da sociedade de sua responsabilidade perante o meio ambiente e a necessidade de implementar políticas ambientais adequadas. Nesse aspecto, os sistemas de indicadores de sustentabilidade, ainda que imperfeitos, permitem, através de métodos quantitativos, a compreensão das interações *sociedade X natureza* na trajetória do desenvolvimento sustentável, fazendo-se dessa forma necessário um maior conhecimento a respeito dos sistemas de indicadores, suas metodologias, aplicações e limitações.

O sistema mais usual de estruturação dos indicadores de desenvolvimento sustentável de acordo com Santos (2004), é o modelo PER – Pressão–Estado–Resposta, proposto pela OECD em 1995, segundo este modelo os indicadores devem ser organizados em três grupos: **indicadores de pressão** – aqueles relacionados às atividades humanas, os processos e padrões de produção e consumo que impactam o desenvolvimento sustentável; **indicadores de estado** – aqueles relacionados ao estado do meio ambiente, dos recursos naturais e das condições de vida das populações; **indicadores de resposta** – aqueles que indicam as opções políticas e as respostas da sociedade visando mitigar as pressões ou alterar o estado em busca do desenvolvimento

sustentável. Os sistema de indicadores estruturados a partir dessa metodologia obedece ao esquema apresentado na figura 5 a seguir:

FIGURA 5 : MODELO PRESSÃO – ESTADO - RESPOSTA



Fonte: Adaptado de OCDE, 1994 apud Santos, 2004, p. 68 e FGV, 2000, p.18

Segundo estudo do Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável – CIDS da FGV (2000), este modelo está ancorado sobre uma noção de causalidade das pressões desencadeadas pelas atividades humanas sobre a natureza, promovendo alterações no estado do meio ambiente através de modificações na qualidade e na quantidade dos seus recursos naturais. Em reação aos fatores de pressão e estado, a sociedade responde através da adoção de políticas ambientais, econômicas ou setoriais, visando deter, reverter, mitigar ou prevenir os efeitos negativos da sua própria ação sobre o meio ambiente. Contudo, esse mesmo estudo, considera que apesar do modelo PER explicitar estas ligações de forma muito prática, ele sugere uma linearidade nas relações entre as atividades humanas e o meio ambiente, o que não ocorre dessa forma, pois as relações dentro dos ecossistemas e dentro das interações meio ambiente – economia são bem mais complexas. Outra dificuldade desse modelo, segundo Santos (2004), é categorizar um indicador em apenas um único grupo, pois muitas vezes o mesmo indicador pode representar (medir) fatores correspondentes a pressão, resposta ou mesmo estado.

A fim de otimizar o modelo PER, visando o acompanhamento das relações entre sociedade e meio ambiente, diversos autores têm proposto adaptações, correções ou modificações na sua estrutura. Nesse aspecto, Santos (2004), descreve as propostas de Winograd (1995) e Smeets e Weterings (1999), o primeiro autor, propõe a inclusão de mais uma dimensão àquelas já estabelecidas no modelo PER passando a ser denominado PEI/ER – pressão-estado-impacto/efeito-resposta, pois além dos fatores pressão-estado-resposta, passou a considerar também “*indicadores de impactos/efeitos recíprocos das atividades humanas e o meio ambiente*” (FGV, 2000), ou seja, impactos sobre o meio ambiente e a sociedade. Já os outros dois autores, sugerem uma adaptação no modelo PER para força condutora-Pressão-estado-impacto-resposta, nessa proposta a novidade é o conceito de força condutora que é o agente indutor do desenvolvimento na sociedade e as correspondentes mudanças no estilo de vida, níveis de consumo e padrões de produção.

Da mesma forma, também outros autores propõem modelos diferenciados voltados para o monitoramento do meio ambiente e à construção de sistemas de indicadores. Entretanto, apesar das inúmeras propostas e esforço em pesquisa e desenvolvimento, são muitas as dificuldades envolvidas na aplicação prática dos modelos de indicadores de sustentabilidade, quer seja pela dificuldade de se obter as informações necessárias, ou mesmo indicadores ajustados aos modelos propostos. Por isso faz-se necessário compreender as limitações inerentes a qualquer sistema de indicadores, por mais sofisticado que possa ser, sobretudo quando sua aplicação é direcionada aos sistemas ambientais. Assim mesmo, o seu emprego é fundamental, pois permite maior eficiência na avaliação ambiental e, por conseqüência, no processo decisório.

Segundo Meadows (1998), existem várias limitações na utilização de indicadores. Devido a sua própria natureza, os indicadores representam aproximações referentes a uma determinada realidade, dessa forma seu significado deve ser interpretado considerando que uma de suas funções é a de simplificar a informação. Em decorrência disso, Bossel *apud* Bellen (2005), afirma que uma das principais limitações dos indicadores de sustentabilidade é a perda da informação vital, sobretudo quando busca-se agregar toda a informação em apenas um índice. Segundo esse autor, é necessário mais do que um indicador para capturar os aspectos mais importantes de uma situação, não sendo possível representar toda a realidade através de um único indicador simples. Meadows (1998), no entanto considera que um dos principais problemas relacionados ao uso dos

indicadores consiste na sua seleção, pois indicadores inadequados conduzem a sistemas com problemas. As considerações dessa autora quanto a utilização dos sistemas de indicadores evidencia sua relevância como instrumento de avaliação:

*“Indicators are hard to define. They are based on uncertain models. Their selection and use are full of pitfalls. They carry different messages don’t mean, however, that we shouldn’t use indicators. We have no choice. Without them we fly blind. The world is too complex to deal with all available information. We have to choose a set of indicators small and meaningful enough to comprehend. Rather than discourage us, the pitfalls and difficulties should give us ideas about how design better indicators, and motivation to do so.”*⁵
(Meadows, 1998, p.10.)

Ainda em relação a viabilidade do uso de indicadores, existem alguns obstáculos envolvidos na sua aplicação prática, tais como aqueles decorrentes de escalas de trabalho, compatibilização de dados de origens diversas, além da necessidade de adaptações nos sistemas visando sua utilização em nível local, haja visto que tais sistemas são desenvolvidos sob um enfoque extremamente generalizado. Contudo, o principal fator a ser observado na utilização de indicadores é a metodologia aplicada no seu desenvolvimento, devendo o seu significado ser interpretado em conformidade com o modelo que o originou, pois um indicador consiste de uma forma simbólica, obtido através de um esquema representativo a partir do qual é possível abstrair a realidade, residindo aí sua principal vantagem como ferramenta de análise ambiental.

2.2. A GEOGRAFIA COMO SUPORTE METODOLÓGICO PARA A FORMULAÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

O aspecto dinâmico do desenvolvimento permite associá-lo a idéia de mudança, pois, da mesma forma que a sociedade, as técnicas e os valores se transformam, o ambiente também se transforma. Com base nisso, justifica-se que através das interações entre os sistemas naturais e socioeconômicos, inseridos em um processo dinâmico de mudança, devam ser estabelecidos os mecanismos para o controle e a gestão necessários à construção de um modelo sustentável.

A temática da sustentabilidade, em parte pelas incertezas que a cercam, tem sido abordada sob diferentes enfoques. Ainda que tradicionalmente a abordagem predominante concentre-se no campo da economia ambiental, sua influência na formulação das políticas de desenvolvimento, bem como em inúmeros outros campos de atuação da sociedade, ensejou que outras áreas do conhecimento também buscassem abordar esse tema. Entretanto, mesmo com a diversidade de

abordagens, o conceito de desenvolvimento sustentável ainda é bastante impreciso, sendo objeto de diversas interpretações.

Entre as possíveis abordagens referentes à questão da sustentabilidade ambiental algumas das mais relevantes são formuladas sob o enfoque da economia que ancoradas no uso e na distribuição dos recursos naturais, concebem o meio ambiente como um estoque de recursos a ser explorado. Nesse sentido, preocupam-se com o estabelecimento de uma escala apropriada de exploração, recorrendo aos mecanismos de mercado. Igualmente importante é a abordagem da questão da sustentabilidade a partir de uma perspectiva social através da qual se busca enfatizar a condição humana, focando a questão da qualidade de vida e a equidade social, ou ainda a partir de uma percepção ambientalista destacando os impactos causados pelas atividades humanas.

A Geografia, por sua vez, permite abordar a questão da sustentabilidade a partir de uma perspectiva que enfatiza os aspectos referentes à distribuição das atividades econômicas e dos assentamentos humanos, considerando a qualidade de vida das populações e os reflexos sobre a organização espacial. Tendo em vista que, para a Geografia, a organização espacial é a melhor expressão das interações entre os sistemas socioeconômico e ambiental, pois de acordo com CORRÊA (1990), “*a organização espacial é a própria sociedade espacializada*”. Segundo esse autor é através das relações existentes na sociedade que esta irá se relacionar com a natureza. Também Christofolletti (1999), ressalta a importância da organização espacial, para ele, esta compreende a estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos, sociais e econômicos constituindo os sistemas espaciais da mais alta complexidade. Entretanto um fator complicador que se coloca a essa abordagem consiste no fato de que a busca pela sustentabilidade ambiental não ocorre de maneira uniforme, perpassando todos os níveis da sociedade ou abrangendo a todos os subsistemas que compreendem a organização espacial. Em relação a isso, consideramos a afirmação de Bellen (2005), quando este analisa a complexidade em definir uma concepção de sustentabilidade, afirmando que:

“Existem múltiplos níveis de sustentabilidade, o que leva à questão da inter-relação dos subsistemas que devem ser sustentáveis, o que, entretanto, por si só, não garante a sustentabilidade do sistema como um todo. É possível observar a sustentabilidade a partir de subsistemas como, por exemplo, dentro de uma comunidade local, um empreendimento industrial, uma ecorregião ou uma nação, entretanto deve-se reconhecer que existem interdependências e fatores que não podem ser controlados dentro das fronteiras desses sistemas menores.” (Bellen, 2005, p.27)

A noção de espacialidade inserida na questão da sustentabilidade está vinculada sobretudo a necessidade de organizar as informações necessárias à gestão territorial em âmbito local, regional ou nacional. Não obstante, a necessidade de informações para o controle e gestão por parte do estado obedece aos limites legais. Entretanto, quando esta noção de espaço é inserida na questão da sustentabilidade é necessário considerar que na maioria das vezes os limites administrativos não coincidem com os limites dos sistemas ambientais. Esta realidade constitui certa limitação à abordagem geográfica da sustentabilidade ambiental, sendo possível de ser superada a partir da consideração de unidades físicas que sejam apropriadas a análise ambiental e da compatibilização dos limites legais a essas unidades.

Por conseguinte, a adoção de uma perspectiva geográfica possibilita a realização de análises que considerem os aspectos integradores entre a sociedade e a natureza, ou seja, uma abordagem multi-dimensional a cerca das interações e as conseqüências dessas sobre o equilíbrio dos sistemas naturais. Essa perspectiva exige, portanto, a elaboração de investigações a cerca do funcionamento desses sistemas a fim de determinar o equilíbrio, a capacidade de suporte e recuperação, bem como as relações internas e externas desses sistemas, demandando portanto a geração de conhecimento a cerca dos sistemas naturais nos diversos níveis de organização da sociedade, ou seja, desde o local até o nível global. A esse respeito, Bellen (2005), reconhece as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável e a necessidade de informação para os diferentes níveis de decisão.

“O desenvolvimento sustentável deve ser entendido como desenvolvimento econômico progressivo e balanceado, aumentando a equidade social e a sustentabilidade ambiental, e os tomadores de decisão que atuam nos diferentes níveis de gestão (local, regional, nacional e internacional) precisam de informações nesse processo. (Bellen, 2005, p.55)

Não obstante, se a alteração do modelo de desenvolvimento atual para um modelo sustentável está condicionada à geração de conhecimento e informação a cerca dos sistemas naturais, também a construção desse conhecimento auxilia na formulação das bases para o desenvolvimento sustentável. Para esse fim, a formulação de indicadores de sustentabilidade, ainda que com certas limitações na representação da complexidade, é instrumento fundamental na compreensão das interações entre a sociedade e a natureza, os quais estão no centro desse processo de mudança.

Entretanto, para que os indicadores possam refletir as interações entre sociedade e meio ambiente na sua totalidade, possibilitando seu emprego pelas diferentes esferas de decisão, é necessário definir os parâmetros de análise, individualizando o sistema ambiental a partir de suas especificidades, bem como definir as escalas de análise a serem utilizadas de acordo com o nível de complexidade do estudo. A definição desses parâmetros é essencial para o levantamento de variáveis, ou seja, para a formação de uma base de dados necessária para a mensuração da sustentabilidade.

Ocorre que um dos obstáculos identificados na geração e aplicação dos indicadores de sustentabilidade para o gerenciamento dos recursos ambientais, diz respeito aos entraves para obter os dados necessários a formação de uma base de dados adequada para atender as diferentes esferas de decisão, principalmente em nível local devido as dificuldades em ajustar as estatísticas nacionais à escala local. Esta dificuldade pode ser retratada por Besserman (2003), a partir da seguinte afirmação:

“Quando a degradação do meio ambiente é local, o tipo de informação necessária sobre as mudanças físicas e sobre a perda de qualidade de vida das populações atingidas também é local, o que dificulta a atenção dos sistemas estatísticos nacionais. No mundo desenvolvido, como já vimos, órgãos locais de governo, instituições científicas ou ONGs têm trabalhado para produzir essas informações, e os avanços na tecnologia de georreferenciamento têm permitido aproveitar estatísticas socioeconômicas e localizá-las adequadamente. No mundo em desenvolvimento, os esforços bem-sucedidos são mais raros.” (Besserman, 2003, p.94).

A partir dessa afirmação, percebe-se a importância da espacialização das informações no processo de tomada de decisão e conseqüentemente na formulação de indicadores de sustentabilidade. Nesse aspecto, quando a questão da sustentabilidade é tratada a partir do enfoque metodológico da Geografia, essa passa a assumir uma racionalidade que privilegia sua expressão espacial e as conseqüências dessa espacialidade. Passando, então, a demandar investigações voltadas a avaliar o quanto determinada atividade, comportamento ou modelo de desenvolvimento pode ser sustentável em função das condições de suporte do sistema natural no qual esta inserido.

Portanto, na trajetória rumo a um modelo sustentável de desenvolvimento, torna-se imprescindível à elaboração de estudos voltados a reconhecer os limites e as dinâmicas do meio ambiente a fim de implementar sistemas de monitoramento e definir modelos de análise capazes de oferecer as respostas necessárias à tomada de decisão. Bermudez (2002), já chamava a atenção

sobre a importância das investigações referentes ao funcionamento dos sistemas naturais, afirmando o seguinte:

*“Sin embargo, la humanidad y sus sistemas económicos son un subsistema dependiente de la ecosfera, es decir, que todos los seres vivos están insertos en la naturaleza. La humanidad depende de la naturaleza y no a la inversa. Buscar y alentar a las sociedades e investigadores de todo el mundo a conocer el funcionamiento de los sistemas naturales, a conservar la integridad y la diversidad de la naturaleza y asegurar la gestión y uso de los recursos naturales de modo equitativo y durable, es un desafío y puede convertirse en la conquista ambiental y social del siglo XXI.”*⁶ (Bermudez, 2002, p. 134-135)

Sobre isso, Bermudez (2002), também ressalta a necessidade da Geografia investigar, conhecer, explicar e difundir a funcionalidade e o valor da natureza, bem como a relação dos humanos com ela, contribuindo, dessa forma, com sua conservação e o uso sustentável dos recursos naturais, pois considera este, um dos maiores desafios deste início de século colocados a Geografia enquanto ciência ambiental e socialmente útil. A capacidade da Geografia em responder a tais questões, e em particular a Geografia Física, reside em seus aspectos de transversalidade, constituindo segundo esse autor, uma fronteira entre as ciências naturais e sociais. Contudo a complexidade dos sistemas naturais e dos problemas que incidem sobre eles torna imperativa a atuação conjunta dos diversos ramos das ciências na busca de soluções para as questões relacionadas ao meio ambiente.

Frente a crescente necessidade em fornecer respostas adequadas às questões ambientais, a Geografia experimentou nos últimos decênios uma modernização a partir da adoção de técnicas automatizadas oportunizadas pelo emprego da informática. Segundo Gregory (1992), estas tecnologias promoveram significativos avanços na aquisição e na análise de dados sobre o meio ambiente físico, a fim de destacar estes avanços afirma:

“Os microchips e os microcomputadores oferecem potencial enorme na amplitude e na velocidade da análise como também na coleta dos dados, como mágica eletrônica sendo utilizada para monitoria de campo. O sensoriamento remoto, que tem fornecido inputs à Geografia Física desde o final dos anos está atualmente capacitado a fornecer informações maiores e melhores no contexto analítico do meio ambiente, pois a nova geração de satélites oferece resolução maior e começa a competir com as pesquisas de campo, oferecendo recobrimentos repetidos a cada 18 dias, o que nenhuma pesquisa de campo pode oferecer. Utilização maior também pode ser feita da ampliação do espectro eletromagnético com radares fornecendo rapidamente informações sobre o meio ambiente físico, como nunca se dispôs anteriormente. Isso tudo coincide com fase de maior conscientização ambiental, de modo que os geógrafos físicos poderiam se tornar aptos a desenvolver e responder a essas necessidades e oportunidades que surgem.” (Gregory, 1992, p. 30)

Em relação a isso, Bermudez (2002), explica que a partir da década de 1980, passou-se a adotar no âmbito da Geografia Física, em maior ou menor grau, ferramentas informatizadas, tais como os sistemas de teledetecção, de informação geográfica, de cartografia digital e de modelização, levando essa ciência em direção a um enfoque mais quantitativista. Todavia a Geografia não abandonou completamente os seus meios tradicionais voltados à percepção da natureza, nem deixou de considerar outras alternativas, pois entende haver muitas formas de compreensão do funcionamento dos sistemas naturais terrestres. Essas diferentes formas de abordagem permitem a Mendonça (2001) afirmar:

“A abordagem da problemática ambiental, para ser levada a cabo com profundidade e na dimensão da interação sociedade-natureza, rompe assim com um dos clássicos postulados da ciência moderna, qual seja, aquele que estabelece a escolha de apenas um método para a elaboração do conhecimento científico. Tal abordagem demanda tanto a aplicação de métodos já experimentados no campo de várias ciências particulares como a formulação de novos. Mas esta característica não é uma peculiaridade somente da abordagem ambiental, ela reflete a identidade própria da Geografia em muitas de suas experiências.” (Mendonça, 2001, p.125)

Dessa forma, a Geografia passou a adotar uma perspectiva global, a partir da interação de métodos, considerando também as atividades humanas enquanto fator de modificação da paisagem (MENDONÇA, 2001). Essa combinação de métodos e práticas visa abranger os diversos fatores envolvidos na temática ambiental, de forma a permitir que a Geografia Física seja chamada a intervir na investigação e na busca de soluções integrais aos importantes problemas do meio ambiente, passando a reconhecer a importância do acompanhamento dos processos naturais através da combinação da observação e do emprego dos sistemas de informação, avaliação e monitoramento (BERMUDEZ, 2002), pois segundo esse autor: *“el mode en que se interpreta y modeliza la realidad no es inmutable”*⁷.

A Geografia que emerge a partir da incorporação dessa perspectiva propõe uma visão integrada do meio ambiente, tendo como ponto de partida da sua análise as interações entre sociedade e natureza, o qual permite, conforme afirmação de Drew (2002), perceber o complexo inter-relacionamento das partes que constituem a sua totalidade. Porém essa visão integrada dos fatores ambientais passa necessariamente, por uma *multi* e interdisciplinaridade, pois segundo Pentead-Orellana (1985), *a síntese ambiental requer equipes multidisciplinares*, assegurando dessa forma uma abordagem holística sobre as questões ambientais.

Nos últimos anos a noção de totalidade, segundo a qual o todo é maior do que a soma das partes, tem emergido no âmbito da análise ambiental, levando as ciências naturais, a adotarem uma interpretação holística na abordagem do meio ambiente, tendo em vista a limitação dos métodos tradicionais reducionistas em possibilitar análises adequadas dos problemas ambientais complexos. Christofolletti (1999), define os sistemas complexos como sendo aqueles: *“compostos por grande quantidade de componentes interatuantes, capazes de intercambiar informações com seu entorno condicionante e capazes, também, de adaptar sua estrutura interna como sendo conseqüências ligadas a tais interações.* Considerando a influência dessas tendências no campo de atuação da Geografia, Mendonça (2001) faz a seguinte observação:

“As aludidas propostas metodológicas baseiam-se na TGS (Teoria Geral dos Sistemas), largamente empregada nas ciências naturais, fato que tem vinculado o tratamento do ambiente no âmbito da Geografia – através das referidas metodologias – a uma perspectiva muito mais naturalista que social.” (Mendonça, 2001, p.125)

A Teoria Geral dos Sistemas foi elaborada no âmbito da Biologia em meados do século XX por Ludwig von Bertalanffy. Segundo este autor, um sistema deve ser definido como um conjunto de unidades em inter-relações mútuas. De acordo com Branco (1999), essa teoria foi formulada a partir do conceito organicista, tendo como idéias centrais a complexidade e a organização, podendo dessa forma ser considerada como uma teoria da organização, possibilitando assim aplicar os seus princípios gerais a sistemas de quaisquer natureza.

Segundo Gregory (1992), essa abordagem tem sido considerada nos trabalhos de Strahler (1980), Hugget (1985) e Scheidegger (1991), passando desde então a exercer forte influência na análise dos fenômenos geográficos. No Brasil essa abordagem é destacada no trabalho de Christofolletti (1979). Ainda segundo Gregory (1992),: *“uma das maiores vantagens da visão sistêmica tem sido a de concatenar mais intimamente os ramos da Geografia Física”.* Por conseguinte, critica o seu emprego de forma genérica sem as devidas considerações a partir da seguinte afirmação:

“O perigo de se adotar abordagem sistêmica acriticamente é que se presume que seja suficiente apenas identificar as estruturas do sistema e delinear as inúmeras variáveis envolvidas em um sistema particular, o que então reforça a primeira lei da Ecologia, conforme foi graficamente enunciada por Commoner (1972), segundo o qual tudo está relacionado a tudo. [...]” (Gregory, 1992, p.238)

Apesar das críticas a que é submetida e das limitações inerentes a qualquer metodologia, a aplicação da Teoria Geral dos Sistemas, numa abordagem geográfica dos problemas ambientais

têm possibilitado inúmeros avanços. Sua perspectiva global, permitiu, segundo Mendonça (2001), à Geografia Física a interagir sociedade e natureza numa mesma abordagem, contribuindo para o aprimoramento desse ramo da Geografia e para a construção de uma Geografia Socioambiental. Além disso, a adoção da abordagem sistêmica pela Geografia, tem permitido, segundo Bermudez (2002), reconhecer a complexidade dos sistemas naturais, bem como a existência de sistemas desordenados (não-lineares) ou caóticos, possibilitando uma nova perspectiva na interpretação, compreensão e modelização da complexa realidade dos sistemas naturais.

A compreensão da complexidade ambiental a partir do emprego da análise sistêmica torna-se exequível graças a sua capacidade de interpretar de forma integrada as relações tanto do sistema ambiental físico, mas também deste com o sistema sócio-econômico, permitindo, a Christofolletti (1999), afirmar que: “*a complexidade do sistema ambiental físico, como entidade individualizada, torna-se compreensível quando focalizada sob a perspectiva da análise geográfica*”, pois somente a partir da análise global dos aspectos morfológicos, funcionais e dinâmicos do sistema ambiental físico é que se torna possível compreender a sua totalidade. Essa compreensão é essencial para os procedimentos de avaliação e manejo dos recursos naturais bem como para a elaboração de um planejamento que esteja voltado a gerar as condições para o desenvolvimento sustentável. Consoante a essa concepção de complexidade e da interação entre Sociedade e Natureza, bem como entre unidades espaciais de diferentes categorias, Pentead-Orellana, (1985), afirma que:

“Desde que o meio ambiente é o resultado de interrelação e funcionamento entre elementos Sociais e Naturais em forma de sistemas, a melhor metodologia de abordagem é a análise sistêmica. Cada área, cada região, cada zona, cada setor do espaço devem ser analisados como uma unidade sistêmica homogênea ou heterogênea, dependente de outros organismos, na maioria das vezes, subsistemas articulados uns aos outros em relações de cascata.” (Pentead-Orellana, 1985, p. 126).

A adoção de uma perspectiva sistêmica tem possibilitado à Geografia o acompanhamento das modificações quantitativas e qualitativas do meio ambiente tanto em nível local como global. O acompanhamento dessas mudanças pela Geografia, ocorre, segundo Christofolletti (1999), através de parâmetros espacial e temporal, bem como pela análise do funcionamento dos sistemas focalizando sua complexidade, através da estrutura, do funcionamento interativo e dinâmica evolutiva dos sistemas ambientais.

Ainda de acordo com Christofolletti (1999), são inúmeras as propostas formuladas a partir dessa abordagem voltadas ao estudo dos sistemas ambientais, as quais constituem o referencial básico na conceitualização, estruturação, análise e avaliação desses sistemas, independente do nível de detalhamento espacial empregado. Sendo possível relacionar entre as principais contribuições da abordagem sistêmica para a Geografia Física a concepção de *geossistema*, proposta por Sotchava e Bertrand em 1962 e 1968, respectivamente, e a proposição da metodologia *ecodinâmica* elaborada por Tricart em 1977, além de outras vinculadas ao estudo da paisagem e intensamente aplicada no estudo dos sistemas ambientais.

Tais proposições formuladas sob perspectiva holística e ancoradas nos princípios da teoria geral dos sistemas tem significativa importância no âmbito da Geografia, pois contribuíram para a instrumentalização dessa ciência, revitalizando sua capacidade de compreender os sistemas ambientais físicos a partir do aperfeiçoamento dos seus métodos de análise e da adoção de ferramentas analíticas. Dessa forma, segundo Bermudez (2002), é possível abordar a temática ambiental com base num enfoque científico capaz de balizar as intervenções da sociedade junto ao meio ambiente, através da análise integrada dos fatores ambientais visando a elaboração do diagnóstico dos problemas que afetam os sistemas naturais e o prognóstico dos resultados.

Essas contribuições otimizaram a capacidade da Geografia em responder de forma satisfatória e objetiva as demandas interpostas pela sociedade no que se refere a necessidade de equacionar os problemas que afetam o meio ambiente, através do desenvolvimento e aplicação de modelos voltados a gestão ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais. Por sua vez, o emprego desses conceitos possibilitam auxiliar na elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental a partir da sua capacidade de interpretar e modelizar o conjunto das relações que se processam nos sistemas ambientais e suas interações com o sistema socioeconômico. Desta forma, a Geografia pode desempenhar o papel que, segundo Bermudez (2002), lhe é reservado, o qual consiste em fornecer informações adequadas capazes de permitir uma melhor formulação das políticas ambientais e de desenvolvimento através de sistemas de monitoramento e avaliação.

Contudo, Christofolletti (1999), chama a atenção para o fato de haver praticamente a ausência de indicadores de sustentabilidade ambiental elaborados a partir de uma perspectiva geográfica. Segundo ele, esse vazio deve-se a inexistência de parâmetros no que se refere à dinâmica de tais fatores (resiliência e estabilidade), bem como as suas conseqüências sobre a

sustentabilidade ambiental do sistema socioeconômico e na qualidade de vida dos assentamentos humanos.

Tendo como base essa constatação, Christofolletti (1996), buscou caracterizar indicadores geográficos vinculados aos componentes do geossistema, voltados à análise da sustentabilidade ambiental a partir do uso de bacias hidrográficas como unidades de organização espacial, tendo em vista determinar uma base referencial e os critérios para a abordagem de indicadores geomorfológicos, uma vez que as formas de relevo constituem um componente do sistema ambiental físico (geossistema), tornando-se então necessário selecionar as características das formações topográficas e a dinâmica dos processos geomorfológicos mais relevantes. Nesse aspecto, em decorrência do relacionamento de variáveis morfométricas com a dinâmica dos processos, esse autor recomenda o emprego de unidades espaciais integrativas, tais como as bacias hidrográficas as quais considera como unidades adequadas para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental a partir de um enfoque geográfico (CHRISTOFOLETTI, 1996, 1999).

Bermudez *et. al.* (1992), consideram a bacia hidrográfica como uma expressão territorial do sistema ambiental, em seu conjunto pode ser considerada como um sistema aberto de processo-resposta, onde os fluxos de matéria e energia causam efeitos sobre o território. Segundo esses autores, o caráter e comportamento do sistema fluvial de uma bacia hidrográfica são sempre complexos e refletem as inter-relações de seus componentes: energia solar, gravidade, clima, litologia, topografia, cobertura vegetal, solos, uso do território, etc., determinando sua morfologia dinâmica.

Por esse motivo a análise da rede hidrográfica possibilita, segundo Christofolletti (1980), a compreensão de inúmeros aspectos relativos aos processos morfogenéticos e por conseguinte cria condições no sentido de esclarecer o funcionamento dinâmico dos sistemas ambientais sobretudo daqueles fenômenos relacionados a drenagem fluvial. Desta forma, a análise morfométrica das bacias hidrográficas, compreende o levantamento de dados fisiográficos de uma bacia a partir de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite (SILVEIRA, 2001), e quando necessário de levantamentos de campo (SILVA, *et. al.*, 2003). Segundo Christofolletti (1980), os índices e parâmetros utilizados na análise morfométrica compreende quatro itens: hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica.

A importância da análise de bacias hidrográficas a partir da abordagem quantitativa proposta por Horton, a partir de 1945, reside no fato dessa constituir a base de inúmeros estudos de caráter analítico referente às bacias hidrográficas, possibilitando relacionar características de precipitação, tipo de solo, uso e ocupação, declividades, entre outras, de forma a permitir a geração de indicadores bastante representativos das condições ambientais dessas unidades espaciais.

Em função da necessidade de estabelecer parâmetros de análise adequados à avaliação dos fatores ambientais, particularmente àqueles vinculados aos aspectos geomorfológicos que repercutem sobre a sustentabilidade ambiental, uma maneira adequada de definir graus relativos à capacidade de suporte do relevo consiste na possibilidade de recorrer às proposições de Tricart (1977), pelas quais estabelece o conceito de Ecodinâmica, sendo esse conceito elaborado a partir do estudo da dinâmica dos ecótopos. O conceito de unidades ecodinâmicas, baseia-se na teoria dos sistemas, pois enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia e matéria no meio ambiente, segundo seu autor:

“Uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses. [...] Geralmente a morfodinâmica é o elemento determinante, [...] A morfodinâmica depende do clima, da topografia, do material rochoso. Ela permite a integração desses vários parâmetros.”
(Tricart, 1977, p.32)

De acordo com essa metodologia o componente morfogênico é o elemento mais importante na dinâmica da superfície terrestre, sendo o responsável pela produção de instabilidade na superfície, o qual é fator limitante para o desenvolvimento dos seres vivos, representando, dessa forma uma limitação sob o ponto de vista ecológico, pois estabelece uma oposição entre a morfodinâmica e o desenvolvimento da vida, influenciando assim na capacidade de suporte ao desenvolvimento da sociedade, uma vez que tal oposição pode repercutir sobre a qualidade ambiental e de vida dos assentamentos humanos. Nesse aspecto, para que o desenvolvimento possa ser considerado sustentável, deve necessariamente encontrar meios de reduzir a instabilidade morfodinâmica através de políticas de ordenamento do uso e ocupação do solo.

Em vista disso, Tricart (1977), estabelece uma taxonomia dos tipos de meios ambientes fundada no seu grau de estabilidade-instabilidade morfodinâmica. Segundo essa classificação os meios morfodinâmicos dividem-se em três classes, em função da intensidade dos processos

atuais, sendo essas as seguintes: *Meios Estáveis*, *Meios Intergrades* e *Meios Fortemente Instáveis*.

Por conseguinte, Ross (1994), propõe que a análise dos ambientes naturais, em vista de estarem sujeitos a ação antrópica, seja realizada considerando a fragilidade desses ambientes em função de suas características genéticas. Para essa finalidade, recomenda o emprego do conceito de unidades ecodinâmicas. Entretanto, Ross (1990), visando à formulação de procedimentos voltados para a análise geomorfológica aplicada ao planejamento ambiental, adotou uma interpretação diferenciada na definição dessas unidades. Segundo ele as unidades ecodinâmicas instáveis compreendem aquelas submetidas à intensa ação antrópica capaz de modificar suas características naturais; já as unidades ecodinâmicas estáveis compreenderiam aquelas que isentas da influência antrópica tiveram seu estado natural preservado, estando portanto em equilíbrio dinâmico.

Ross (1994), levando em consideração os diferentes graus de instabilidade presentes nas unidades ecodinâmicas, bem como aspectos relacionados ao uso da terra e cobertura vegetal, rugosidade topográfica e a tipologia dos solos, estabeleceu um gradiente para as unidades ecodinâmicas instáveis variando desde de instabilidade muito fraca a muito forte. Da mesma forma considerou que as unidades ecodinâmicas estáveis, ainda que em equilíbrio dinâmico, estariam sujeitas à instabilidade em função das suas características naturais e da possibilidade de sofrerem interferência antrópica, classificando-as dessa forma segundo a sua instabilidade potencial, igualmente variando de muito fraca a muito forte.

A partir dessa concepção, Ross (1994), insere a noção de grau de fragilidade e fragilidade potencial dos ambientes naturais, tendo por base a teoria dos sistemas, possibilitando, dessa forma, a formulação de um instrumental técnico-científico voltado à análise ambiental, levando em consideração elementos vinculados à geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental e territorial. Essa base referencial torna-se essencial na execução de análises que tenham por objetivo verificar a viabilidade de exploração dos recursos naturais levando em conta as limitações dos ambientes naturais em função do seu grau de fragilidade ou fragilidade potencial. Nesse sentido, Ross (1994), afirma:

“Os estudos analíticos relativos a fragilidade, expressos através de cartogramas e textos, são documentos de extrema importância ao Planejamento Ambiental, que tenha como centro de preocupação o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento tecnológico, econômico e social.”
(Ross, 1994, p.64)

Entretanto, tais proposições de base sistêmica ainda que representem novas possibilidades de grande importância para a compreensão da complexidade dos sistemas ambientais, necessária na formulação de modelos voltados para a geração de indicadores de sustentabilidade, não são capazes de forma isolada de superar a idéia fragmentada de meio ambiente, integrando as componentes ambientais com os elementos do sistema socioeconômico de forma a permitir um maior enfoque nas interações entre ambos os sistemas o que deve ser da maior relevância para a formulação de sistemas de indicadores voltados a monitorar a sustentabilidade do meio ambiente frente às diferentes formas de intervenção da sociedade na natureza.

Nesse aspecto, torna-se necessário determinar a categoria de análise capaz de permitir a integração desses fatores de forma a subsidiar o processo de elaboração de indicadores de sustentabilidade, a partir de um enfoque teórico próprio, formulado no âmbito da Geografia. Em vista disso, convém considerar Montibeller Fº. (2005), o qual propõe a adoção do conceito de Geossistema, que segundo ele, possibilita *“delimitar a abordagem dentro da visão sistêmica da ação humana e seu entorno, [...] correspondendo a uma análise integradora do natural ao humano na síntese geográfica.”*

O conceito de *geossistema* constitui uma proposição metodológica de base sistêmica a qual foi apresentada inicialmente em 1962 por Sotchava e revista em 1968 por Bertrand. Para Sotchava *apud* Christofolletti (1999), o aspecto primordial do geossistema refere-se a conexão da natureza com a sociedade, pois ainda que o geossistema seja constituído de fenômenos naturais, os fatores socioeconômicos devem ser considerados na sua análise, pois repercutem nas suas características e estrutura. Esse autor inseriu o conceito de geossistema visando estabelecer uma categoria de análise, aplicada aos fenômenos geográficos, que estivesse direcionada a uma abordagem integrada dos elementos naturais numa determinada unidade espacial. Segundo ele, *“os geossistemas constituem sistemas dinâmicos, flexíveis, abertos e hierarquicamente organizados com estágios de evolução temporal , numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem.”*

Não obstante, Bertrand *apud* Christofolletti (1999), define geossistema como “*uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução.*” Esse autor propõe um sistema de classificação e hierarquização da paisagem constituído por seis níveis, os quais nomeadamente são: a zona, o domínio e a região (unidades superiores), o geossistema, o geofácies e o geótopo (unidades inferiores). Para ele o geossistema corresponde a uma combinação de potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, sem necessariamente apresentar uma fisionomia homogênea, mas sim de corresponder a um complexo dinâmico. Essa unidade pode abranger uma área que vai desde de alguns quilômetros quadrados até centenas de quilômetros quadrados, devendo ser decomposta em unidades menores fisionomicamente homogêneas, representadas pelos geofácies e geótopos.

Tomando por base a utilização do conceito de geossistema para o delineamento das interligações das ações humanas e o seu entorno, Montibeller Fº. (2005), citando Monteiro, afirma que “*o geossistema emergiu como um novo paradigma para os estudos que pretendem correlacionar o tríptico potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica*”, permitindo a análise integrada dos diferentes atributos presentes em um sistema ambiental. Tendo em vista uma melhor delimitação dessa categoria, Monteiro *apud* Christofolletti (1999), define geossistema da seguinte forma:

“um sistema singular, complexo, onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema” (Christofolletti, 1999, p. 43)

Entretanto em oposição a essa definição Chritofolletti (1999) afirma que o geossistema, também designado por esse autor como sistema ambiental físico, representa a organização espacial resultante da integração dos componentes físicos da natureza, os quais possuindo expressão espacial na superfície terrestre funcionam estabelecendo uma organização através dos fluxos de matéria e energia. Nessa concepção, o vínculo do geossistema com o sistema socioeconômico se dá através dos impactos antropogênicos, ou seja, o ambiente é modificado através das atividades humanas que se utilizam dos recursos naturais e através dessa ação geram impactos sobre o meio ambiente, pois de acordo com Christofolletti (1999):

“No geossistema, os produtos do sistema sócio-econômico entram como inputs e interferem nos procesos e fluxos de matéria e energia, repercutindo inclusive nas respostas da estruturação espacial geossistêmica.” (Christofoletti, 1999, p. 43)

Observa-se assim, que o estabelecimento do conceito de geossistema buscou estruturar um referencial para a hierarquização dos sistemas naturais (*ou hierarquização da paisagem*), de forma a estabelecer uma base analítica para a compreensão dos sistemas naturais, abrindo caminho para sua modelização. Da mesma forma, permite uma maior integração entre os fatores naturais e aqueles relativos ao sistema socioeconômico. Assim, esse conceito torna-se importante para a formulação de indicadores de sustentabilidade ambiental pois permite, segundo Montibeller F°. (2005), *considerar um grande número de componentes, e ao mesmo tempo delimitar o espaço para análise*. Esse autor também afirma que, decorrente do processo de globalização, a aceleração da mobilidade e da comunicação, as barreiras espaciais foram eliminadas, em função disso o conceito de geossistema tornou-se de grande utilidade para a delimitação das diferenciações espaciais que possam repercutir sobre a competitividade.

Esses instrumentos de análise consubstanciados nas contribuições de base sistêmica à Geografia, tais como o conceito de *unidade ecodinâmica*, as noções de *grau de fragilidade* e *fragilidade potencial*, e o estabelecimento do conceito de *geossistema*, tal como entidade adequada a análise das interações entre os elementos dos sistemas ambientais e o sistema socioeconômico, permitem a essa ciência atuar de forma ativa na análise dos fatores envolvidos no processo de desenvolvimento, através da análise das modificações impostas pelos impactos ambientais envolvidos nesse processo e as suas conseqüências no comportamento do geossistema, tendo em vista o encadeamento de fatores aí relacionados. Esta condição tem possibilitado à Geografia propor soluções para os diversos problemas ambientais que afligem atualmente a sociedade, bem como permitir a orientação de estudos voltados para a avaliação de impactos antrópicos, o planejamento territorial e a exploração dos recursos naturais.

Da mesma forma, para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental, tais conceitos são fundamentais, pois oferecem a base metodológica necessária para a construção do instrumental analítico essencial para a análise quantitativa dos componentes envolvidos no processo, bem como estabelece a categoria de análise apropriada para a condução das investigações a fim de determinar as variáveis dos sistemas ambientais físicos e do sistema

socioeconômico envolvidas no processo de desenvolvimento. Nesse sentido, Christofolletti (1993), afirma:

“Os indicadores assinalam que a demanda atual da sociedade inerentemente necessita absorver o conhecimento geográfico. Os dilemas envolvidos nas decisões sobre as questões ambientais podem ser mais adequadamente delineados e avaliados, estabelecendo bases para as tomadas-de-decisão, quando há disponibilidade de fundamentação baseada no uso do conhecimento geográfico sobre o meio ambiente e sobre as organizações espaciais. A significância da Geografia para as políticas de desenvolvimento sustentável é óbvia, destacando-se mormente a relevância do subconjunto ligado com o estudo dos geossistemas ou sistemas ambientais físicos.” (Christofolletti, 1993, p. 2)

Essa visão integradora presente na perspectiva geográfica, originada na análise das interações entre os sistema ambientais físicos e o sistema socioeconômico torna o conhecimento geográfico essencial na elaboração dos programas de desenvolvimento que tenham por objetivo alcançar a sustentabilidade em todas as suas dimensões. Para isso, deve-se partir do reconhecimento da capacidade de suporte do meio ambiente, etapa na qual o emprego de indicadores é fundamental, no sentido de contribuir para a geração das informações necessárias ao suporte à decisão. Nesse sentido, Ross (1994) afirma:

“[...] a preocupação dos planejadores, políticos e a sociedade como um todo, ultrapassa os limites dos interesses meramente de desenvolvimento econômico e tecnológico, mas sim devem preocuparem-se com o desenvolvimento que leve em conta não as potencialidades dos recursos, mas sobretudo as fragilidades dos ambientes naturais face as diferentes inserções dos homens na natureza. Dentro dessa perspectiva de planejamento econômico e ambiental do território, quer seja ele, municipal, estadual, federal, bacia hidrográfica, ou qualquer outra unidade, é absolutamente necessário, que as intervenções humanas sejam planejadas com objetivos claros de ordenamento territorial, tomando-se como premissas a potencialidade dos recursos naturais e humanos e as fragilidades dos ambientes.” (Ross, 1994, p. 64)

Na perspectiva da modelagem ambiental abordada em Christofolletti (1999), a noção de sustentabilidade é considerada a mais adequada, segundo esse autor a sustentabilidade ambiental consiste no processo de manter ou melhorar as características e funcionalidade dos sistemas de suporte terrestre como condições adequadas para as comunidades biológicas e humanas, buscando-se dessa forma a melhoria da qualidade de vida e da qualidade ambiental.

Em vista disso a elaboração de indicadores a partir de um enfoque geográfico deve preceder a elaboração dos planejamentos visando a determinação de metas de sustentabilidade uma vez que estes devem subsidiar as intervenções no meio natural voltadas para essa finalidade. Nesse sentido Christofolletti (1999), relacionou dez variáveis a serem consideradas: declividades das

vertentes, comprimento das vertentes, percentual das áreas conforme as classes de declividade, rugosidade topográfica, erosividade e erodibilidade dos solos, frequência e densidade dos escorregamentos e deslizamentos, carga detrítica no escoamento superficial, volume e área de acumulação detrítica nos fundos de vales, carga detrítica nos cursos d'água e áreas sujeitas às inundações.

Portanto, a partir do emprego adequado das formulações teóricas e conceituais de base sistêmica, as quais constituem parte do instrumental de análise da Geografia Física, é possível estabelecer um processo de elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental tendo por base um referencial metodológico próprio da Geografia, focado na capacidade de suporte dos sistemas ambientais, possibilitando estabelecer laços interativos entre as características físicas dos ambientes naturais e as atividades humanas bem como com as suas conseqüências.

2.3. EXPERIÊNCIAS E PRÁTICAS NA CONSTRUÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Em nossa época torna-se imperativa a necessidade de se estabelecer sistemas de informações capazes de apoiar a tomada de decisão no que se refere a forma de atuação perante a questão ambiental. Tais sistemas devem subsidiar a geração de indicadores capazes de avaliar de forma permanente os processos interativos sociedade X natureza, tendo em vista fornecer informações que possam balizar as ações que visem assegurar o equilíbrio necessário entre os fatores ambientais e o desenvolvimento social e econômico possibilitando dessa forma a manutenção da qualidade ambiental e da qualidade de vida de suas populações.

Por conseguinte, o estabelecimento de um sistema de indicadores capaz de mensurar o nível de sustentabilidade ambiental deve estar ancorado sobre uma base metodológica que permita avaliar os fatores essenciais, tanto dos sistemas ambientais como dos sistemas socioeconômicos, sendo capaz de fornecer uma síntese das suas contradições, levando em conta as visões de mundo presente nessa sociedade.

Nesse sentido, existem inúmeras iniciativas voltadas para a implementação de sistemas de indicadores de sustentabilidade ambiental, além daquelas levadas a termo pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável – CDS das Nações Unidas, seguindo as recomendações preconizadas pelo capítulo 40 da AGENDA 21. Muitas dessas propostas encontram-se em uso

no âmbito local, regional e nacional, ou estão sendo aplicadas em nível global através de organismos internacionais voltados à questão ambiental.

No cenário internacional destaca-se o trabalho desenvolvido pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, o qual está voltado a contribuir no “*aperfeiçoamento dos estudos por indicadores que propiciem as condições de gerenciar o desenvolvimento.*” (FGV, 2000). O sistema de indicadores desenvolvido pela OCDE está estruturado em conformidade com o modelo conceitual PER (Pressão – Estado – Resposta). Este modelo foi proposto pela própria OCDE visando estabelecer um modelo aceito internacionalmente e capaz de dar conta das características e natureza dos problemas do desenvolvimento e do meio ambiente, enfocando a evolução das relações *sociedade X natureza* em diferentes escalas.

A OCDE trabalha com várias categorias de indicadores ambientais, cada uma correspondendo a um propósito e situação específica. Esses conjuntos de indicadores são utilizados nas seguintes funções: avaliar o progresso e performance das políticas ambientais, fornecer informação ao público e aos tomadores de decisão, buscar a integração de fatores ambientais e econômicos e o monitoramento da degradação ambiental. Dessa forma o sistema de indicadores ambientais da OCDE esta composto da seguinte forma:

- ***Core Environmental Indicators – CEI:*** *Constitui um conjunto básico de indicadores ambientais utilizados na avaliação do progresso das políticas ambientais. Este conjunto de indicadores é formado por cerca de 50 indicadores que referem-se as principais preocupações ambientais. A OECD incentiva os países que adotam estes indicadores a adaptá-los as suas conjunturas locais.*
- ***Kei Environmental Indicators – KEI:*** *É um conjunto reduzido de indicadores utilizados para fins de comunicação com o público.*
- ***Sectoral Environmental Indicators – SEI:*** *São indicadores usados para integração das temáticas ambientais dentro das políticas setoriais. Cada conjunto focando um setor específico, tais como: transporte, energia, consumo doméstico, turismo, agricultura, etc.*
- ***Indicators Derived from Environmental Accounting:*** *Constitui um conjunto de indicadores aplicados na integração da temática ambiental no âmbito da economia e das políticas de gerenciamento de recursos*
- ***Decoupling Environmental Indicators – DEI:*** *Grupo de Indicadores que medem a degradação do meio ambiente frente a pressão do crescimento econômico.*

Em nível nacional a principal experiência com indicadores de sustentabilidade ambiental tem sido desenvolvida pela Divisão de Geografia e Cartografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - DGC/IBGE, através da publicação de um guia relativo aos indicadores de desenvolvimento sustentável utilizados no país. Segundo a DGC/IBGE, este trabalho foi inspirado no movimento internacional liderado pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável – CDS, das Nações Unidas (Commission on Sustainable Development - CSD), que reuniu governos nacionais, instituições acadêmicas, organizações não-governamentais, organizações do sistema das Nações Unidas e especialistas de todo o mundo. O projeto do IBGE tomou como referência o documento *Indicators of sustainable development: framework and methodologies*⁸, publicado em 1996 pela CDS/ONU e conhecido como “*Livro Azul*”, bem como suas atualizações e adaptações necessárias à realidade brasileira.

No Brasil, a formulação de um conjunto de indicadores capaz de mensurar o padrão de desenvolvimento brasileiro, bem como determinar um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a equidade social e a proteção ao meio ambiente resultou na seleção de 59 indicadores, definidos a partir de estudos e levantamentos realizados pelo IBGE em conjunto com outras instituições. De acordo com a DGC/IBGE, a apresentação dos indicadores seguiu o marco ordenador proposto pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável - CDS, das Nações Unidas, que os organiza em quatro dimensões: ambiental, social, econômica e institucional. Na sua dimensão ambiental estão relacionadas informações pertinentes ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, organizadas nos temas atmosfera, terra, água doce, mares e áreas costeiras, biodiversidade e saneamento. Na sua dimensão social, os indicadores abrangem os temas população, trabalho e rendimento, saúde, educação, habitação e segurança, vinculados à satisfação das necessidades humanas, melhoria da qualidade de vida e justiça social. A dimensão econômica dos indicadores por sua vez busca retratar o desempenho macroeconômico e financeiro e os impactos no consumo de recursos materiais e uso de energia mediante a abordagem dos temas quadro econômico e padrões de produção e consumo. Por fim, a dimensão institucional, desdobrada nos temas quadro institucional e capacidade institucional, oferece informações sobre a orientação política, a capacidade e os esforços realizados com vistas às mudanças necessárias para a implementação do desenvolvimento sustentável.

No Brasil, também a Fundação Getúlio Vargas - FGV através do seu Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável – CIDS, trabalha no desenvolvimento de projetos voltados à implementação de indicadores de sustentabilidade. Nesse sentido, executou trabalho de consultoria visando estabelecer indicadores de sustentabilidade para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, o qual tem por objetivo subsidiar os Comitês e Agências de Bacia na implantação de programas voltados ao uso racional desses recursos.

Segundo o relatório da CIDS/FGV, o modelo conceitual adotado no referido trabalho consiste no modelo PER (Pressão – Estado – Resposta) proposto pela OCDE, ampliado para o formato PEI/ER (Pressão – Estado – Impacto / Efeito – Resposta), dessa forma esse trabalho tomou por base cinco grupos de indicadores. O primeiro grupo objetiva identificar as causas dos problemas ambientais (fatores de pressão), o segundo grupo é direcionado a avaliar a qualidade do meio ambiente em função das ações antrópicas (fatores de estado), o terceiro grupo está voltado para a avaliação da relação de reciprocidade dos impactos - efeitos das atividades humanas e o meio ambiente (fatores de impactos), o quarto grupo de indicadores refere-se a avaliação das ações adotadas pela sociedade (fatores de resposta), já o quinto grupo é formado por indicadores prospectivos que visam prever e antecipar mudanças através da construção de cenários permitindo a identificação de prováveis pressões que venham a incidir sobre o meio ambiente assim como dos progressos necessários para atingir a sustentabilidade (CIDS/FGV, 2000).

Além dos sistemas de indicadores de sustentabilidade de caráter mais geral como aqueles até aqui relacionados, também existe uma grande diversidade de propostas voltadas à implementação de indicadores no nível local ou regional que estão sendo experimentados tanto por instituições oficiais do setor público, organizações não governamentais ou em caráter experimental pela comunidade acadêmica. Nesse campo, também merecem referência aqueles trabalhos que visam a sistematizar os conceitos e as diferentes abordagens pertinentes a essa recente área de pesquisa.

No Rio Grande do Sul, o livro Indicadores Econômico-Ambientais na Perspectiva da Sustentabilidade, publicado em 2005, elaborado em conjunto pela Fundação de Economia e Estatística – FEE e pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, apresenta o trabalho desenvolvido por essas instituições voltado a implementação de indicadores de

sustentabilidade capazes de contemplar as diversas dimensões envolvidas nas atividades industriais do estado.

A referida publicação aborda a questão da sustentabilidade e os critérios de avaliação da qualidade ambiental e de vida através de indicadores socioeconômicos e ambientais, apresentando as experiências da FEE e FEPAM voltadas à geração de indicadores de sustentabilidade para aplicação nos municípios gaúchos, tais como o Índice de potencial poluidor da indústria (Inpp-I) e o Índice de dependência das atividades potencialmente poluidoras da indústria (Indapp-I). O primeiro índice (Inpp-I), consiste de uma classificação do nível poluidor segundo o tipo de atividade, sendo aplicado para cada tipo de recorte espacial (município, COREDE, aglomerado urbano, regiões hidrográficas, estado). Já o segundo índice (Indapp-I), leva em conta a concentração espacial das atividades por nível de potencial poluidor, sendo originado pela necessidade de diferenciar as unidades espaciais que apresentam índice potencial poluidor próximos. Essa iniciativa representa uma primeira contribuição nesse campo no âmbito estadual.

De igual forma, diversos trabalhos são desenvolvidos no meio acadêmico e científico visando a elaboração de sistemas de indicadores voltados a avaliar a adequabilidade do modelo de desenvolvimento, ou mesmo a capacidade de suporte do meio ambiente às atividades antrópicas. Tais trabalhos constituem a expressão de diferentes concepções em relação a questão do desenvolvimento sustentável, podendo ser de certa forma categorizados em função do seu enfoque, pois enquanto uns estão voltados a avaliar a sustentabilidade em nível local, privilegiando o aspecto espacial, outros são focados num determinado tipo de atividade econômica e suas conseqüências para a sustentabilidade do sistema ambiental no qual esta atividade está inserida.

De acordo com o primeiro enfoque, no qual a sustentabilidade do desenvolvimento é avaliada tomando por base seu aspecto espacial, destacam-se os trabalhos realizados nas localidades de Blumenau – SC e para a região do Vale do Aço – MG.

Merico, *et. al.* (1997), propôs uma metodologia voltada para a estruturação de um sistema de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Vale do Itajaí - SC, implementado inicialmente através de um projeto piloto na cidade de Blumenau – SC. Essa metodologia propõe

um conjunto de indicadores gerados pela agregação de quatro índices representativos das relações sociedade e natureza, estes índices são os seguintes:

- *Índice de Consumo de Capital Natural (ICCN) - voltado para medir o consumo de recursos naturais em termos físicos e monetários, sendo formado por indicadores de perda de cobertura florestal, perda de solos agrícolas, consumo de recursos energéticos e qualidade da água.*
- *Índice de Emissão de Poluentes (IEP) - indica a degradação do ambiente a partir da deposição de poluentes formado pelos indicadores relativos a: disposição de resíduos sólidos, carga de resíduos orgânicos na água, dispersão de resíduos tóxicos, lançamento de efluentes industriais, emissão de gases.*
- *Índice de Degradação de Paisagens Naturais (IDPN) - considera a manutenção da qualidade ambiental da região analisada, sendo composto pelos indicadores de: perda de floresta primária, perda de floresta secundária, perda de planície aluvial, perda/ganho de habitats relevantes, intervenção em cursos d'água e perda de qualidade da paisagem natural.*
- *Índice de Bem-Estar Social (IBS) - avalia a sustentabilidade e o equilíbrio de uma sociedade com o seu meio, sendo formado através dos indicadores relativos a: nível da nutrição, mortalidade infantil, expectativa de vida ao nascer, saneamento básico, variação populacional, taxa de alfabetização, taxa de escolaridade, pessoas por domicílio, cômodo por moradias, PIB e PIB per capita.*

Segundo os autores, uma vez apurados estes quatro índices (obtidos através da agregação de diversos indicadores) deverão ser reagrupados, através de sua plotagem no barômetro da sustentabilidade proposto por PRECOTT-ALLEN em 1995, a fim de permitir a combinação e organização de dados de modo sistemático capaz de possibilitar a visualização das interações *sociedade X natureza*.

A efetividade desse sistema, entretanto, depende muito da modelagem a ser adotada, isto é da forma de relacionamento e ponderação do amplo conjunto de variáveis que se propõem utilizar, bem como da disponibilidade dessa diversidade de dados, tendo em vista os custos para o monitoramento ou levantamento de algumas dessas variáveis o que pode até inviabilizar sua implementação ao menos na integralidade.

Também Braga, *et. al.* (2002), propõe um sistema de indicadores de sustentabilidade com base local, o qual foi desenvolvido para a região do Vale do Aço – MG. Esse sistema têm como parâmetro principal de espacialização o rio e a sua bacia hidrográfica, permitindo integrar análises de risco ambiental urbano e impacto antrópico através da análise da qualidade das águas.

O *Índice de Sustentabilidade Urbana* proposto neste trabalho segue a estrutura PER (Pressão - Estado - Resposta) proposto pela OECD, sendo composto por quatro índices temáticos:

- *Índice de Qualidade do Sistema Ambiental (IQSA)*, consiste de um indicador de estado o qual externaliza a saúde do ambiente local através da qualidade das águas da bacia hidrográfica.
- *Índice de Qualidade de Vida (IQV)*, outro indicador de estado que mede a qualidade de vida humana e do ambiente construído através de indicadores de renda, educação, saúde, longevidade, uso do solo e habitações.
- *Índice de Redução da Pressão Antrópica (IRPA)*, este indicador reflete a pressão exercida pela intervenção antrópica, através da urbanização e das atividades econômicas sobre o meio ambiente, sendo medido através de variáveis relativas a população, saneamento, frota de veículos, habitação, poluição hídrica, energia, uso da água, uso do solo, agricultura, etc.
- *Índice de Capacidade Político-Institucional (ICPI)*.consiste de um indicador de resposta voltado a medir a capacidade do sistema político, institucional, social e cultural quanto a sua capacidade de superar os obstáculos e oferecer respostas aos desafios da sustentabilidade, para isso considera variáveis relativas a questão fiscal, do endividamento, peso eleitoral, política ambiental, organização civil, imprensa, participação, entre outros.

Segundo os autores dessa proposta, a grande quantidade de variáveis, exigiu um processo de padronização a fim de torná-las compatíveis tanto no aspecto espacial como no sentido de permitir sua agregação e comparação.

O *Índice de Sustentabilidade Urbana* proposto nesse trabalho é obtido através da ponderação simples de cada indicador, sendo que o índice temático também é obtido pela ponderação simples dos indicadores que o compõem. Por sua vez, o valor final do *Índice de Sustentabilidade Urbana*, que deve ficar entre zero e cem, da mesma forma é apurado através de ponderação simples dos quatro índices temáticos. Segundo o autor, o estabelecimento de pesos diferentes para as variáveis ou índices temáticos não foi utilizado devido a “ausência de consenso científico” em relação à contribuição dos diferentes fatores analisados sobre a sustentabilidade.

A maior limitação dessa proposta reside na utilização de uma grande quantidade de variáveis, podendo comprometer a viabilidade de sua implementação em função dos custos decorrentes do levantamento desses dados, os quais nem sempre estão disponíveis. Da mesma forma sua validação também é prejudicada em função de haver uma maior possibilidade de inconsistências na formulação do modelo ou mesmo nas fases de apuração de dados, haja vista a quantidade de variáveis utilizadas.

Outro fator a ser considerado nos sistemas de indicadores que agregam grande quantidade de variáveis, corresponde ao armazenamento e gerenciamento dos dados, tendo em vista a diversidade de fontes e formatos, demandando para isso a utilização de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), a fim de possibilitar o adequado manejo desses dados bem como permitir o acesso à informação de forma adequada e de fácil compreensão.

Além dos sistemas de indicadores com enfoque local, os quais enfatizam o aspecto espacial do processo de desenvolvimento e suas relações com o meio ambiente que lhe dá suporte, também são desenvolvidos trabalhos voltados a avaliar a sustentabilidade considerando os processos, ou seja, enfocando as atividades sobretudo dos sistemas produtivos, visando determinar indicadores específicos voltados a mensurar a sustentabilidade do meio ambiente mediante os impactos causados por tais atividades. Esses indicadores buscam sobretudo balizar uma determinada atividade humana visando adequá-la aos níveis de manutenção do meio ambiente de forma a garantir condições aceitáveis de qualidade ambiental e de vida.

Seguindo esse enfoque, destacam-se dois trabalhos voltados a estabelecer metodologias para a construção de sistemas de indicadores de sustentabilidade para as atividades agrárias. O primeiro refere-se ao artigo *Indicadores de sustentabilidade para Agroecossistemas*, elaborado por Marzall e Almeida, 2002. Enquanto o segundo consiste do artigo elaborado por Deponti, *et. al.*, 2002, *Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas*, esse trabalho foi desenvolvido pela equipe de técnicos da EMATER/RS, visando a formulação e estruturação de indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados aos sistemas de produção rural.

Marzall e Almeida (2002), buscam determinar os limites e potencialidades dos sistemas de avaliação do desenvolvimento sustentável, bem como identificar o estado da arte nessa matéria. Para isso abordam a base conceitual pertinente a essa temática, através da análise de diversos trabalhos relativos a elaboração de sistemas de indicadores de sustentabilidade ambiental, considerando seus aspectos metodológicos, sua implementação e a aplicação desses sistemas na prática.

Os autores propõem ainda uma nova visão sobre os sistemas de indicadores de sustentabilidade, a partir da adoção de uma abordagem interdisciplinar, com enfoque sistêmico

como base para a compreensão da complexidade. Também ressaltam o fato dos indicadores constituírem modelos de interpretação da realidade social ou visões de mundo, por isso considera primordial internalizar nos sistemas de indicadores a diversidade das realidades e das formas de pensar, a fim de que possam contribuir para a valorização da vida.

Por sua vez Deponti, *et. al.* (2002), propõem a aplicação de uma metodologia de análise integrada através de indicadores para monitoramento das diferentes dimensões de uma unidade produtiva, também procura estabelecer estratégias voltadas para a construção de indicadores de forma participativa capaz de articular técnicos, agricultores e parceiros como sujeitos desse processo.

Para essa finalidade os autores propõem, o método MESMIS (Marco de Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais Incorporando Indicadores), o qual permite avaliar a sustentabilidade de um agroecossistema, através da identificação de padrões sustentáveis de desenvolvimento, considerando aspectos técnicos ambientais, econômicos e sociais.

Segundo a equipe da EMATER/RS, os indicadores voltados para a avaliação da sustentabilidade em unidades de produção rural devem refletir os objetivos de seus propositores, por isso a necessidade de garantir um processo participativo. Nesse sentido, a metodologia proposta apresenta uma orientação prática, tendo por base o enfoque participativo através de uma postura dialógica entre técnicos e agricultores.

Ambas experiências referentes às atividades agrárias constituem, ainda que com abordagens distintas, trabalhos complementares, pois enquanto o primeiro resalta a importância de uma base metodológica adequada, o segundo sugere uma estratégia que privilegie a participação de todos os envolvidos no processo de formulação de indicadores.

Estas iniciativas, ainda que com abordagens distintas, representam um primeiro esforço no desenvolvimento e aplicação de indicadores de sustentabilidade ambiental, em função da novidade que representam os trabalhos realizados nesse campo. Contudo, a necessidade de aprofundamento das investigações a cerca dessa temática é essencial, representando para a Geografia uma oportunidade de contribuir de forma significativa tanto na formulação metodológica dos sistemas de indicadores como apoiar a implementação desses mecanismos de

avaliação, quer seja estabelecendo parâmetros através de análises dos aspectos físicos, sociais e econômicos ou ainda espacializando os resultados apurados, a fim de facilitar a sua compreensão.

Dessa forma, a Geografia pode, através do seu referencial metodológico de base holística/sistêmica, oferecer os meios necessários e adequados para o desenvolvimento dos indicadores de sustentabilidade ambiental a partir de um enfoque integrador entre sociedade e natureza.

3 – EMPREGO DE TÉCNICAS INTEGRADAS DE GEOPROCESSAMENTO NO SUPORTE À GERAÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

As atividades referentes à elaboração, implementação e emprego dos indicadores de sustentabilidade ambiental, implicam em superar diversas dificuldades, as quais compreendem desde a seleção, obtenção e integração das variáveis, passando pelo desenvolvimento de modelos compatíveis até a disponibilização das informações resultantes de forma adequada, ou seja, compreensível a todos os segmentos envolvidos de alguma forma no processo de avaliação (comunidade local, órgãos de comunicação social, ministério público e poder judiciário, agentes políticos, empresários, sindicatos e associações profissionais, etc.). Em função dessa complexidade, a construção destes mecanismos de análise e avaliação ambiental exige a formação de equipes multidisciplinares aptas a empregar ferramentas de manipulação de dados ambientais de forma eficiente, possibilitando a geração de informações a cerca das condições do meio ambiente, capazes de auxiliar no seu controle e gerenciamento, bem como subsidiar o processo decisório.

Nesse sentido Luxen e Bryld (1997), afirmam que o processo de tomada de decisão ocorre em diversos níveis (local, nacional, regional e internacional), sendo que em todos estes níveis existe a necessidade de informação. Entretanto, em vista da quantidade e complexidade da informação disponível há uma premência em melhorar o seu conteúdo e acessibilidade.

Segundo Bellen (2005), os indicadores são parte de um sistema de informação sobre o desenvolvimento sustentável, os quais devem coletar e gerenciar informações, a fim de fornecê-las para a ferramenta de avaliação, sendo necessário para isso, a integração de dados de natureza social, econômica e ambiental, provenientes de diferentes fontes.

Constata-se, entretanto, uma grande dificuldade de reunir, avaliar, e transformar a diversidade de dados disponível em informação útil, capaz de possibilitar o acompanhamento adequado das relações que se processam no meio ambiente em toda a sua complexidade, constituindo dessa forma um obstáculo para a elaboração de indicadores de sustentabilidade confiáveis.

Em resposta a essa situação, a Agenda 21 das Nações Unidas em seu capítulo 40 faz uma série de recomendações aos países e às organizações internacionais quanto à formulação e utilização de indicadores de sustentabilidade entre as quais a adoção de novas técnicas de fusão e análise de dados tais como a teledetecção, os sistemas de informações geográficas e a elaboração de modelos, entre outras.

Nesse aspecto, a utilização de recursos computacionais modernos, que possibilitem o tratamento eficaz dos dados ambientais tem se tornado um fator importante, permitindo agilizar as rotinas de monitoramento e gestão e conferindo confiabilidade aos resultados finais obtidos. Entre os instrumentos disponíveis para o gerenciamento de dados ambientais e suporte à tomada de decisão o geoprocessamento possibilita, segundo Xavier da Silva (2001), focalizar primordialmente o levantamento e a análise de situações ambientais representadas por conjuntos de variáveis georreferenciadas e integradas em uma base de dados digitais.

A principal característica desse segmento tecnológico de acordo com Silva (2003), refere-se a sua capacidade de integrar e transformar dados espaciais. Esta capacidade de manipulação de dados georeferenciados, repercute sobre a possibilidade da utilização do geoprocessamento em todas aquelas tarefas onde a localização espacial seja importante, razão pela qual Christofolletti (1999) compreende que *“os sistemas são de informações a respeito de dados em unidades espacialmente distribuídas focalizando os fenômenos ocorrentes na superfície terrestre e os seus atributos”*.

Outra característica importante dessas ferramentas que deve ser ressaltada diz respeito a sua multidisciplinaridade - recorrente tanto no desenvolvimento das técnicas quanto na sua aplicação, possibilitando o seu emprego nas mais diversas atividades, e com diferentes objetivos. Nesse aspecto destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), os quais compreendem, segundo Silva (2003), *“uma convergência de campos tecnológicos e disciplinas tradicionais”*, tais como a Ciência da Computação, Gerenciamento das

Informações, Cartografia, Geodésia, Fotogrametria, Topografia, Processamento Digital de Imagens e a Geografia.

No caso do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade ambiental o uso do geoprocessamento como elemento de apoio em sua formulação e aplicação torna-se fundamental, pois permite a organização, manipulação e o processamento de uma grande diversidade de dados, possibilitando a geração de inúmeras informações de natureza espacial, as quais podem subsidiar o processo de formulação de indicadores de sustentabilidade dos sistemas ambientais, uma vez que *“a espacialidade é característica inerente aos sistemas ambientais”* (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Dessa forma, entende-se que o geoprocessamento deve necessariamente constituir parte essencial de um sistema voltado para formulação de indicadores ambientais, pois além de agilizar a obtenção de informações através de seus módulos de armazenamento, fusão e análise de dados, estes sistemas permitem otimizar a divulgação e a compreensão dos resultados por todos elementos envolvidos no processo nos diferentes níveis de decisão abrangidos, através da comunicação visual dos resultados, oportunizado pelas ferramentas de saída de dados presentes nesses sistemas, as quais possibilitam a geração de gráficos, relatórios e mapas temáticos referentes aos indicadores.

Winograd e Eade (1997), ressaltam as vantagens da utilização dos Sistemas de Informações Geográficas no sentido de propiciar a integração de indicadores em um ambiente georreferenciado, facilitando através da apresentação visual a compreensão das relações de causa e efeito presente nos modelos voltados a geração de indicadores, em relação a isso afirmam:

*“Geographical Information Systems (GIS) are a useful, and perhaps necessary, tool for incorporating environmental indicators into the development process. The integration of economic, social and environmental indicators in a spatial framework allows for more powerful and realistic analyses than those offered by conventional non-spatial methods. In this way the cause-effects relationships alluded to in indicator models and frameworks, such as the Pressure-State-Impact-Response model, may be identified and analysed with greater accuracy and realism.”*⁸ (Winograd e Eade, 1997, Box 1C)

Seguindo essa tendência, Langaas (1997), alerta para o fato de que surpreendentemente a dimensão espacial não tem sido priorizada e até mesmo negligenciada por muitos grupos que buscam elaborar indicadores ambientais ou de desenvolvimento sustentável. Em função disso, o autor busca demonstrar a importância da extensão espacial daqueles indicadores

relacionados pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (UN/CSD), em 1996, bem como as vantagens do emprego de sistemas de informações geográficas através das suas ferramentas de amostragem, análise, gerenciamento de dados, visualização e integração com a Internet.

Desse modo, Langaas (1997), recomenda uma ampliação do pensamento espacial, pois reconhece o uso dos SIG's como a tecnologia mais apropriada, para o gerenciamento e a divulgação de informações a cerca dos indicadores de sustentabilidade ambiental quer seja nos níveis municipal, nacional, regional ou global.

O geoprocessamento tem constituído em nossos dias uma base instrumental adequada para o gerenciamento dos recursos naturais e a análise do meio ambiente, nesse sentido representa atualmente um avanço em relação às técnicas convencionais de gerenciamento e controle ambiental, sobretudo no que se refere à integração de dados, e na sua capacidade de conjugar tecnologias. Tais características conferem a esse segmento tecnológico um grande potencial para aplicações, voltadas tanto à geração de informações que servirão de base para a formulação de indicadores ambientais, quanto para a espacialização desses indicadores e de suas componentes.

3.1. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO GEOPROCESSAMENTO

O termo geoprocessamento de uma forma geral engloba o universo de sistemas informacionais destinados ao processamento de dados georreferenciados, entre os quais incluem-se os sistemas de cartografia digital, os sistemas de desenho assistido por computador (CAD), os sistemas de processamento de imagens e os sistemas de informações geográficas (SIG). Considerando isso, Lisboa Filho (1997), explica que a palavra geoprocessamento é um termo genérico aplicado ao conjunto das tecnologias relacionadas à cartografia digital, sensoriamento remoto e SIG, sendo que essa denominação é derivada da terminologia utilizada em alguns países de língua inglesa os quais utilizam a expressão “*Geomatics*” para se referir ao campo de atividades que a partir de uma abordagem sistêmica procura integrar a diversidade de meios disponíveis à aquisição e gerenciamento de dados espaciais.

A partir dessa concepção referente a sua denominação, pode-se considerar que o geoprocessamento constitui-se de um conjunto de tecnologias voltadas para aplicações espaciais, ao qual Silva (2003) atribui a denominação de *geotecnologias*. Nesse aspecto,

Câmara *et. al.* (2003), visando estabelecer bases epistemológicas para uma Ciência da Geoinformação, consideram que “*apesar do caráter interdisciplinar, o fundamento básico da Ciência da Geoinformação é a construção de representações computacionais do espaço.*”

O termo geoprocessamento denota ainda, segundo Câmara e Medeiros (1998), uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Ao encontro disso, Mendes e Cirilo (2001), consideram que o geoprocessamento se insere como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais, em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes (por exemplo: imagens de satélite, mapas cadastrais, mapas topográficos, mapas de solos, etc.) e diferentes escalas com dados descritivos (dados tabulares). O resultado destas manipulações, geralmente, é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

Ao abordar as técnicas de geoprocessamento de forma mais ampla percebe-se que estas, buscam reconstituir a realidade espacial presente no mundo real através do emprego de modelos. Segundo Xavier da Silva (2001), isso é reflexo da percepção sistêmica presente nos modelos científicos pela qual se interpreta a realidade. No caso do geoprocessamento, busca-se representar essa realidade através de uma base de dados georreferenciada, composta por entidades espaciais e seus respectivos atributos estruturados em planos de informação. Dessa forma, de acordo com Mendes e Cirilo (2001), o geoprocessamento consiste de “*mais uma das técnicas que permitem modelar o ambiente*”, constituindo ao que Xavier da Silva (2001) denomina de “*modelo digital do ambiente*”.

Em função dessa concepção, Mendes e Cirilo (2001) advertem que uma das dificuldades atuais do geoprocessamento consiste em representar todas as relações, variáveis e propriedades do mundo real, pois estas são muito mais complexas do que a capacidade atual dos programas de geoprocessamento em representá-las. Apesar disso esses autores ressaltam que graças as suas capacidades analíticas e de apresentação de dados os sistemas de geoprocessamento podem contribuir nas tarefas de elaboração de modelos ambientais.

Entre as principais contribuições do geoprocessamento para com as atividades voltadas às investigações ambientais, Xavier da Silva (2001), ressalta sua grande capacidade de

comunicação visual além da sua aptidão natural em conjugar inúmeros dados de naturezas diversas, no que se refere a tipos, escalas, resoluções, etc.

Entretanto, a fim de alcançar os benefícios proporcionados pelas tecnologias de geoprocessamento, é imprescindível a disponibilidade de uma base cartográfica confiável, e adequada a integração dos dados georreferenciados, o que constitui o principal propósito desses sistemas. Para isso, Xavier da Silva (2001), recomenda que em geoprocessamento, é fundamental que o dado ambiental representado na forma digital, o seja de forma integral, isto é, contemplando seus atributos geométricos (localização, forma, extensão e conexões) e lógicos (qualificação taxonômica).

Nesse sentido, Lisboa Filho (1997), enumera quatro aspectos que caracterizam um dado georreferenciado: a descrição da entidade geográfica representada, a localização geográfica da entidade, o relacionamento entre a entidade representada com outras entidades do sistema, e o momento ou intervalo de tempo em que a entidade existe ou é válida (dimensão temporal). Segundo esse autor, tais aspectos compreendem os atributos alfanuméricos e geográficos. Considera, ainda, que devido ao fato desses dados representarem entidades ou fenômenos geográficos, naturais ou produzidos pelo homem, os quais encontram-se distribuídos sobre a superfície da terra, sua obtenção compreende um processo mais complexo do que aqueles utilizados em sistemas convencionais, sendo necessário para a sua captura o emprego de técnicas de fotogrametria, sensoriamento remoto, levantamento de campo, os quais devem ser devidamente convertidos visando o seu armazenamento em ambiente digital.

Contudo é necessário salientar a diferença existente entre dado e informação, nesse sentido Silva (2003), afirma que os dados correspondem “*a um conjunto de valores numéricos ou não relativos a descrição de fatos do mundo real,*” enquanto as informações compreendem “*um conjunto de dados que possuem um determinado significado para um uso ou aplicação em particular*”, ou seja, uma informação representa uma determinada forma de interpretação.

Todavia, Xavier da Silva (2001), adverte que apesar dos avanços da tecnologia da informação terem permitido um “*crescimento exponencial à disponibilidade de dados*”, assim como a disseminação dos meios computacionais permitiram a redução dos custos relativos a *hardware*, as tarefas relativas à geração, identificação, classificação e análise de dados são ainda muito dispendiosas, em termos de tempo, dinheiro e recursos humanos.

Por conseguinte, a fim de evitar o desperdício de recursos, a qualidade dos dados constitui fator de grande importância. Nesse aspecto, Faiz *apud* Lisboa Filho (1997), afirma que “*erros são inerentes aos dados espaciais, mas o importante é que o usuário esteja consciente da natureza e da importância do erro*”, uma vez que esses erros podem afetar o resultado das análises, devendo portanto serem avaliados de forma adequada. A ocorrência de erros na geração de dados decorre dos diversos processos envolvidos na sua obtenção, tratamento ou interpretação, contudo a qualidade dos dados georreferenciados, segundo Aspinall e Pearson *apud* Lisboa Filho (1997), pode ser medida através da análise dos seguintes fatores: *acurácia posicional, acurácia dos atributos, consistência lógica, completeza de informações, fator tempo e histórico do processo de obtenção dos dados*.

Ainda que o geoprocessamento possa apresentar limitações na representação e manipulação de dados espaciais, as geotecnologias através dos seus principais segmentos tecnológicos, constituídos pela cartografia digital, o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas, oferecem diversas alternativas voltadas para o tratamento dos problemas de expressão espacial, tais como aqueles vinculados a temática ambiental. O conjunto dessas técnicas, conjugadas a um enfoque multidisciplinar, têm permitido uma nova forma de análise dos problemas ambientais, a partir da consideração de fatores outrora impossíveis de detectar ou de difícil acompanhamento por meios convencionais.

3.1.1. Cartografia Digital

Atualmente a evolução dos recursos computacionais e o surgimento das técnicas de computação gráfica, tornou possível o surgimento de sistemas informacionais capazes de agilizar as atividades pertinentes à geração de produtos cartográficos, bem como àquelas tarefas relativas à revisão, atualização e manipulação de material cartográfico.

Conforme Oliveira (1993), “*pode-se afirmar, com muita segurança, que o mapa é, de todas as modalidades da comunicação gráfica, uma das mais antigas da humanidade, nesta premissa: todo povo, sem exceção, nos legou mapas.*” A evolução experimentada pela cartografia desde os primeiros mapas elaborados pelos povos da antiguidade passando pela idade média e as grandes navegações, até chegar as modernas técnicas de representação do espaço geográfico através de imagens obtidas pelos sensores orbitais representa a importância estratégica dos homens conhecerem o espaço onde desempenham suas atividades.

No último século, a expansão capitalista exigiu um maior conhecimento do mundo, fazendo com que as técnicas de mapeamento fossem aperfeiçoadas. Dessa forma, o surgimento das técnicas de detecção de imagens permitiu a execução de levantamentos com alto grau de precisão. Da mesma forma a aplicação de modelos matemáticos e de cálculos estatísticos no tratamento de variáveis geográficas repercutiu na geração dos mapas modernos.

Estes avanços têm produzido uma significativa transformação nas tarefas relativas a produção de mapas, impondo dessa forma uma revisão tanto das práticas como dos conceitos utilizados pela cartografia. Nesse sentido, segundo a Associação Cartográfica Internacional (ACI), *apud* Oliveira (1993), a cartografia é tradicionalmente definida da seguinte forma:

“Conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentação, com vistas à elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, assim como a sua utilização.” (Oliveira, 1993, p.13)

Esta definição foi formulada por ocasião do XX congresso Internacional de Cartografia ocorrido em 1964 em Londres. Mais recentemente, Teixeira e Christofolletti (1997), definiram a cartografia como sendo a *“ciência cujo objeto é organizar, apresentar e utilizar a informação geográfica nas formas visual, digital ou tátil, incluindo todos os processos de aquisição, preparação e apresentação de dados.”* Não obstante, esses mesmos autores definem a cartografia digital ou assistida por computador (CAC), como sendo *“um processo em que a construção de um mapa tem suas etapas executadas por computador, reduzindo a necessidade de intervenção humana.”*

Pode-se afirmar que a evolução proporcionada pelo emprego da informática na cartografia abrange todas as atividades envolvidas na produção cartográfica, tanto nas tarefas de gabinete, tal como a restituição digital ou mesmo a edição e conversão de produtos cartográficos convencionais para o formato digital, quanto nas tarefas de campo, através do emprego de estações totais nos levantamentos topográficos ou no georreferenciamento de feições através de receptores GPS (*Global Positioning System*) para o apoio terrestre dos levantamentos aerofotogramétricos.

Apesar desse avanço, Lima *et. al.* (2002), advertem que os mapas e cartas são produtos da cartografia, independente do formato em que estão dispostos (analógico, digital ou misto), pois de acordo com essa visão, o meio utilizado para veicular a informação cartográfica

(monitor de vídeo, maquete, globo terrestre, papel, etc.), qualquer que seja, consiste apenas de um instrumento de comunicação, não devendo interferir no conteúdo da informação cartográfica.

Os sistemas de CADD (*Computer-Aided Design and Drafting*) ou simplesmente CAD (*Computer-Aided Design*) inicialmente voltados para as necessidades das indústrias automobilística e aeronáutica nos Estados Unidos e Europa, desenvolveram-se a partir dos anos sessenta, foram popularizados e já na década de 1980 passaram a ser largamente aplicados na arquitetura e engenharia. No decorrer desse período, esses programas também foram empregados na cartografia, em função disso, Fitz (2000), atribui ao surgimento e o emprego de tais sistemas na geração de produtos cartográficos, a origem da chamada Cartografia Assistida por Computador (*CAC – Computer Assisted/Aided Cartography*) ou Mapeamento Assistido por Computador (*CAM – Computer Assisted Mapping*), compreendendo as técnicas que baseiam-se no uso da computação para a geração de mapas.

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), os sistemas CAD consistem de instrumentos destinados a captura de desenhos em formato compatível para leitura por uma máquina. Estes autores buscam ressaltar as diferenças entre as aplicações de CAD e SIG, destacando que a característica básica de um SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos geográficos e o armazenamento e manipulação dos atributos descritivos dos dados geográficos, ao contrário das aplicações CAD, onde os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas.

Um fator determinante em relação à cartografia digital, no que se refere à tecnologia que lhe dá suporte, diz respeito a estrutura de dados empregada. A representação de dados em um formato digital compreende a codificação das entidades geográficas em linguagem binária, ou seja, num formato compatível para ser armazenada em computadores (SILVA, 2003). Nesse aspecto, segundo Câmara e Medeiros (1998), os dados cartográficos digitais podem ser representados basicamente a partir de estruturas vetoriais e matriciais.

Outro fator importante, segundo Silva (2003), que na última década contribuiu para uma maior agilidade nas rotinas de captura de dados georreferenciados voltados para a realização de levantamentos cartográficos, compreende os sistemas de posicionamento por satélite. Estes sistemas, dos quais o mais conhecido é o sistema NAVSTAR-GPS (*Navigation Satellite with*

Time And Ranging), desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, permitem a tomada das coordenadas de um ponto qualquer da superfície terrestre, podendo ser utilizados na determinação de pontos de controle para o georreferenciamento de imagens ou fotos aéreas, bem como o levantamento de feições para a classificação de imagens orbitais ou ainda a execução de levantamentos para fins cadastrais diversos.

Os modos de posicionamento através do sistema GPS pode ser *absoluto* ou *relativo*, esse segundo modo permite efetuar a correção diferencial a partir das leituras de um segundo receptor. O sistema geodésico de referência do NAVSTAR-GPS é o *World Geodetic System* de 1984 (WGS-84), o que de acordo com o caso obriga ajustar os receptores para um sistema de referência local (SILVA, 2003). Além do sistema GPS, também existem os sistema Glonass operado pela Agência Espacial Russa e o sistema Galileo em fase de implantação pela Agencia Espacial Européia (*ESA - European Space Agency*), também a China e Índia já manifestaram interesse em desenvolver sistemas similares.

Entre as inúmeras aplicações da cartografia digital, uma possibilidade que é amplamente utilizada pelas geociências são os modelos numéricos do terreno (MNT) ou modelos de elevação (MENDES E CIRILO, 2001). O MNT é obtido, de acordo com Fitz (2000), através da atribuição de “*valores digitais z para uma porção da superfície terrestre com sua localização (x,y) conhecida.*”. Segundo Moore *apud* Mendes e Cirilo, 2001, o modelo numérico do terreno consiste de uma matriz de números que representam a distribuição geográfica das elevações, os quais podem ser derivados da digitalização de mapas topográficos ou de técnicas de fotogrametria a partir de um par de imagens estereoscópicas.

Tais procedimentos têm permitido que a cartografia assistida por computador preste importante suporte na implementação dos sistemas de informações, pois, segundo Fitz (2000), possibilitam a migração dos produtos gerados em formato convencional para os Sistemas de Informações Geográficas – SIG, viabilizando dessa forma a execução automatizada de boa parte das tarefas de levantamento de dados necessárias a sistemas de gerenciamento e monitoramento ambiental, tais como aqueles voltados para a geração de indicadores ambientais.

3.1.2. Sensoriamento Remoto

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas no estudo e acompanhamento de fenômenos ambientais, pois o trabalho com imagens permite a cobertura de amplas áreas da superfície terrestre a intervalos de tempo que favorecem as atividades de monitoramento e controle, nesse sentido Florenzano (2002), afirma que:

“As imagens de satélite proporcionam uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal (de dinâmica) de extensas áreas da superfície terrestre. Elas mostram o ambiente e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais e pela ação do homem através do uso e da ocupação do espaço.” (Florenzano, 2002, p.65)

Existem várias definições de sensoriamento remoto NOVO, (1992) define essa técnica como:

“Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.” (Novo, 1992, p. 02)

De acordo com Mendes e Cirilo (2001), a ciência tem buscado aproveitar-se de tecnologias como o sensoriamento remoto como fonte de dados e análise sobretudo quando as técnicas tradicionais de obtenção desses dados em campo mostram-se lentas e caras. Moreira (2003), considera que o sensoriamento remoto *“possibilita ao homem obter outros tipos de informações acerca dos recursos naturais, além daqueles perceptíveis pelos órgãos do sentido.”*

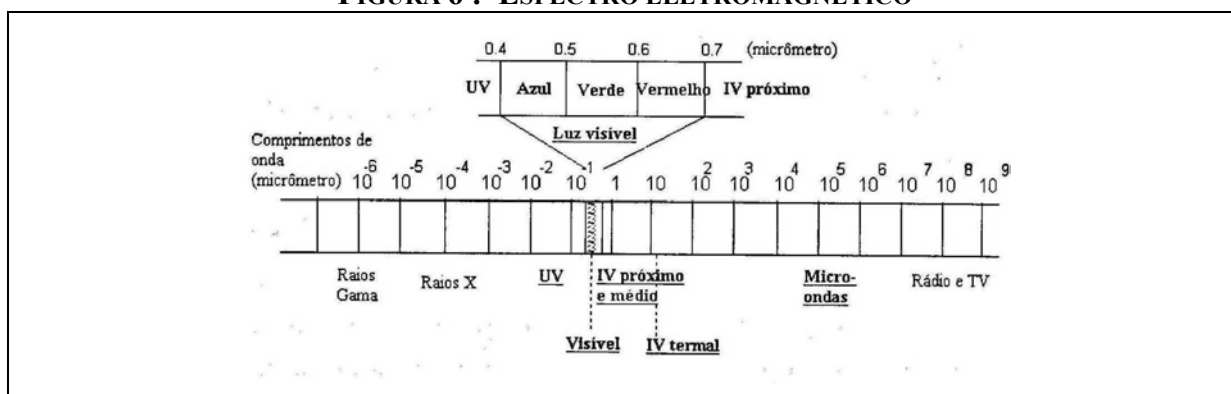
A origem do sensoriamento remoto é, por alguns autores, associada ao surgimento da fotografia aérea e o seu desenvolvimento vinculado ao uso militar dessa tecnologia. *O Manual of Remote Sensing* (ASP, 1975) *apud* Novo (1992), divide a história do sensoriamento remoto em dois períodos: - 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas; - 1960 até os dias atuais caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores. Segundo Florenzano (2002), a primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão e, a partir de 1909, inicia-se a fotografia tomada por aviões cujo uso foi intensificado na primeira Guerra Mundial. Ainda segundo essa autora, na segunda Guerra Mundial foi desenvolvido o filme infravermelho com o objetivo de detectar camuflagem e foi introduzido o uso do radar.

Na década de 1960 foram obtidas as primeiras fotografias orbitais da superfície terrestre pelo satélites tripulados, começaram também os primeiros registros sistemáticos de imagens

da Terra através dos satélites meteorológicos, logo após surgiram os satélites de recursos terrestres. Em julho de 1972 foi lançado o satélite EARTH-1, mais tarde denominado LANDSAT-1, o primeiro de uma série de satélites americanos destinados à observação da Terra. A evolução dos sistemas sensores proporcionou um aumento em nível de detalhes e de qualidade das imagens obtidas, sobretudo no tocante à capacidade de “enxergar” objetos sobre a superfície terrestre que evoluiu de metros para apenas alguns centímetros e a possibilidade de uma melhor diferenciação dos objetos através de um aumento considerável do número de bandas detectadas.

A base física do sensoriamento remoto é a transferência de energia eletromagnética que pode ter origem em uma fonte natural ou artificial. A principal fonte de energia eletromagnética do planeta é o Sol; essa energia propaga-se segundo o modelo ondulatório a uma velocidade de 300.000 km/s com freqüências e comprimentos de onda específicos. Ocorre que a cada combinação de freqüência e comprimento de onda corresponde um intervalo do espectro eletromagnético ou um tipo específico de energia eletromagnética. Desta forma, o espectro eletromagnético abrange desde ondas com curtos comprimentos de onda (alta energia) como os raios gama até ondas com longos comprimentos de onda (baixa energia) como as ondas de rádio, conforme apresenta a figura 6.

FIGURA 6 : ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

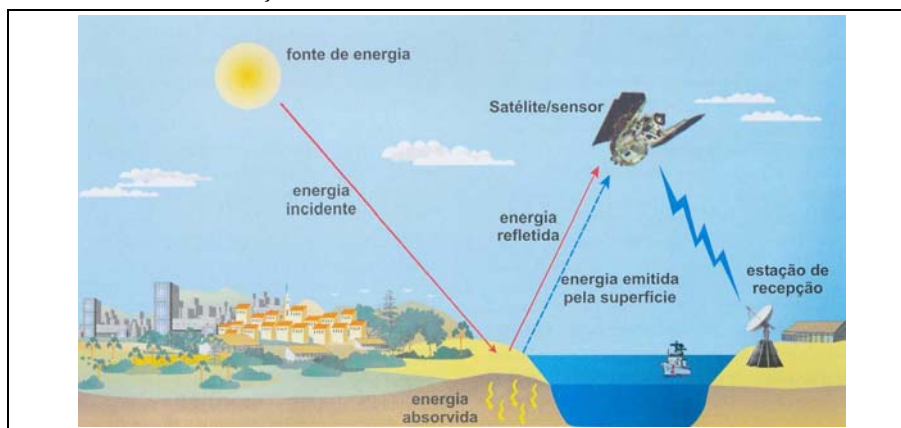


Fonte: Mendes e Cirilo, 2001, p. 192

A energia eletromagnética interage com os alvos sobre a superfície da Terra podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. Nesse processo verifica-se a interferência de fatores decorrentes de características próprias dos alvos e fatores de ordem ambiental, como por exemplo a atenuação da energia incidente pela atmosfera. Parte da energia eletromagnética incidente sobre a superfície terrestre é refletida em direção ao sensor instalado em uma plataforma (satélite), interagindo neste percurso com a atmosfera, essa energia é captada e registrada pelo sensor sendo transformada em sinais elétricos que são

transmitidos para estações de recepção na Terra. Os sinais são então processados, ou transformados em gráficos, tabelas, dígitos ou imagens, conforme mostra a figura 7.

FIGURA 7: OBTENÇÃO DE IMAGENS POR SENSORIAMENTO REMOTO.



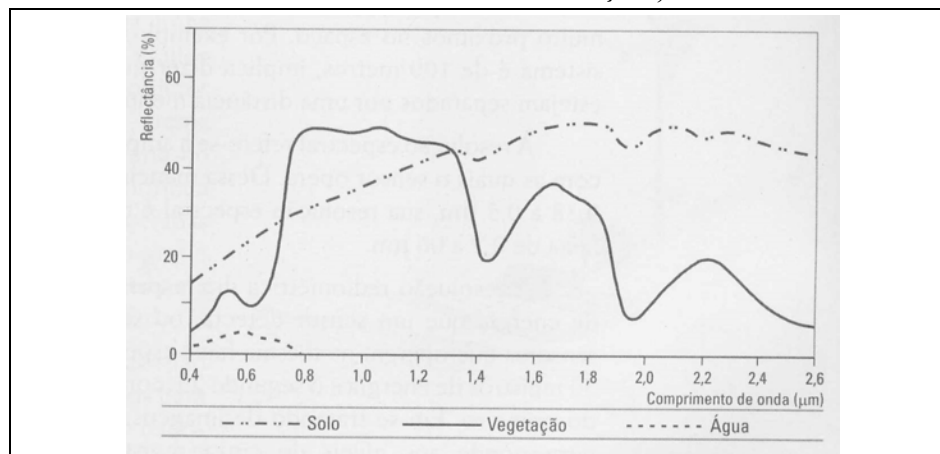
Fonte: Florenzano (2002), p. 9.

Mendes e Cirilo (2001), tendo em vista as etapas para a aquisição de imagens orbitais consideram o sensoriamento remoto como:

“[...] um sistema de aquisição de informações que pode ser subdividido em cinco componentes: 1) Fonte de energia eletromagnética; 2) Meio de transmissão; 3) Alvo na superfície da Terra; 4) Sensor e plataforma e 5) Sistema de processamento. Cada um desses componentes tem um papel, limitando ou controlando o que pode ser medido sobre a superfície da Terra”. (Mendes e Cirilo, 2001, p. 186)

A absorção e reflexão da energia eletromagnética pelos alvos sobre a superfície terrestre se dá em proporções que variam de acordo com a região do espectro eletromagnético e as características *bio-físico-químicas* dos objetos, essas variações podem ser representadas pelas curvas espectrais, ou curvas de resposta espectral. Segundo Mendes e Cirilo (2001), “o objetivo do entendimento das curvas de resposta espectral é obter informações sobre a natureza e o estado dos alvos da superfície terrestre, através de comprimentos de onda específicos.”

A figura 8 apresenta as curvas espectrais da vegetação, da água e do solo com o percentual de reflectância (energia refletida) de cada um de acordo com as faixas de comprimento de onda incidentes.

FIGURA 8: CURVAS ESPECTRAIS DA VEGETAÇÃO, DA ÁGUA E DO SOLO.

Fonte: Venturi, 2005, p. 37.

A análise que Venturi (2005) faz das curvas representativas da vegetação, do solo e da água chega as seguintes conclusões: - a curva representativa da vegetação apresenta absorção no intervalo de 0,45 a 0,65 μm (faixa do visível) e sua reflectância aumenta no infravermelho próximo (0,8 a 1,1 μm), com depressões nos comprimentos de onda de 1,4 μm e 1,9 μm (infravermelho médio) devido à água contida nas folhas; - a curva espectral do solo indica um comprimento mais uniforme, ou seja, uma variação menor de energia refletida ao longo do espectro. De forma geral, os solos possuem baixa reflectância na faixa do visível, aumentando gradativamente até o infravermelho médio. As depressões nos comprimentos de onda de 1,4 μm e 1,9 μm são em consequência do teor de umidade do solo e são acentuadas à medida que o umidade do solo aumenta; - a água apresenta uma baixa reflectância na faixa do visível e absorve praticamente toda a energia a partir do infravermelho próximo.

Atualmente diversos países desenvolvem programas visando o lançamento e operação de satélites voltados para a observação terrestre. Este interesse é despertado tanto pela crescente necessidade de monitoramento dos recursos naturais, bem como pelo caráter estratégico dessas tecnologias, as quais prestam-se a múltiplas finalidades, desde aplicações militares até o emprego na agricultura, meteorologia, meio-ambiente, planejamento urbano entre tantos outros usos possíveis.

Exemplos disso são os diversos satélites utilizados para a coleta de dados de recursos naturais, como os satélites norte-americanos da série LANDSAT (LANDSAT-5 e LANDSAT-7), os franceses da série SPOT, os americanos da série IKONOS, os israelenses da série EROS, o satélite TERRA (EUA – Japão) com os sensores CERES, MOPITT, MISR, MODIS

e ASTER, o satélite americano QUICKBIRD e os satélites sino-brasileiros da série CBERS (CBERS-1 e CBERS-2).

O programa CBERS – China Brazil Earth Resources Satellite é o resultado de um acordo de cooperação técnica entre Brasil e China para a construção de satélites de sensoriamento remoto de recursos terrestres. O primeiro satélite desse programa, o CBERS-1, foi colocado em órbita em outubro de 1999, o CBERS-2 em outubro de 2003 e estão previstos os lançamentos dos satélites CBERS-2B, CBERS-3 e CBERS-4.

O satélite CBERS tem características semelhantes ao LANDSAT e SPOT levando a bordo três tipos de sensores e um sistema de coleta de dados que retransmite, em tempo real, dados reais coletados através de pequenas estações autônomas. Para as próximas versões desses satélites existe a previsão de inúmeras melhorias técnicas inclusive em termos de resolução espacial.

3.1.3. Os Sistemas de Informações Geográficas

Foi graças a evolução dos recursos computacionais e o surgimento das técnicas de computação gráfica, que foi possível o surgimento de sistemas informacionais capazes de manipular dados geográficos e associá-los a mapas em formato digital, possibilitando a realização de análises de caráter espacial a partir do cruzamento de dados alfanuméricos e gráficos, estas técnicas deram origem ao que é reconhecido atualmente como Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

De acordo com Christofolletti (1999), estes sistemas começaram a ser desenvolvidos na década de 1960, paralelamente no Canadá e nos Estados Unidos, visando aplicações voltadas respectivamente ao planejamento territorial e a operação de sistemas de transporte em larga escala. Em função dessas necessidades, os Sistemas de Informações Geográficas foram concebidos de forma a extrair os dados armazenados em um banco de dados, a fim de que fossem analisados e os resultados dessas análises apresentadas na forma de mapas.

Lisboa Filho (1997), afirma que os Sistemas de Informações Geográficas caracterizam-se por sua capacidade de realizar operações de análise espacial através da manipulação de dados georreferenciados. Também segundo esse autor os SIGs têm como uma de suas principais características a capacidade de manipular dados gráficos (mapas, plantas, imagens orbitais, etc.) e dados alfanuméricos de forma integrada.

O uso do termo Sistema de Informações Geográficas, de acordo com Câmara e Medeiros (1998), compreende os sistemas destinados ao tratamento computacional de dados geográficos. Para isso um SIG deve armazenar a geometria e os atributos dos dados georreferenciados. Para estabelecer o vínculo entre as informações descritivas e sua entidade geográfica correspondente, os dados em um SIG devem ter sua localização geográfica associada a um sistema específico de coordenadas (LISBOA FILHO, 1997). Portanto a conexão entre os dados georreferenciados e seus respectivos componentes espaciais, bem como os relacionamentos estabelecidos entre as diversas entidades representadas em um SIG, consiste de um modelo do mundo real, ainda que limitado, uma vez que a realidade é infinitamente mais complexa.

Segundo Câmara e Medeiros (2001), um SIG tem por objetivo principal prover os meios computacionais para que analistas de diferentes áreas de atuação possam determinar “*as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interrelações entre diferentes fenômenos*”, por esse motivo graças a sua ampla gama de aplicações, os SIGs têm sido utilizados nas mais diversas atividades, tanto na geração de informações de caráter geográfico (localização, dimensões, distâncias, etc.) mas principalmente no apoio à tomada de decisão. Atualmente os SIGs têm sido aplicados em diversas atividades, tais como: sistemas de transporte, planejamento e cadastro urbano, telecomunicações, meio ambiente, agricultura, energia e petróleo, recursos naturais, projetos de engenharia, concessionárias de serviços públicos (água, energia e telefonia), segurança pública e defesa, sistemas de saúde, entre tantas outras aplicações possíveis.

3.1.3.1. *Definição de SIG*

Ao se examinar a bibliografia referente aos Sistemas de Informações Geográficas, logo se constata uma grande diversidade de conceitos relativos ao tema, esta diversidade em parte se deve a própria natureza multidisciplinar destes sistemas, mas também a abordagem pela qual estes sistemas são estruturados. Neste aspecto, Cowen *apud* Lisboa Filho (1997), afirma:

“[...] existem quatro abordagens distintas para se definir um SIG: a abordagem orientada a processos, a abordagem da aplicação; a abordagem toolbox (caixa de ferramenta), e a abordagem de banco de dados.” (Lisboa Filho, 1997, p. 14)

Conseqüentemente as definições encontradas na literatura irão variar de acordo com estas abordagens. Não obstante, Silva (2003), considera a tarefa de definir os Sistemas de

Informações Geográficas como um grande desafio, em função de diversos motivos, entre estes destaca o fato dos SIGs constituírem uma tecnologia relativamente recente, sujeita a rápida evolução dos sistemas computacionais que lhes dão suporte, envolver diversos interesses comerciais, além do grande número de consultores em SIG, o seu caráter multi-disciplinar e o debate acadêmico a cerca de qual seria o enfoque principal dos SIGs, são fatores que têm dificultado sua definição de forma mais precisa.

Considerando essa dificuldade, Silva (2003), elencou algumas das definições mais usuais na literatura referente a essa temática. Desse modo, destacamos a seguir alguns dos conceitos mais freqüentemente utilizados:

- **Burrough (1986):** “*um poderoso elenco de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real.*”
- **Cowen (1988):** “*Um SIG é um sistema de suporte à decisão que envolve a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente de solução de problemas.*”
- **Aronoff (1989):** “*qualquer conjunto de procedimentos manual ou computacional usado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados.*”
- **Worboys (1995):** “*Um SIG é um sistema de informações, baseado em computador, que possibilita a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente.*”

3.1.3.2. Estrutura e Organização em SIG

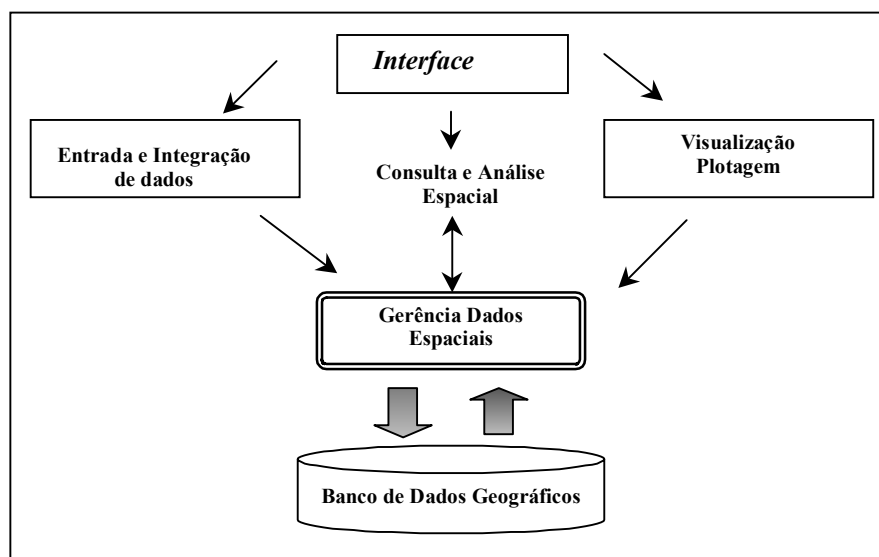
Um Sistema de Informações Geográficas, ainda que de forma genérica deve possuir um grupo básico de componentes para que possa ser considerado como tal, devendo ser estruturados pelos seguintes componentes:

- *Interface com o usuário*
- *Entrada e integração de dados*
- *Consulta, análise espacial e processamento de imagens*
- *Visualização e plotagem;*
- *Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).*

Esses componentes encontram-se estruturados em um SIG a partir de relações hierárquicas (CÂMARA E MEDEIROS, 1998). Desta forma, a Interface do sistema representa a forma de acesso do usuário, ou seja, os mecanismos de operação e controle disponíveis, este conjunto de ferramentas constitui o nível básico de um SIG. A seguir, em nível intermediário,

encontram-se os mecanismos de processamento, responsáveis pela execução das análises, integração de dados, classificação e tratamento de imagens, consultas, visualização e plotagem constituem um conjunto de funções internas de um SIG possibilitando a produção de informações espaciais. Por fim, no nível mais interno de um SIG, encontra-se o sistema de gerenciamento de banco de dados responsável pelo armazenamento e a recuperação de dados espaciais. A figura 9, busca demonstrar como esses componentes se organizam internamente em um SIG.

FIGURA 9: ARQUITETURA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS



Fonte: Adaptado de Câmara e Medeiros, 1998, p. 9

A forma de organização do ambiente de trabalho em um SIG corresponde ao tipo de análise a que os dados serão submetidos, bem como a forma de disposição desses dados, ou seja, de que forma são obtidos, como são armazenados e como serão integrados dentro de um sistema informatizado. Nesse sentido, segundo Câmara e Medeiros (1998), o ambiente de trabalho em um SIG, pode ser organizado de duas formas, tendo por base um banco de dados geográfico ou um projeto específico.

Quando a organização de um SIG tem por princípio um banco de dados, é através do modelo lógico e conceitual que são definidas as entidades, seus atributos e relacionamentos bem como os objetos, ou seja, a representação gráfica de cada entidade. Esta representação gráfica compreende a topologia, a geometria e o aspecto de cada objeto, sendo que cada um desses objetos deverá possuir um identificador único que estabelecerá o “*link*” com o banco de dados, ou seja, que o ligará ao seu registro específico no banco de dados.

Na organização por projetos, a referência inicial é a localização geográfica da área de trabalho, pois é a partir da delimitação de uma região (recorte espacial) que devem ser definidas as entidades geográficas que irão compor o projeto. Nesta forma de organização o banco de dados geográfico poderá ser subdividido em projetos, preservando o seu modelo lógico – conceitual.

Embora existam diferentes enfoques, invariavelmente um projeto de SIG é composto por planos de informação ou *layers*, havendo uma diversidade tanto na sua quantidade quanto nos tipos de formatos e temas de acordo com as características de cada projeto. Cada plano de informação (PI) corresponde a um determinado tema da área em estudo, ou seja, representa uma determinada categoria do arranjo espacial existente, a qual estabelece relações específicas com as demais. Esta forma de organização da informação espacial é que permite a sua integração em um banco de dados geográfico e a execução de análises espaciais através da combinação dos diversos planos de informações.

Os PI's ou *layers* podem variar quanto à sua tipologia, dependendo do tipo de dado ao qual está associado, desta forma um *layer* poderá ser numérico quanto associado a um modelo matemático representativo de uma determinada categoria da área estudada, por exemplo um Modelo Numérico do Terreno (MNT). Um *layer* ainda poderá ter outras tipologias conforme mostra o quadro 2 abaixo:

QUADRO 2: EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE CATEGORIAS DE PLANOS DE INFORMAÇÃO

CATEGORIA	EXEMPLO	ENTIDADE MANIPULÁVEL	FORMATO DE REPRESENTAÇÃO
Temático	Uso do solo, cultura, lotes, etc...	Área	Vetorial, Varredura
Numérico	Altimetria, geofísica, geoquímica	Elemento do Terreno	Amostras, Grades, Varredura ou Vetorial
Imagem	Imagens de Satélite	Banda	Varredura

Fonte: Haertel, 1995, p. 13.

3.1.3.3. Gerenciamento de Dados em SIG

Segundo Xavier da Silva (2001), “o objetivo fundamental de um SGI é produzir informação”, para tanto é necessária a elaboração de uma base de dados capaz de subsidiar esse processo, o que implica na definição de critérios voltados a seleção dos dados, os quais por sua vez deverão ser adequados visando sua integração em um SIG.

Uma base de dados é composta por dados alfanuméricos e gráficos. Os primeiros compreendem o conjunto de dados descritivos ou atributos relativos as entidades espaciais consideradas no SIG, enquanto os segundos compreendem o conjunto de elementos gráficos representativos dessas entidades.

A aquisição de dados em SIG ocorre através dos mecanismos de entrada presentes nesses sistemas. Os processos de aquisição de dados mais comuns em um SIG compreendem a digitalização de mapas e plantas, a importação de dados obtidos em campo através de coletores de dados e/ou receptores GPS, os dados de sensores remotos e seus derivados além da digitação de dados alfanuméricos diretamente na sua base de dados. Entretanto, os procedimentos voltados à aquisição de dados devem ser realizados observando critérios relativos a qualidade dos dados, nesse sentido Silva (2003), afirma que “é indispensável que sejam realizados testes para garantir a acurácia dos dados, uma vez que é praticamente impossível um SIG trabalhar com dados exatos”.

Outro fator determinante a ser considerado em um sistema dessa natureza corresponde a estrutura de dados de um SIG, ou seja a forma como esses dados são representados e armazenados. Segundo Mendes e Cirilo (2001), “os fenômenos do mundo real necessitam ser identificados, agregados, classificados, etc., em conformidade com os interesses dos usuários”, havendo para isso a necessidade de estabelecer modelos para essa representação considerando a tipologia dos fenômenos ou feições geográficas, seus relacionamentos, bem como a forma de mapeamento, captura e análise desses dados. Nesse sentido Câmara e Medeiros (1998) afirmam que “existem duas grandes classes de representações computacionais de mapas: vetoriais e matriciais.”

Na forma de representação matricial ou raster, o espaço é representado como se fosse uma matriz $P(m,n)$, ou seja, de m linhas por n de colunas, onde cada célula é constituída por um *pixel* (*picture element*) sendo identificada por suas coordenadas e pelo valor do atributo

que lhe é associado. Por sua vez, na forma de representação vetorial o espaço é representado a partir de um sistema de coordenadas, considerando três elementos básicos para a representação gráfica dos elementos do mundo real: o ponto, a linha e a área (ou polígono), sendo que a unidade fundamental do dado vetorial é o seu par de coordenadas (x,y) .

Segundo Goodchild *apud* Mendes e Cirilo (2001), uma estrutura de dados matricial ou raster parte de uma visão de campo, pela qual a realidade é modelada por variáveis que possuem uma variação contínua no espaço, tais como temperatura, solos, vegetação, etc., possibilitando que a cada ponto do espaço (que nesse caso corresponde a um *pixel*) seja associado um valor relativo a variável que é representada.

Já uma estrutura vetorial compreende uma visão a partir dos objetos, onde nem todas as posições do espaço estão associadas a uma variável, ou seja, as entidades geográficas são representadas através de objetos geométricos como por exemplo a malha viária, um ponto de captação de água, uma rede de drenagem, etc. Essas diferentes concepções quanto a estrutura de dados em SIG permite a Silva (2003) afirmar que: “[...] o dado raster representa o que ocorre em todos os lugares. O dado vetorial representa onde determinado fenômeno ocorre, ou seja, expressa a localização de todos os objetos.” O quadro 3 apresenta as principais diferenças, de cada estrutura, assim como suas principais vantagens e desvantagens.

QUADRO 3: COMPARAÇÃO ENTRE FORMAS DE REPRESENTAÇÕES DE DADOS ESPACIAIS

ASPECTO CONSIDERADO	REPRESENTAÇÃO VETORIAL	REPRESENTAÇÃO MATRICIAL
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis.	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos.
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos.	Associa atributos apenas às classes do mapa.
Análise, simulação e modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos. Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço. Simulação e modelagem mais fáceis.
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas.	Mais adequado para grandes escalas (1:25.000 e maiores).
Algoritmos	Problemas com erros geométricos.	Processamento mais rápido e eficiente.
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes

Fonte: Câmara & Medeiros, 1998, p.24.

Outro fator determinante a ser considerado em relação aos Sistemas de Informações Geográficas refere-se a forma de armazenamento e manipulação de dados através de um banco de dados geográfico. Segundo Medeiros e Pires (1998), um banco de dados ou base de dados

consiste de um conjunto de arquivos estruturados de forma a facilitar o acesso a conjuntos de informações que descrevem determinadas entidades do mundo. Por sua vez os bancos de dados geográficos distinguem-se dos demais por armazenar dados relacionados com a localização das entidades.

Contudo, para que um banco de dados possa atender a finalidades específicas, torna-se necessária sua estruturação através de um processo de modelagem conceitual de dados o qual compreende, segundo Câmara e Medeiros (1998), *“à forma que se dispõe para traduzir o mundo real em outros domínios”*, ou seja, um modelo de dados consiste de *“um conjunto de ferramentas para descrever como a realidade geográfica será representada no sistema”*. Atualmente os modelos conceituais de dados ou modelos semânticos mais comuns compreendem o modelo relacional baseados no enfoque entidade - relacionamento, o modelo hierárquico e o modelo orientado a objetos.

A fim de implementar um modelo de dados há a necessidade de um software específico, o qual denominamos de Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD). Um SGBD, segundo Medeiros e Pires (1998), *“é um software de caráter geral para manipulação eficiente de grandes coleções de informações estruturadas e armazenadas de uma forma consciente e integrada.”*

Embora os SGBD sejam usualmente empregados de forma integrada aos SIGs, estes sistemas, ainda não são utilizados de forma efetiva no suporte aos SIGs, pois, para que isso ocorra, as funcionalidades desses sistemas devem ser adaptadas (MEDEIROS & PIRES, 1998). Nesse sentido, esses mesmos autores classificam os atuais SIGs em três grupos em função da forma de gerenciamento de dados empregada:

- _ O primeiro grupo compreende aqueles que usam um SGBD para armazenar dados geográficos, como o SPRING;
- _ O segundo grupo corresponde aos que utilizam bancos de dados proprietários para os dados geográficos (exclusivos de um produto), ainda que permitam armazenar dados convencionais em SGBD comerciais, como no caso do IDRISI
- _ O terceiro grupo refere-se aos SIGs que não usam um SGBD e gerenciam diretamente estruturas de dados e arquivos, tal como o sistema GRASS.

3.2. O EMPREGO DO GEOPROCESSAMENTO NO SUPORTE ÀS ATIVIDADES DE ANÁLISE AMBIENTAL

O geoprocessamento, constitui atualmente importante ferramenta para as atividades voltadas à execução de análise e diagnóstico ambiental, sobretudo no que se refere a geração e manipulação de uma base de dados ambientais georreferenciada, pois de acordo com Xavier da Silva (2001), os sistemas geográficos de informação – SGI, são os instrumentos mais adequados para a análise real dos dados ambientais, pois respeitam e integram em si próprios as características fundamentais dos dados ambientais, as quais são:

- a) *os dados ambientais são extremamente numerosos, exigindo o uso do processamento de dados no seu tratamento;*
- b) *são extremamente variados, provenientes de diversas fontes;*
- c) *os dados ambientais são sujeitos à classificações e têm graus variados de complexidade e aplicabilidade, o que impõe o trabalho multi e inter disciplinar;*
- d) *os dados ambientais têm por definição uma localização geográfica, podendo ser geocodificados.*

Fator determinante no emprego das geotecnologias em aplicações ambientais deve-se ao fato dessas utilizarem-se de forma intensiva da informática, o que lhes capacita a realizar o tratamento rápido e eficaz de grande quantidade de dados, comum nas rotinas voltadas a análise do meio ambiente. Esse emprego tornou-se possível graças ao avanço da informática que possibilitou a redução dos custos de equipamentos e programas.

Outro aspecto determinante na disseminação das geotecnologias, refere-se ao seu caráter multidisciplinar, possibilitando seu emprego por técnicos das mais diversas áreas nas suas atividades relacionadas ao meio ambiente, conferindo maior agilidade e confiabilidade a essas tarefas.

No âmbito da modelagem ambiental, FISHER, SCHOLTEN e UNWIN (1996) *apud* Chistofolletti (1999) apontam certas limitações nos SIGs atuais, chegando a afirmar que as denominadas capacidades de análise e modelagem espacial presentes nesses sistemas geralmente não ultrapassam os limites da manipulação de dados em mapas, assinalando que a ausência de funções analíticas e de modelagem é reconhecida como uma das principais deficiências dos SIGs atuais. Não obstante, Chistofolletti (1999), ao avaliar o potencial desses

sistemas para manipulação e análise de dados empregados na modelagem de sistemas ambientais, afirma:

“A modelagem de sistemas ambientais enquadra-se no contexto abrangente da análise espacial. Na obtenção e análise dos dados georreferenciados absorve as técnicas geoestatísticas, interligando-se com o uso e interpretação da documentação relacionada com o sensoriamento remoto e com os sistemas de informação geográfica, considerando e ajustando-se às suas quatro funções básicas: a) entrada de dados; b) armazenagem, recuperação e manejo dos bancos de dados; c) análise dos dados, e d) apresentação de resultados.” (Christofoletti, 1999, p. 31)

As tecnologias agrupadas sob termo geoprocessamento, abrangem inúmeras funcionalidades, passíveis de aplicações ambientais, as quais vão desde a coleta de dados em campo através dos sistemas de posicionamento global até a geração de banco de dados geográficos utilizados na elaboração dos inventários ambientais, passando pela detecção de imagens de sensores remotos e pelas técnicas de representação da cartografia digital como os MNT baseados em modelos geoestatísticos, chegando aos sistemas de informações geográficas propriamente ditos, os quais são capazes de sintetizar todas essas capacidades através de suas ferramentas de análise espacial, abrindo inúmeras possibilidades de aplicações voltadas a gestão, monitoramento, diagnóstico e prognóstico ambiental.

Entre as atividades voltadas para o gerenciamento, controle e preservação do meio ambiente onde atualmente o uso das tecnologias de geoprocessamento, são empregadas de forma intensiva, pode-se citar:

- Na definição de zoneamentos ambientais aplicados no ordenamento territorial;
- Nos levantamentos ambientais voltados a elaboração de inventários;
- Na análise de impactos ambientais visando a elaboração de EIA/RIMA;
- Na determinação de riscos sócio-ambientais e áreas críticas;
- Na análise de vulnerabilidades das unidades ecodinâmicas;
- Na avaliação da sustentabilidade ambiental.

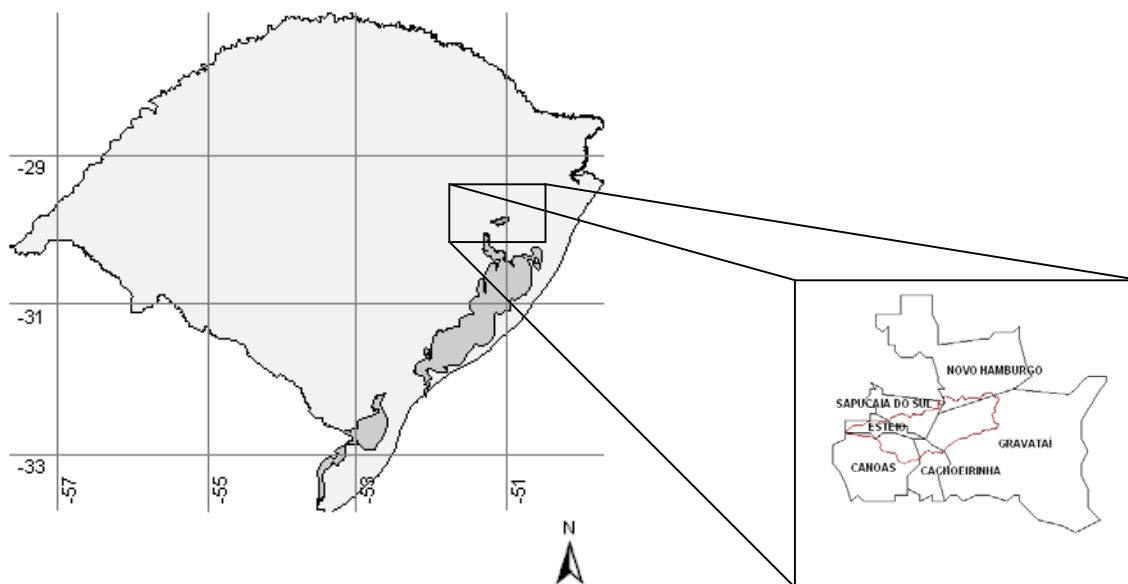
Em todas essas atividades a contribuição das geotecnologias é relevante, possibilitando não só maior eficiência nos processos de avaliação, mas também uma significativa melhoria na apresentação dos resultados, facilitando a compreensão das análises realizadas, através dos produtos gerados na forma de mapas, gráficos e relatórios.

4 – CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia está localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), conforme mostra a figura 10, sendo uma das sub-bacias contribuintes da bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Possui uma área de aproximadamente 131 km² que abrange terras pertencentes aos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul. Seu canal principal, o arroio Sapucaia, estende-se por cerca de 35 km desde suas nascentes localizadas sobre os patamares da Serra Geral, nas vertentes dos morros Itacolomi (335 m), Agudo (330 m) e Quebra-dente (265 m). Sua bacia de contribuição situa-se entre as longitudes 50°58'34"W e 51°13'12"W e as latitudes 29°48'12"S e 29°53'12"S, compreendendo uma extensão de cerca de 25 km no sentido leste a oeste.

A área drenada pelo arroio Sapucaia tem como limites físicos ao sul as bacias dos arroios Demétrio e Barnabé e ao norte as bacias dos arroios José Joaquim e do Quilombo. Estas bacias apresentam condições sócioambientais similares as existentes na bacia do arroio Sapucaia, pois tal como esta localizam-se em áreas densamente urbanizadas. Em seu limite leste, a bacia do arroio Sapucaia encontra-se com os morros testemunhos da Serra Geral e a oeste com a margem esquerda do rio dos Sinos onde está localizado o seu exutório.

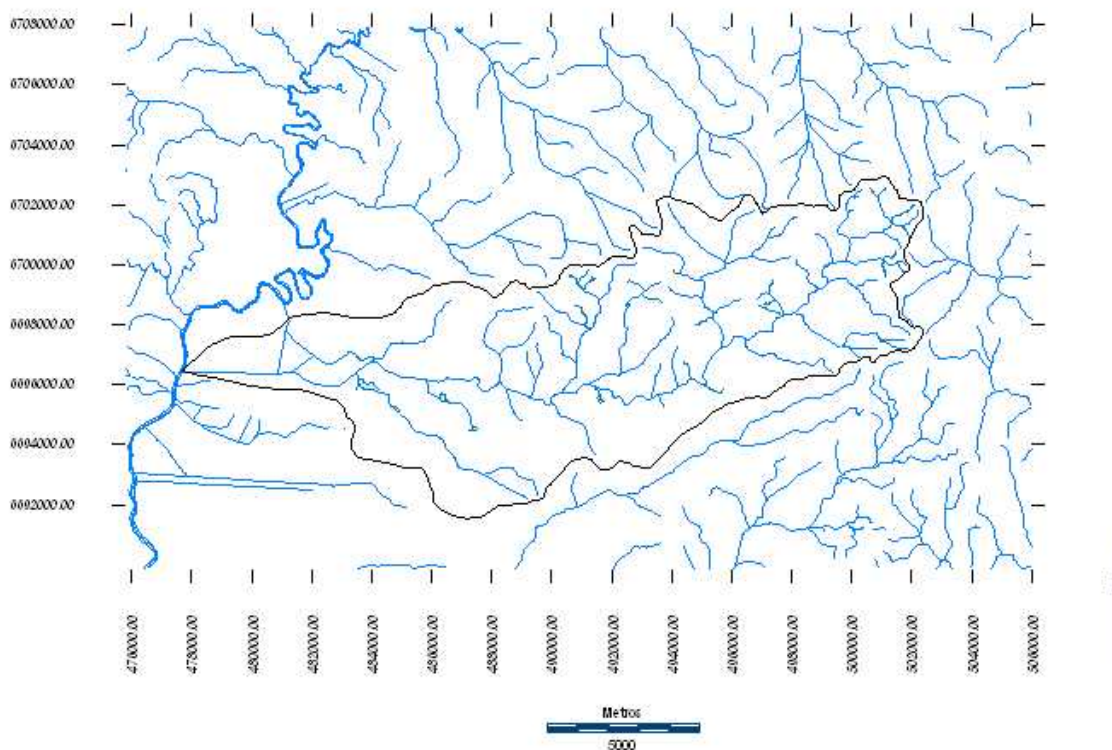
FIGURA 10: ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA



Fonte: Mapa do RS da base de dados do IBGE e RMPA da base de dados METROPLAN. Adaptação elaborada pelo autor sem rigor geométrico.

A bacia de drenagem do arroio Sapucaia apresenta um padrão dendrítico, como pode ser observado na figura 11, sendo formado por inúmeros arroios de pequeno e médio porte, entre os quais se destacam os arroios Ipiranga, da Pedra, Passo Fundo, Moinho, Guajuviras e Esteio, além de alguns canais artificiais. Apresenta um regime de escoamento exorreico, estando a sua foz localizada no rio dos Sinos próximo a divisa dos municípios de Esteio e Canoas.

No trecho que compreende seu curso final junto às instalações da PETROBRAS, o seu canal foi retificado. Também em outros pontos da bacia é possível verificar inúmeras intervenções em seus canais fluviais, tendo em vista adequar seu escoamento a fim de evitar a inundação das áreas próximas às margens, em função de que estas encontram-se sob intensa ocupação urbana. Um bom exemplo disso é a interligação artificial do arroio Esteio ao arroio Sapucaia visando evitar o alagamento da rua Rio Grande na zona urbana do município de Esteio. Contudo, segundo relatório técnico do consórcio Magna-Ecoplan-Beck de Souza, a execução dessa obra acabou resultando em uma sobrecarga da capacidade de escoamento das águas do arroio Sapucaia, quando da ocorrência de precipitações de maior intensidade, bem como o represamento das águas do arroio Esteio.

FIGURA 11 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA

Mapa fonte: folhas SH.22-V-D-VI-4 (São Leopoldo) e SH.22-X-C-IV-3 (Gravataí) da DSG

Ao longo de seu canal principal, a bacia do arroio Sapucaia apresenta uma amplitude altimétrica que supera os 300 metros, o que se reflete em seu perfil topográfico. Suas nascentes encontram-se sobre morros testemunhos da formação Serra Geral. Nesta porção, junto a borda sul da unidade Patamares da Serra Geral, onde os processos de dissecação são mais intensos predominam afloramentos de rochas areníticas da formação Botucatu (IBGE/1996). A figura 12 evidencia a transformação sofrida pelo arroio Sapucaia ao longo desse percurso.

FIGURA 12 : DOIS EXTREMOS AO LONGO DO ARROIO SAPUCAIA

águas claras próximo à nascente



Canal retificado próximo à foz

Fotos : Odir Couto – 26/03/2005 e 06/07/2004

A partir da análise da altimetria obtida através das cartas em escala 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira elaborada pela DSG é possível identificar ao longo do arroio Sapucaia, ao menos três compartimentos topográficos na área da bacia de contribuição, os quais

correspondem as três unidades geomorfológicas identificadas pelo projeto RADAMBRASIL (IBGE/1996) nessa área, através do qual é possível verificar, a partir das imagens de radar, feições relativas as seguintes unidades: Patamares da Serra Geral, Depressão do Rio Jacuí e Planície Lagunar.

O primeiro compartimento topográfico ocorre junto às nascentes e está localizado sobre um conjunto de elevações com altitudes entre 100 e 345 metros e declividades acentuadas. Caracteriza-se por apresentar um terreno movimentado e declivoso constituído por uma série de morros testemunhos e por formas rebaixadas e contínuas produzidas por uma intensa dissecação. Trata-se da unidade Patamares da Serra Geral, que pode ser observada na figura 13. O segundo compartimento corresponde ao curso médio do arroio Sapucaia, com altitudes entre 10 m e 100 m. É formado por terrenos estáveis e com pequenas declividades. Nesta área da bacia, a partir das cotas de 10 metros, se verifica a maior parte da concentração urbana, sendo relacionado à unidade Depressão do Rio Jacuí. Por fim, o terceiro compartimento abaixo da cota de 10 m situa-se junto às margens do rio dos Sinos, próximo a foz do arroio Sapucaia, e caracteriza-se pela existência de uma planície de vazante constituída por terrenos planos com a presença de banhados e áreas alagadas que são aproveitadas para o cultivo de arroz, características estas, por sua vez, correspondentes àquelas da Planície Lagunar.

FIGURA 13 : ASPECTO DOS MORROS TESTEMUNHOS DA FORMAÇÃO PATAMARES DA SERRA GERAL



Fotos: Odir Couto – 26/03/2005

Segundo estudo elaborado pela METROPLAN (2001), o clima da região é caracterizado pela homogeneidade e corresponde na classificação climática de *Köppen* ao mesotérmico do tipo **Cfa**, o que significa que não possui estação seca e as chuvas são distribuídas durante todo o ano com a temperatura média do mês mais quente acima dos 22°C e temperatura média anual igual ou superior a 18°C. Ainda de acordo com esse estudo, a vegetação arbórea encontra-se misturada à vegetação herbácea campestre predominante nos interflúvios, onde os solos rasos não permitem

o desenvolvimento de uma vegetação mais densa, enquanto nas várzeas há o predomínio de uma vegetação herbácea com características hidromórficas.

Os principais resquícios de mata nativa são encontrados nas encostas dos morros testemunhos da serra geral, também junto às nascentes dos arroios e ao longo dos seus canais, onde constata-se a existência de uma estreita faixa de mata ciliar. Entretanto, nas áreas urbanizadas apenas alguns poucos vestígios deste tipo de vegetação pode ser encontrado, devido à inexistência de áreas de preservação e à intensa ocupação irregular das margens.

Nessa área a silvicultura é uma atividade muito presente, principalmente através do plantio de eucalipto (*Eucalyptus spp*), contudo a forma como estas árvores são distribuídas permite o desenvolvimento de um sub-bosque onde há o predomínio de espécies nativas (METROPLAN, 2001). As atividades agrícolas ocorrem de forma mais intensa apenas no extremo oeste da bacia junto às várzeas do rio do Sinos, onde a orizicultura encontra espaço para o seu desenvolvimento, sobretudo na divisa dos municípios de Esteio e Canoas. No leste, próximo às áreas de nascentes, há o predomínio de pequenas propriedades e de sítios de lazer, onde a silvicultura constitui uma cultura alternativa ou complementar à criação de animais e à agricultura de subsistência. Contudo, apesar do predomínio das atividades rurais, essa área encontra-se atualmente submetida a uma forte pressão da expansão urbana.

Outra atividade de certa relevância econômica que se constata dentro dos limites da bacia do arroio Sapucaia, consiste na extração mineral para a produção de brita usada na construção civil. Essa atividade ocorre junto aos morros testemunhos da unidade dos Patamares da Serra Geral como pode ser constatado na figura 14.

FIGURA 14 : EXTRAÇÃO MINERAL PARA A PRODUÇÃO DE BRITA



Fotos: Odir Couto – 26/03/2005

O início do processo de ocupação da bacia do arroio Sapucaia ocorreu durante a colonização do vale do rio dos Sinos. E já naquela época o aproveitamento das águas significou

um elemento de fundamental importância para o seu desenvolvimento, pois foi através da navegação entre Porto Alegre e São Leopoldo que se realizou a ocupação das áreas marginais ao rio dos Sinos, originando os núcleos urbanos das atuais cidades de Canoas, Esteio, Novo Hamburgo, Sapucaia do Sul, entre outras, estendendo a colonização ao longo do rio do Sinos para constituir o que hoje corresponde ao eixo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre. Em relação a isso, Tramontini (2000) observa que o uso das águas foi fundamental para os imigrantes alemães que colonizaram a região:

“o rio foi o centro da colônia e a escolha pela fixação inicial em São Leopoldo se deu porque apresentava o local ideal para um porto. O Sinos era a via de transporte que ligava com Porto Alegre, permitindo a chegada dos produtos necessários para vida na colônia e, principalmente, o escoamento da produção.” (Tramontini, 2000)

As águas do rio dos Sinos consistem, ainda hoje, em fator primordial para o desenvolvimento dessa região. Contudo, atualmente, sua principal função é o abastecimento público, além da diluição de efluentes domésticos, pluviais e industriais, havendo também o uso na agricultura. Entretanto, em muitos de seus contribuintes, sobretudo naqueles de menor dimensão, tais como o arroio Sapucaia, predominam usos menos nobres, principalmente a deposição *“in natura”* de efluentes de toda a natureza. Desta forma, as águas da bacia do arroio Sapucaia encontram-se atualmente submetidas a um acelerado processo de deterioração da sua qualidade.

Do ponto de vista socioeconômico a área da bacia do arroio Sapucaia caracteriza-se por abranger uma região intensamente industrializada ao norte de Porto Alegre e que se constitui como uma área de extensão complementar às funções da metrópole. Esta área compreende quase a totalidade do município de Esteio, a zona norte do município de Canoas, parte da zona urbana do município de Sapucaia do Sul e metade de sua área rural, uma pequena parte do município de Cachoeirinha, além de áreas rurais dos municípios de Gravataí e Novo Hamburgo, estas últimas sobre influência de uma forte pressão urbana decorrente da implantação de novos empreendimentos industriais na região.

Os municípios que compõem a bacia do arroio Sapucaia apresentam segundo os parâmetros do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, um alto nível de desenvolvimento humano, como pode ser observado na tabela 01, a seguir:

TABELA 01 : ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO DOS MUNICÍPIOS DA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA

Municípios	IDH-M	Posição no RS	Posição no Brasil
Cachoeirinha	0,813	106 ^a	316 ^a
Canoas	0,815	96 ^a	288 ^a
Esteio	0,842	16 ^a	58 ^a
Gravataí	0,811	119 ^a	356 ^a
Novo Hamburgo	0,809	123 ^a	385 ^a
Sapucaia do Sul	0,806	142 ^a	444 ^a

Fonte: Censo 2000/IBGE

Os bons níveis de desenvolvimento desses municípios possivelmente estão associados ao fato de abrigar um diversificado e moderno parque industrial, como pode ser verificado pela figura 15, formado por grandes unidades produtivas, entre as quais se destacam, as instalações da REFAP (refinaria Alberto Pasqualini), a fábrica da Areva do Brasil, ambas em Canoas; em Esteio, as fábricas dos grupos Votorantin e Bettanin, além daquelas instaladas ao longo da BR 116 como a Souza Cruz e no distrito industrial de Cachoeirinha. No setor de serviços sobressaem aquelas atividades vinculadas ao setor de logística, tais como os centros de distribuição de combustíveis da BR Distribuidora, da Petróleos Ipiranga e da Schell do Brasil, todas na divisa de Canoas e Esteio, e do pólo de empresas distribuidoras de gás butano, estas localizadas às margens dos arroios Guajuviras e Sapucaia. Além destas, constata-se a existência de inúmeras empresas de transportes, engenharia e construção, manutenção, segurança, educação, saúde e de uma ampla rede comercial.

FIGURA 15 : PARQUE INDUSTRIAL INSTALADO NA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA

Fotos: Odir Couto – 26/03/2005

Nesse aspecto, é relevante o fato de estarem instaladas dentro dos limites da bacia do arroio Sapucaia duas grandes unidades de destinação de resíduos, como é possível visualizar na figura 16, o aterro sanitário metropolitano Santa Tecla, instalado no município de Gravataí, implantado por um consórcio formado pelas prefeituras de Cachoeirinha, Esteio, Gravataí e

Porto Alegre, e administrado pelo DMLU - Departamento Municipal de Limpeza Urbana da capital. Esse aterro recebe os resíduos sólidos dos quatro municípios da RMPA. O outro aterro também localizado em Gravataí, compreende a central de resíduos da empresa Pró-Ambiente que atua na destinação final de resíduos químicos de origem industrial e também resíduos de serviços de saúde. Naturalmente essas atividades são causadoras de impactos significativos, o que tem motivado a organização da comunidade local em torno dos problemas ambientais daí decorrentes.

FIGURA Nº 16 : ATERRO SANITÁRIO SANTA TECLA



Fotos: Odir Couto – 06/07/2004

A concentração industrial existente na bacia do arroio Sapucaia deve-se em parte ao fato dessa região ser cruzada por importantes vias de transporte. Entre estas, a mais importante é a BR 116 pois interliga a zona norte da RMPA, sendo o principal acesso dessa aos centros econômicos nacionais. Além dessa, há também a RS 118 que liga a bacia ao litoral norte e à região serrana do estado, bem como os terminais ferroviários da ALL (América Latina Logística) e a linha do metrô de superfície da TRENURB, responsável pelo transporte de milhares de pessoas diariamente entre as cidades da região e a sua metrópole – Porto Alegre, o que revela outra característica das cidades que compõem a bacia do arroio Sapucaia – a de cidades-dormitórios.

Apesar da concentração de riquezas propiciadas pela intensa atividade industrial, bem como do fato de ostentar excelentes índices de desenvolvimento humano, a área da bacia do arroio Sapucaia não está imune aos problemas de natureza econômica e social que afligem países subdesenvolvidos como o Brasil.

Dessa forma a bacia focalizada nesse estudo, também apresenta sérios problemas de natureza econômica, social e ambiental, podendo ser encontradas, dentro de seus limites, áreas

marginalizadas, tais como as observadas na figura 17, que notadamente encontram-se abaixo dos níveis apontados pelo IDH municipal. Nessas áreas, a população residente tem sua qualidade de vida comprometida, em função da carência de todo tipo de infra-estrutura e serviços essenciais, ficando por isso exposta a situações de risco sócio-ambiental.

FIGURA Nº 17 : VILA IRREGULAR ÀS MARGENS DO ARROIO SAPUCAIA



Fotos: Odir Couto – 06/07/2004

A partir de uma breve análise, pode-se constatar que a bacia do arroio Sapucaia concentra numa área bastante restrita, um amplo conjunto de atividades produtivas de inúmeras naturezas capazes de produzir impactos ambientais, além de reproduzir ou mesmo agravar seus problemas de ordem socioeconômica. Entre os principais problemas de natureza social, econômica e ambiental a serem enfrentados no âmbito da bacia do arroio Sapucaia, pode-se relacionar a necessidade de ampliar a geração de renda e melhorar a sua distribuição, bem como viabilizar soluções adequadas aos problemas de infra-estrutura sanitária recorrentes nessa região.

5 - METODOLOGIA PARA A GERAÇÃO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS EM ÁREAS URBANAS

O propósito básico que orienta esta pesquisa consiste em avaliar a viabilidade da geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas urbanas a partir da base conceitual da Geografia Física, apoiando-se operacionalmente nas geotecnologias e em técnicas de análise quantitativa. Tendo-se isso em vista, serão desenvolvidos os procedimentos necessários para essa finalidade, bem como o modelo utilizado para a obtenção do índice proposto.

Nesse sentido, a metodologia desenvolvida, visando a determinação do índice, teve como diretriz básica os seguintes critérios:

- *a disponibilidade dos dados;*
- *o aproveitamento de dados de fontes diversas;*
- *a capacidade de integração dos dados no modelo;*
- *agilidade na manipulação dos dados e facilidade de compreensão;*
- *baixo custo de aquisição e/ou obtenção dos dados;*

A seleção dos dados utilizados, bem como a sua forma de integração no modelo proposto, procurou refletir as diferentes dimensões envolvidas na questão do desenvolvimento e da sustentabilidade ambiental. Para tanto, procurou seguir as recomendações presentes na Agenda 21 das Nações Unidas, bem como adotar os princípios metodológicos propostos pelo modelo PEI/ER elaborado pela OCDE voltado para elaboração de um conjunto de indicadores e índices de sustentabilidade ambiental.

5.1. PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS ESPACIAL E ALFANUMÉRICA: ADEQUAÇÃO, COMPATIBILIZAÇÃO E SELEÇÃO

A obtenção do índice de sustentabilidade ambiental proposto, compreendeu inicialmente a obtenção de uma base de dados que possibilitasse reunir uma determinada quantidade de informações essenciais às análises pretendidas. Essa atividade, imprescindível para a geração do índice, constituiu tarefa de fundamental importância, sendo determinante para o modelo empregado na integração dos dados, pois é em função desse modelo que foram especificados os procedimentos para aquisição e preparação dos dados utilizados, uma vez que isso repercute diretamente na consistência das informações, ou seja, na sua qualidade.

Essa etapa compreendeu, portanto, as atividades voltadas à preparação da base de dados espacial e alfanumérica utilizada na geração dos “*layers*” e demais informações que dão suporte para o cálculo do índice de sustentabilidade proposto, assim como dos indicadores que irão compor o modelo.

Desse modo, a seguir são detalhados os procedimentos envolvidos na revisão e edição da base cartográfica, abrangendo aqueles relacionados a sua adequação para uso em um SIG, bem como a complementação das informações relacionadas à topografia e à rede de drenagem visando atender as especificidades do projeto quanto a esses aspectos. Também nessa etapa são abordados os procedimentos visando compatibilizar a base de dados utilizada, no que se refere a escala e georreferenciamento das entidades, ou ainda às unidades adotadas nas variáveis. Outro fator observado refere-se ao processo utilizado na seleção dos setores censitários e aos critérios empregados para a seleção dos dados utilizados provenientes desses elementos.

5.1.1. Revisão e Edição da Base Cartográfica

A base cartográfica utilizada neste trabalho constitui-se das folhas MI 2970/4 (São Leopoldo) e MI 2971/3 (Gravataí) da Cartografia Sistemática Brasileira, em escala 1:50.000, com *Datum* horizontal Córrego Alegre - MG e *Datum* vertical Marégrafo de Torres. O material está em formato digital em arquivos do tipo DWG (AutoCad).

As cartas apresentaram algumas características incompatíveis com aplicações em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por exemplo: segmentos de linha truncados, objetos sobrepostos, curvas de nível sem valores de elevação, elementos sem linhas de eixo, etc. A preparação desse material para o uso em SIG demandou um minucioso

trabalho de edição que principia pela identificação e padronização dos diversos “*layers*” que compõem as duas folhas, seguido de um processo de “limpeza” com a eliminação dos objetos sobrepostos e todas as entidades desnecessárias para a aplicação pretendida. Só então, foi possível efetuar a união dos segmentos truncados e a atribuição dos valores de elevação às curvas de nível. Seguindo-se a isso realizou-se a separação das informações ou “*layers*” por tema, a composição das cartas, o traçado da bacia hidrográfica e por fim a delimitação da área de estudo.

O *software* utilizado para o trabalho de edição foi o AutoCad Map 2000 ®, em função da diversidade de ferramentas automatizadas propiciadas por esse *software*, bem como pela facilidade com que efetua o intercâmbio de dados com outros aplicativos (importação/exportação), permitindo dessa forma agilizar as rotinas do trabalho de edição. Os itens a seguir descrevem de forma mais detalhada as diversas etapas que compõem o trabalho de edição.

a) Identificação e padronização dos “*layers*”

Inicialmente faz-se necessário definir o termo “*layer*” tão próprio da ferramenta CAD: “*layer*” pode ser entendido como camada ou nível de trabalho onde entidades ou objetos são agrupados facilitando a organização lógica de um desenho. Pode-se dizer, neste caso, que “*layers*” são grupos de objetos ou entidades relacionados a um tema comum (LISBOA FILHO, 1997).

As duas cartas apresentaram formas diferentes de nomenclatura para os “*layers*”: nomes na carta de Gravataí e números na carta de São Leopoldo. Além disso, diferentes critérios foram utilizados para essas denominações, então foi necessário estabelecer formas de padronização dessas informações de maneira que os objetos gráficos fossem ordenados de forma clara e inequívoca de acordo com a sua natureza.

A identificação dos “*layers*” foi efetuada através do isolamento de cada um e comparação com a carta impressa. Muitos objetos identificados tiveram que ser reclassificados o que implicou na eliminação de alguns desses “*layers*” e na criação de outros. Um “*layer*” específico para os textos foi criado e foi estabelecida uma nova nomenclatura a fim de facilitar a rápida identificação dos objetos.

b) Objetos sobrepostos

A partir da identificação e padronização dos “layers” foi possível encontrar uma série de objetos sobrepostos, em sua maioria no formato de blocos simbolizando entidades como igrejas, escolas, etc. Esses símbolos apesar de representarem uma mesma entidade pertenciam a mais de um “layer”, o que foi corrigido eliminando-se os objetos duplicados e ficando cada entidade com apenas um símbolo que foi classificado segundo a natureza da entidade a qual representa.

c) União de segmentos

As linhas representativas de entidades tais como, curvas de nível, rodovias, rios, redes de transmissão, etc., são construídas a partir de uma série de segmentos (*polylines*) que devem ser agrupados, unidos graficamente, a fim de que formem trechos aptos a serem vinculados a informações tabulares, o que constitui a base dos Sistemas de Informações Geográficas. Este trabalho torna-se tão mais árduo quanto maior for o número de entidades a compor os planos de informação pretendidos e deve ser efetuado de maneira minuciosa de forma a evitar problemas quando da importação desses objetos para o SIG.

d) Dados de elevação das curvas de nível

Um procedimento importante que faz parte da edição das curvas de nível foi a atribuição a cada curva do valor representativo de sua cota. Com os dados de elevação das curvas é possível, através de um processo automatizado baseado em algoritmos de interpolação, gerar o modelo numérico do terreno, um precioso recurso para análises em SIG elaboradas a partir da altimetria.

e) Planos de trabalho

Os planos de trabalho, ou seja, os planos de informação (PIs) de interesse, são conjuntos de “layers” que caracterizam entidades de uma mesma natureza e foram definidos de acordo com quatro temas relevantes para as avaliações pretendidas: altimetria, hidrografia, rede viária e urbano.

f) União das folhas MI 2970/4 e MI 2971/3

As duas folhas que compõem a base cartográfica desse trabalho, Gravataí e São Leopoldo, foram unidas na forma de quatro arquivos em formato DWG referentes aos quatro temas enfocados: altimetria, hidrografia, rede viária e urbano.

g) Delimitação da bacia hidrográfica e das sub-bacias

A delimitação da bacia hidrográfica foi efetuada com base nas informações da hidrografia e da altimetria, resultando numa área de aproximadamente 131km² e 25 km de extensão no sentido E - W, sendo limitada ao norte pelo morro das Cabras, ao sul pela bacia do arroio Demétrio, a leste pelo rio dos Sinos e a oeste pelo morro Itacolomi.

Da mesma forma também foi realizado o trabalho de delimitação das sub-bacias, para tanto foi realizada uma simulação através da função *watershed* do IDRISI 32, o qual realiza uma divisão de bacias em função da topografia. Contudo tal procedimento serviu apenas como elemento de apoio haja vista que o resultado não foi totalmente satisfatório devido as particularidades da área de estudo. Por isso, essa atividade foi realizada através da análise visual das curvas de nível utilizando o *software* AutoCad MAP 2000 para o desenho dos polígonos.

h) Delimitação da área de estudo

A definição da área a ser considerada neste trabalho tomou por base os limites estabelecidos para a bacia hidrográfica, considerando um acréscimo nos eixos horizontal e vertical de forma a definir uma área de forma retangular com as seguintes coordenadas (475.850 mE, 6.690.000 mN) e (506.000 mE, 6.708.000 mN).

5.1.1.1. Complementação da Hidrografia

Com o objetivo de complementar a hidrografia cujos canais de pequenas dimensões não podem ser visualizados na escala de trabalho (1:50.000) foi elaborado um método cuja base é o registro e mosaico das aerofotos somado à sobreposição de planos de informação vetoriais extraídos da cartografia. Para tanto foram utilizadas aerofotos em escala 1:40.000 do ano de 1990 adquiridas junto à METROPLAN – Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional em formato digital. A fim de compor a área da bacia do arroio Sapucaia foi elaborado um mosaico composto de oito aerofotos. O método desenvolvido para a complementação da hidrografia constou das seguintes etapas:

1º) Registro das aerofotos que compõem a área da bacia;

2º) Composição de aerofotos através da elaboração de mosaico;

3º) Sobreposição do plano de informação recurso hídrico (formato vetorial), contendo a hidrografia contemplada na cartografia da escala de trabalho, à imagem (formato raster);

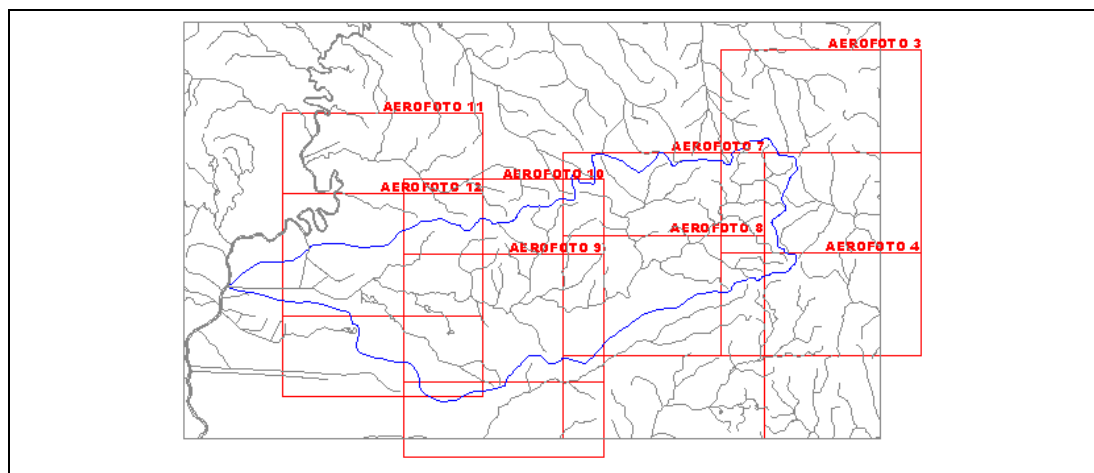
4º) *Sobreposição do plano de informação altimetria (formato vetorial) à imagem (formato raster);*

5º) *Análise visual da composição raster-vetor a fim de identificar onde possivelmente existam canais de pequenas dimensões não contemplados na escala de trabalho;*

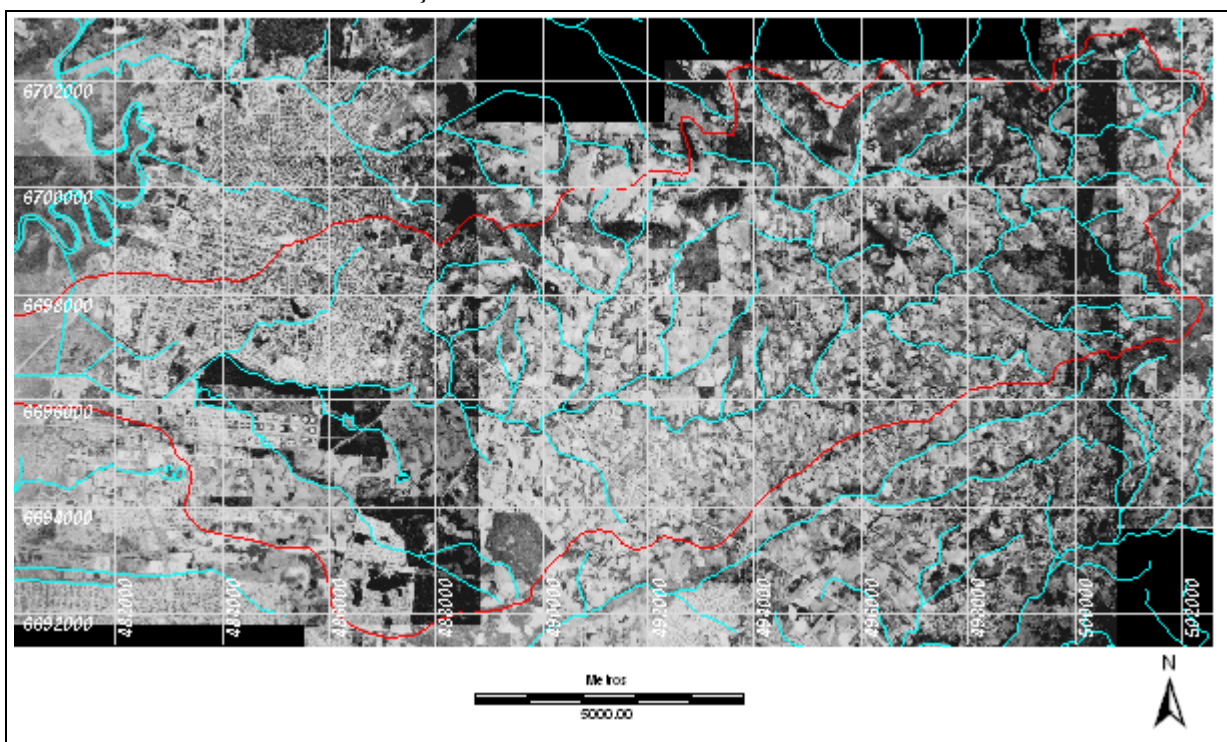
6º) *Análise para a ratificação dos achados na etapa 5 através de utilização de estereoscópio de espelho, marca Wild Heerbrugg, modelo ST-4.*

Medidas provenientes de um digitalizador ou de um scanner são inteiramente relativas ao sistema de referência espacial do hardware, por isso foi necessário efetuar o registro das aerofotos. Através desse procedimento essas medidas foram convertidas para um sistema de referência espacial que permitiu a associação das aerofotos com os demais planos de informação utilizados nesse trabalho. Essa conversão foi efetuada a partir de uma rede de pontos de controle estabelecidos tomando por base as cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, folhas de São Leopoldo – MI 2970/4 e Gravataí – MI 2971/3 com *Datum* horizontal Córrego Alegre-MG e *Datum* vertical Marégrafo de Torres já editadas em meio digital. Os pontos de controle identificados nas aerofotos são, em sua maioria, referentes aos cruzamentos da rede viária ou pontos notáveis da malha urbana perfazendo um total de 61 pontos em toda a área.

O *software* utilizado para o registro das aerofotos (IDRISI 32) permite a avaliação dos erros obtidos nos ajustes entre os pontos de controle cartográficos e os seus equivalentes na imagem, sendo que o erro quadrático médio calculado para cada aerofoto, que estima o quanto as medições se adaptaram ao modelo da equação de transformação, não ultrapassou 4,0 *pixel*. Esse valor pode ser considerado aceitável tendo em vista a aplicação pretendida e os erros inerentes ao processo de digitalização, como por exemplo, o fato do scanner não se deslocar igualmente em relação aos dois eixos ou as diferentes taxas de expansão ou contração do papel nas diferentes direções. O mosaico das aerofotos foi efetuado tomando por base o esquema de composição apresentado na figura 18.

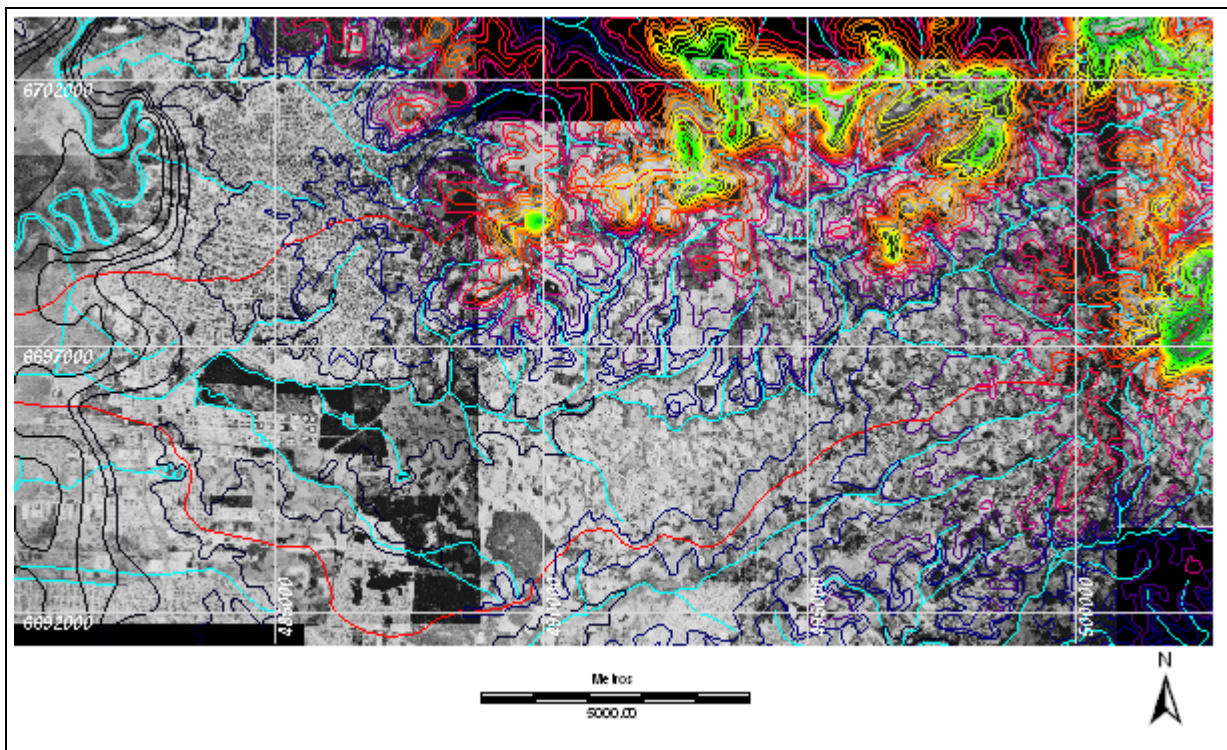
FIGURA 18: MOSAICO DE AEROFOTOS DA ÁREA DA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA

A composição das aerofotos foi efetuada no *software* IDRISI 32 de forma automática usando coordenadas de referência. Nas sobreposições tanto horizontais como verticais procurou-se privilegiar sempre a aerofoto com melhores condições para a análise visual. A figura 19 apresenta o mosaico das aerofotos.

FIGURA 19: COMPOSIÇÃO DAS AEROFOTOS DA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA

Utilizando os recursos do *software* IDRISI 32 os planos de informação vetoriais “hidrografia” e “altimetria” foram sobrepostos à imagem resultante da composição das aerofotos, conforme mostrado na figura 20. Asseguir, através da análise visual e avaliação altimétrica foi possível identificar alguns canais não contemplados pela escala da cartografia.

FIGURA 20: SOBREPOSIÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO “HIDROGRAFIA” E “ALTIMETRIA”



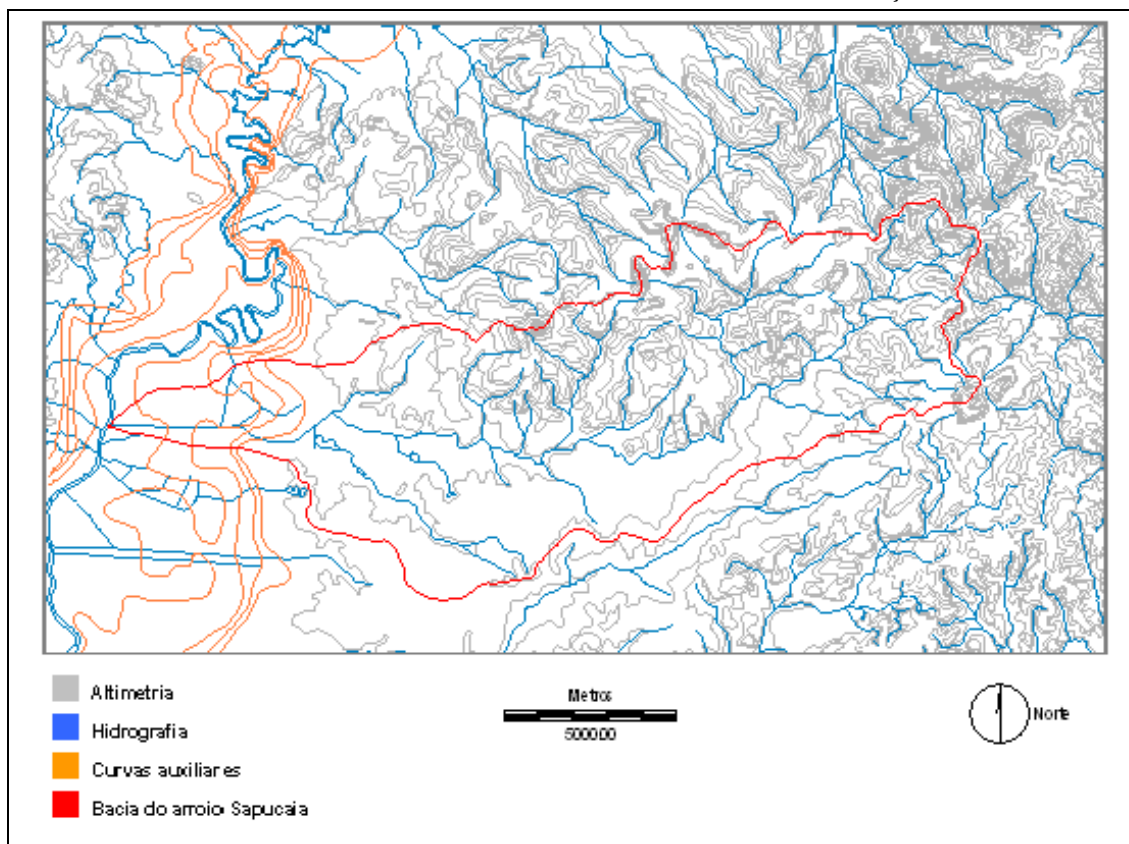
Os canais assim identificados foram avaliados através da utilização do estereoscópio a fim de que se confirmassem os resultados previamente obtidos, que após foram vetorizados passando a integrar o plano de informação “hidrografia”.

5.1.1.2. Complementação da Topografia

Tendo-se em vista a necessidade de adequar a topografia constante na cartografia empregada para a geração de um modelo numérico do terreno (MNT), o qual foi utilizado para o cálculo de variáveis morfométricas, relativas à amplitude altimétrica dos canais e do índice de rugosidade das sub-bacias, a fim dessas variáveis posteriormente serem empregadas no modelo adotado no cálculo do índice de sustentabilidade proposto, foi necessário um processo de adequação da topografia existente através do adensamento das curvas de níveis a fim de evitar distorções no processo de interpolação que irá gerar a base de apoio para a geração do referido plano de informação.

A solução adotada foi a inclusão de curvas auxiliares na área mais plana para as altitudes de 6, 8, 10 e 12 metros. Essas curvas foram traçadas através de um processo de interpolação gráfica tomando por base os pontos cotados mais próximos. A figura 21 apresenta a altimetria da área destacando as curvas auxiliares e sua posição com relação à hidrografia.

FIGURA 21: ALTIMETRIA E CURVAS AUXILIARES PARA A GERAÇÃO DO MNT.



Conforme se verá mais adiante, esta solução mostrou-se satisfatória para a geração do modelo numérico do terreno, possibilitando o cálculo do índice de rugosidade.

5.1.2. Preparação dos Setores Censitários

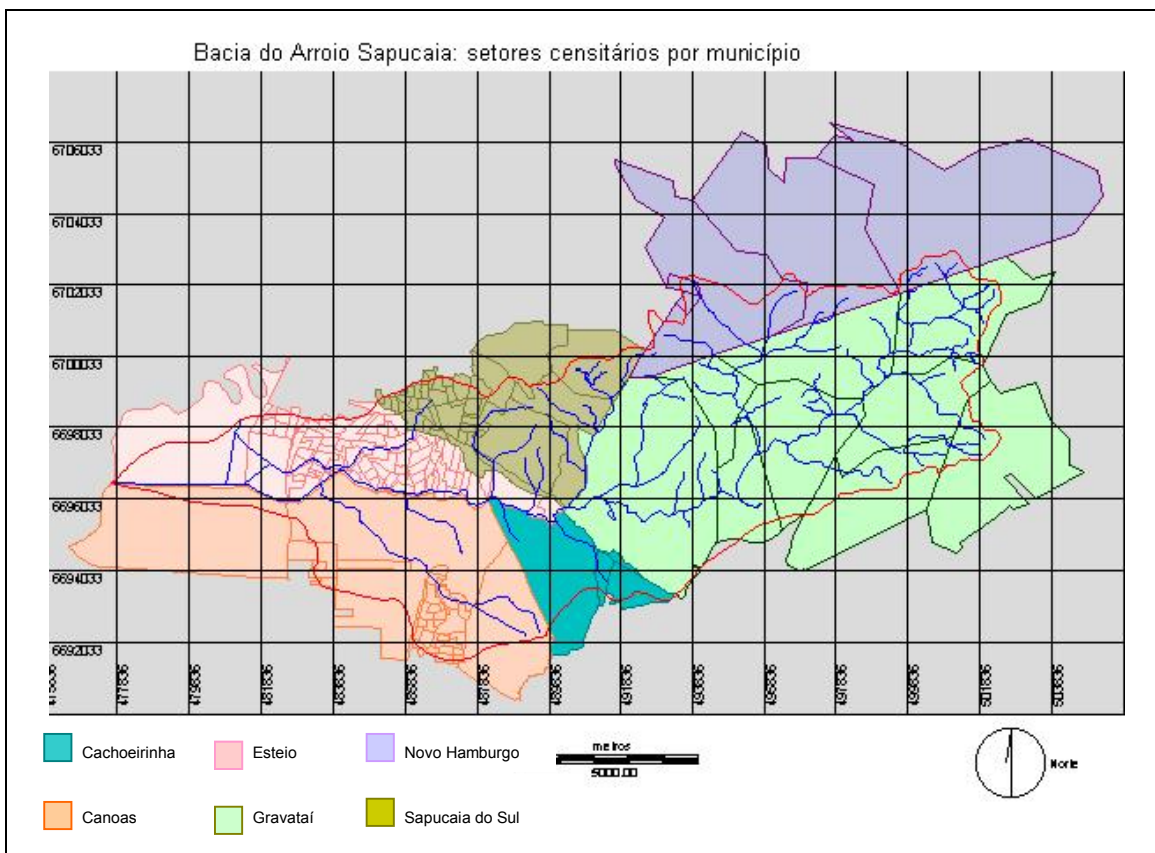
Com o objetivo de obter-se o Fator de Desenvolvimento Humano - FDH foram utilizados os setores censitários dos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Sapucaia do Sul e Novo Hamburgo, pertencentes a área da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Estes dados foram obtidos do CD do IBGE Base de Informações por Setor Censitário - Censo Demográfico 2000 – Resultados do Universo e são disponibilizados em formato *shape file*. Após separados os arquivos de interesse, estes foram abertos no *software* ArcGis 8.0 e através do módulo *ArcToolBox* exportados para o formato DXF para que pudessem ser compatíveis com o *software* AutoCad Map 2000 onde assumiram o formato DWG. Uma vez feita a composição dos seis municípios passou-se então a execução dos serviços de edição gráfica dos cartogramas.

O trabalho de edição dos setores censitários tem como objetivo compatibilizar os limites dos setores que localizam-se na fronteira entre dois municípios em função de haver inconformidades, tais como espaços em branco ou sobreposições. A base deste trabalho foi

o traçado de uma linha entre os dois municípios contendo todos os pontos que compõem os limites dos setores de um lado e de outro da fronteira a fim de que todos pudessem ser ajustados de acordo com esta linha, eliminando as sobreposições e espaços em branco.

Após editadas as fronteiras dos municípios foi necessário descartar os setores que ficaram fora da área da bacia. Para os setores que ficaram na fronteira foram utilizados os seguintes critérios: excluir setores com menos de 25% de sua área no interior da bacia mantendo aqueles cuja exclusão criaria uma descontinuidade espacial importante na composição geral. Desta forma a composição geral abrange 190 setores: 40 setores de Canoas, 89 setores de Esteio e 41 setores de Sapucaia do Sul, 4 setores de Cachoeirinha, 11 setores de Gravataí e 5 setores de Novo Hamburgo, incluindo aí 17 setores classificados como rurais. A figura 22, apresenta a composição dos setores censitários considerados.

FIGURA 22: BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA E SETORES CENSITÁRIOS.



Depois de editados todos os polígonos foi necessário verificar se todos estavam fechados e identificá-los através do código do setor censitário, o qual consiste de um número atribuído pelo IBGE. Encerrado o processo de edição o arquivo DWG foi exportado para o formato DXF compatível com o módulo de importação do software IDRISI 32 onde estes dados foram associados a um banco de dados em ACCESS 97.

5.2. GERAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO PARA SUPORTE AO CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Essa etapa consistiu na execução das operações relacionadas à geração de um conjunto de “*layers*”, por meio das ferramentas presentes no SIG utilizado, voltados a subsidiar o cálculo dos indicadores propostos. Para essa finalidade foram gerados como produtos intermediários os planos de informação relativos ao modelo numérico do terreno (MNT) e ao uso do solo. A seguir são descritas as atividades relacionadas à geração desses produtos.

5.2.1. Processamento e Classificação da Imagem Digital

No presente trabalho foi utilizada uma imagem ASTER, bandas 1 (0,5560 μ m), 2 (0,6610 μ m) e 3N (0,8070 μ m) em composição colorida 231 RGB com 15 m de resolução espacial, obtida em fevereiro/2001. A cena ASTER possui um recobrimento de 60 x 60 km. Inicialmente, foi delimitada uma área retangular de forma a cobrir a área de estudo definida sobre a base cartográfica para posteriormente efetuar as operações de georreferenciamento e classificação.

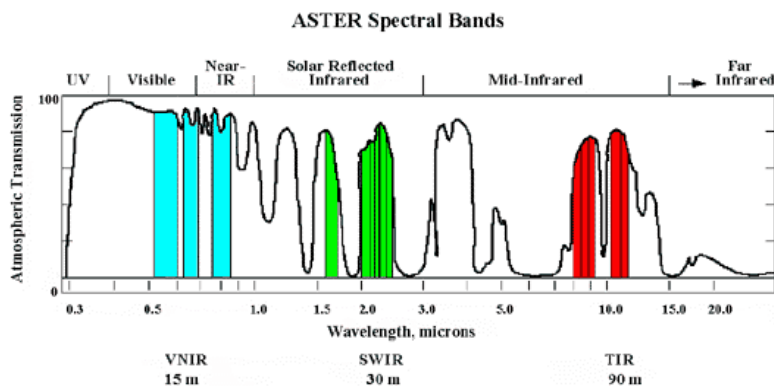
O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um dos instrumentos a bordo do satélite TERRA que obtém imagens com resolução espacial que varia de 15 a 90 m e opera nas regiões do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal. O instrumento ASTER é constituído de três subsistemas de telescópios distintos, cada um operando numa região espectral diferente: VNIR, SWIR e TIR. Ele possui alta resolução espacial, espectral e radiométrica, radiômetro de imagens de 14 bandas. A separação espectral é completada através de filtros de passagem de banda discretos e dicróicos. Este instrumento não adquire dados continuamente, opera por um tempo limitado em partes do dia e noite, a configuração completa coleta dados numa média de 8 minutos por órbita de 99 minutos. A tabela 2 apresenta algumas características técnicas deste sensor.

TABELA 2: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GERAIS DO SENSOR ASTER

Bandas espectrais	Faixa do espectro eletromagnético
VNIR	0.5 – 0.9 μm
SWIR	1.6 – 2.5 μm
TIR	8 – 11,32 μm
Resolução espacial	15 m (VNIR: 3 bandas) 30m (SWIR: 6 bandas) 90 m (TIR: 5 bandas)
Velocidade	8.3 Mbps (média), 89.2 Mbps (pico)
Massa	450 kg
Potência	525 W (média), 761 W (pico)

Fonte: www.engesat.com.br

O sensor ASTER cobre uma faixa do espectro eletromagnético de 0,5 μm a 11,32 μm subdividida em 14 bandas espectrais como demonstra a figura 23.

FIGURA 23: BANDAS ESPECTRAIS DO SENSOR ASTER.

Fonte: www.engesat.com.br

A classificação da imagem foi realizada através do software IDRISI 32, procedendo-se duas etapas de trabalho distintas, primeiro uma classificação automática, ou não supervisionada e num segundo momento a classificação supervisionada.

A classificação não supervisionada, foi realizada apenas como elemento de suporte para a atividade de campo, tendo em vista que os resultados dessa etapa não possuem a consistência necessária para apoiar a elaboração dos índices propostos. A fim de executar a classificação da imagem, foi criada uma composição colorida no nível do visível das bandas 1, 2 e 3N do sensor ASTER, através da função *Composite* do IDRISI 32, essa composição foi utilizada tanto na classificação automática como na classificação assistida.

Com o objetivo de realizar a classificação final da imagem, foi executada atividade de campo visando a coleta de amostras e pontos de controle para a classificação final da imagem e o seu georreferenciamento, bem como para o reconhecimento da área de trabalho, necessário para subsidiar a avaliação dos resultados a serem obtidos. Para essa finalidade foi utilizado um GPS de navegação da marca Garmim, modelo Etrex Vista, com precisão na faixa de 5 a 15 metros, considerada satisfatória em função da escala de trabalho utilizada. Também foram elaboradas planilhas para a coleta de informações e sua posterior tabulação.

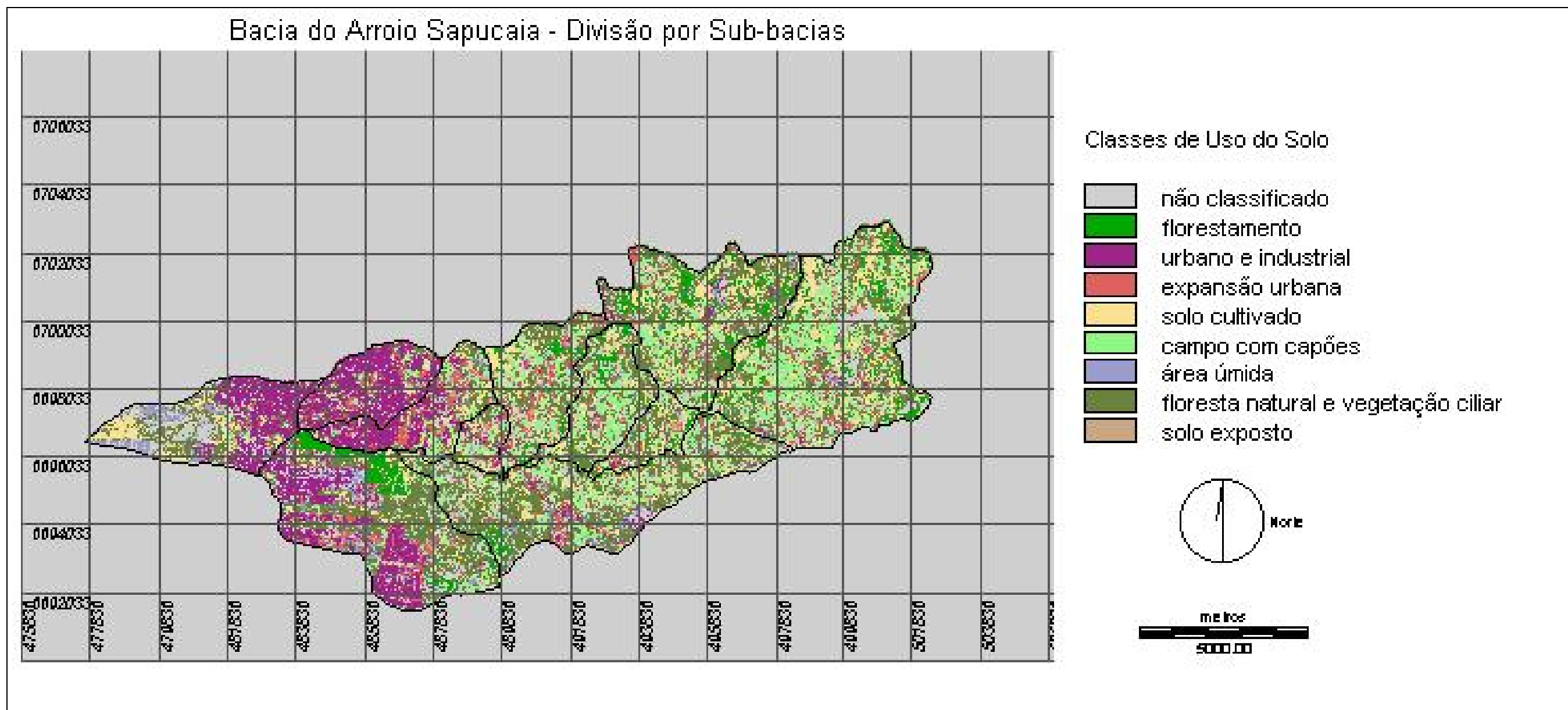
A etapa de classificação final da imagem, também realizada através do software IDRISI 32, consistiu na elaboração de um arquivo de amostras de *pixels* ou “amostras de treinamento”. Segundo Crosta (1992), cada conjunto de treinamento deve conter um mínimo de 100 *pixels*. Isso se deve ao princípio da classificação, o qual é baseado no uso de algoritmos que buscam classificar os *pixels* em função da sua assinatura espectral, ou seja por seus valores de reflexão de energia eletromagnética.

A partir do arquivo de amostras foi criado um arquivo de assinaturas, onde associa-se, com base nas informações obtidas em campo e na própria classificação automática realizada previamente, as amostras de *pixels* com as classes de uso. Nesse caso foram determinadas oito classes de uso predominantes, as quais são: florestamento, campo com capões, floresta natural e vegetação ciliar, área úmida, área de expansão urbana, área urbana e industrial, área cultivada e solo exposto.

Após estas etapas preliminares, o *software* IDRISI 32, já está apto a realizar a classificação propriamente dita, pois já possui a base de dados necessária para processar a operação. A operação de classificação assistida, foi realizada utilizando o método da Máxima Verossimilhança ou MAXVER, o qual considera ponderação das distâncias das médias das classes utilizando parâmetros estatísticos, segundo Moreira (2003), “*nesse método a distribuição espectral das classes de uso do solo é considerada como tendo uma distribuição normal, ou seja, gaussianas*”, o que significa dizer que uma amostra deverá ter uma resposta espectral que varia em torno de uma média.

Através dessa operação obteve-se uma imagem classificada de acordo com as oito classes de uso predominantes identificadas na área da bacia. A figura 24 apresenta o mapa resultante, contendo a distribuição das classes de uso nas sub-bacias do Arroio Sapucaia.

FIGURA 24 : BACIA DO ARROIO SAPUCAIA - CLASSES DE USO DO SOLO NAS SUB-BACIAS

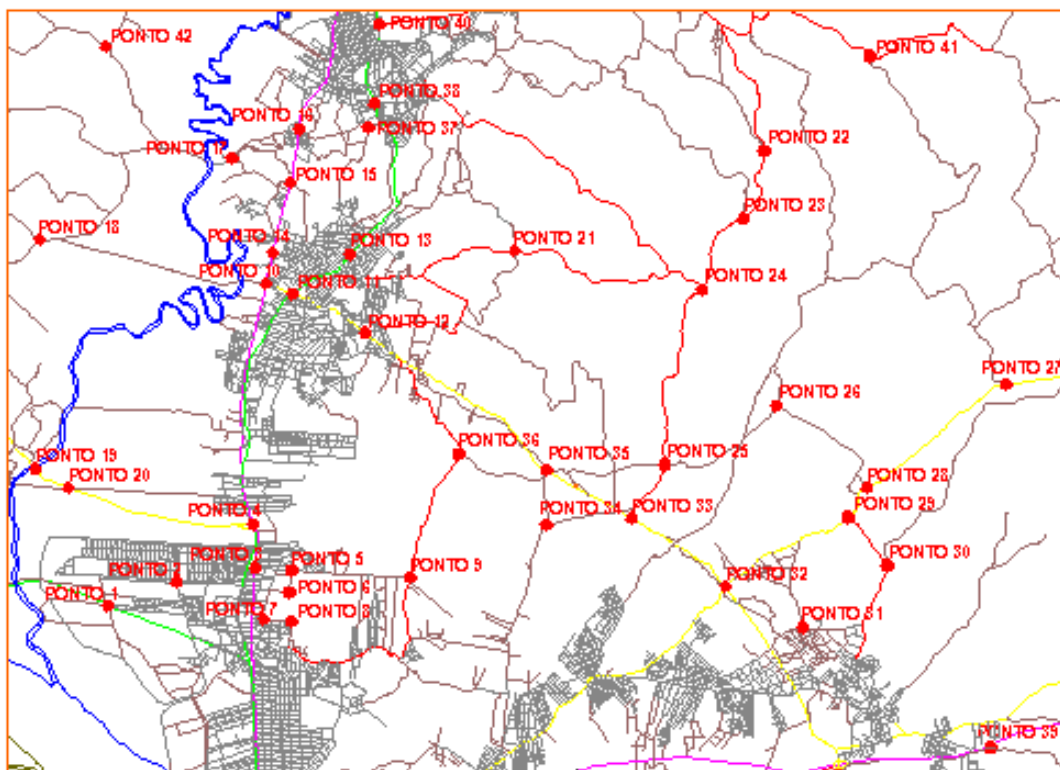


5.2.1.1. Georreferenciamento da Imagem

O georreferenciamento da imagem foi efetuado tendo como base as cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, folhas de São Leopoldo – MI 2970/4 e Gravataí – MI 2971/3 com *Datum* horizontal Córrego Alegre-MG e *Datum* vertical Marégrafo de Torres já editadas em meio digital. Foram identificados na imagem 42 pontos de controle referentes aos cruzamentos da rede viária com base nos quais foi efetuado o georreferenciamento.

O *software* utilizado no georreferenciamento (ENVI 4.0) permite a avaliação dos erros obtidos nos ajustes entre os pontos de controle cartográficos e os seus equivalentes na imagem. Desta forma dos 42 pontos considerados inicialmente, foram desprezados os dois que apresentaram os maiores erros, ficando um total de 40 pontos. A figura 25 apresenta a locação desses pontos cujo erro médio quadrático foi calculado através de um modelo de rotação, escalonamento e transferência (RST – Rotate/Strech/Translate) resultando no valor de 0,67 *pixel*.

FIGURA 25: PONTOS DE CONTROLE PARA O GEORREFERENCIAMENTO.



No georreferenciamento foi utilizada a transformação polinomial de grau 2 e o método de reamostragem empregado foi *Nearest Neighbor* (vizinho mais próximo). O tamanho do *pixel* de saída da imagem georreferenciada é de 15 m. Após o resultado do

georreferenciamento, com base na sobreposição do plano de informação rede viária foi reduzida a área inicial de trabalho, através de um recorte de forma retangular, abrangendo somente a área de estudo estabelecida nos planos de informação originados da base cartográfica de acordo com as seguintes coordenadas: (475.850 mE, 6.690.000 mN) e (506.000 mE, 6.708.000 mN).

5.2.2. **Elaboração do Modelo Numérico do Terreno**

O modelo numérico do terreno pode ser definido como uma matriz de números que representam a distribuição geográfica de elevação (Moore et alli, 1991). Mendes e Cirillo (2001) afirmam que os modelos numéricos do terreno *“quando usados junto aos sistemas de informações geográficas (SIG) e técnicas de sensoriamento remoto, permitem estudar a variabilidade dos processos físicos nas bacias, com uma ampla aplicação em diversas áreas.”*

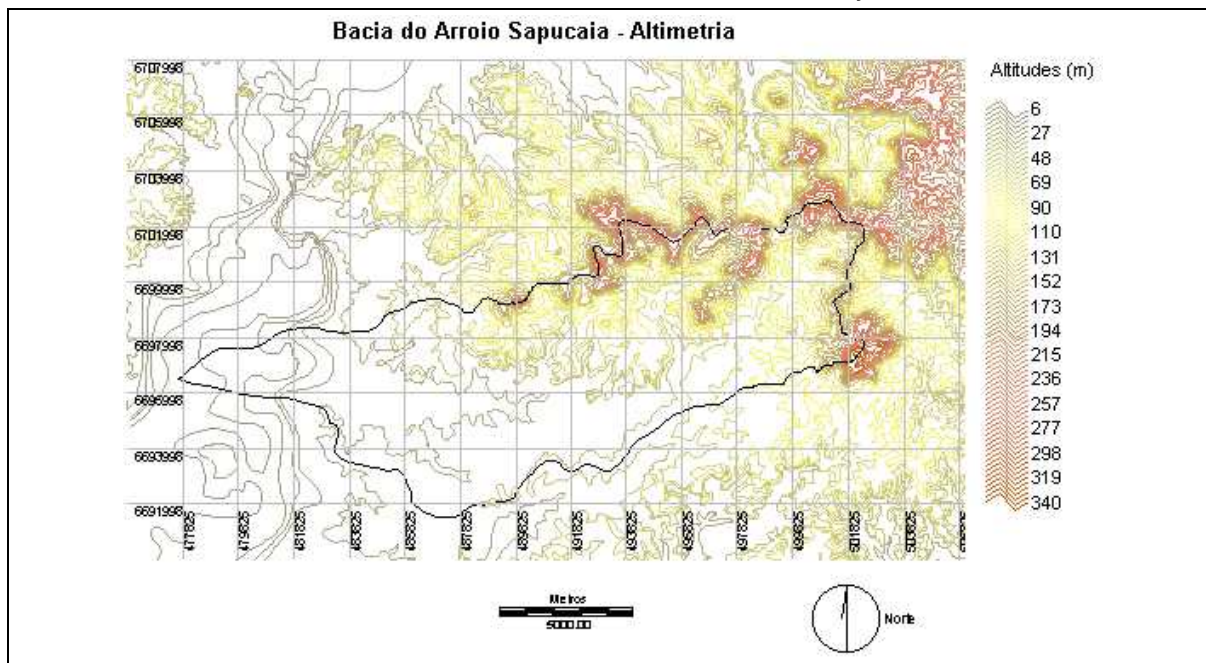
Este modelo foi elaborado com o emprego do *software* IDRISI 32 com o objetivo de otimizar a obtenção dos valores de altitude necessários para os cálculos da amplitude altimétrica dos canais e do índice de rugosidade das sub-bacias. A base para a elaboração do modelo foi o plano de informação *“altimetria”* contendo os valores das cotas das curvas de nível de 20, 50 e 100 metros. A partir do conjunto de pontos formadores dessas curvas, o *software* efetua de forma automática um procedimento de interpolação, que nesse caso utilizou a rotina de triangulação ao final da qual é gerada uma superfície contínua, onde se consegue obter o valor de altitude em qualquer ponto.

Contudo, nas áreas mais planas onde existe uma maior distância entre as curvas de nível, como no vale do rio dos Sinos, o resultado do interpolador não foi satisfatório apresentando algumas anomalias na superfície gerada. Este fato deve-se a que no procedimento de interpolação a correlação entre dois pontos diminui com o aumento da distância entre eles, o que, segundo Mendes e Cirillo (2001), sugere que o resultado da interpolação será tão mais *“verdadeiro”* quanto mais próximo das curvas de nível. Ainda, segundo estes autores, uma área de alta incerteza indicaria que nesta mesma posição no modelo numérico do terreno os resultados possuem baixa confiabilidade, pois estão afastados de qualquer curva de nível.

Com base nessas considerações, foi executado o processo de complementação da topografia existente, conforme detalhado anteriormente, através do acréscimo de curvas

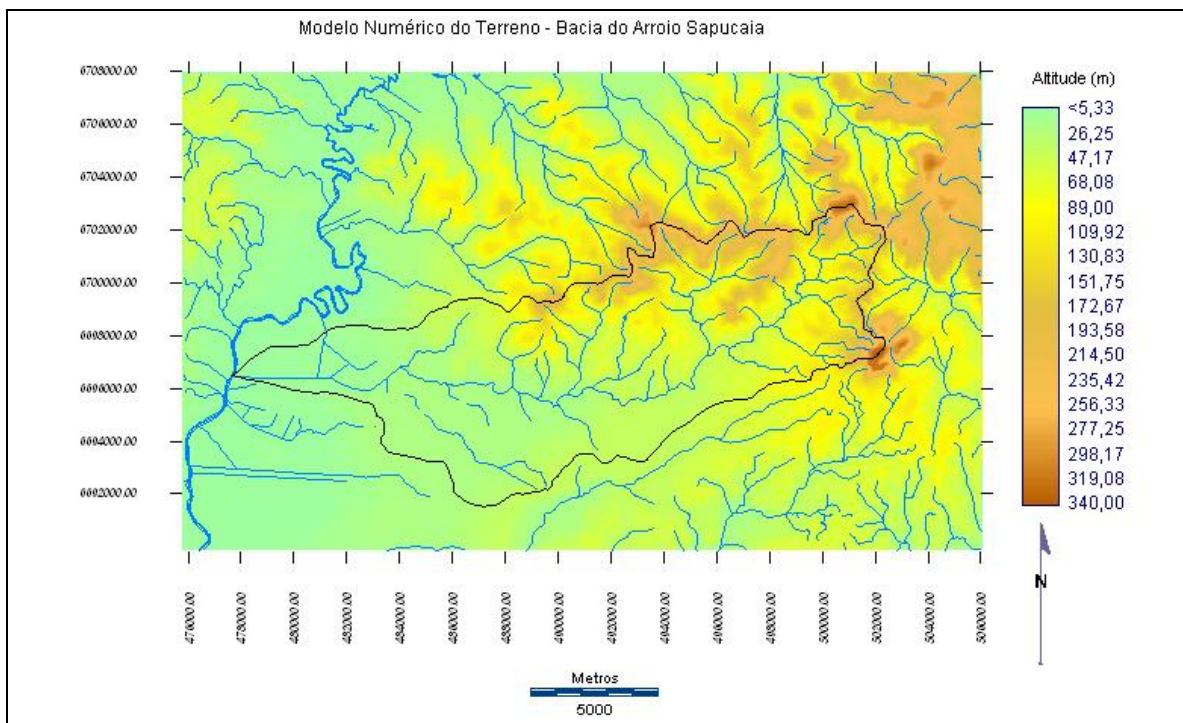
auxiliares com altitudes de 6, 8, 10 e 12 metros, na área mais plana. A figura 26 apresenta a altimetria utilizada na geração do MNT já com as curvas auxiliares.

FIGURA.26: ALTIMETRIA UTILIZADA PARA A GERAÇÃO DO MNT.



O resultado da complementação da altimetria através das curvas auxiliares foi satisfatório para a geração do modelo numérico do terreno tendo como produto final uma superfície contínua (formato *raster*) a partir da qual foram obtidos os valores de altitude para o cálculo do índice de rugosidade, conforme mostra a figura 27.

FIGURA 27: MODELO NUMÉRICO DO TERRENO - MNT



5.3. CÁLCULO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

O indicador de sustentabilidade proposto neste trabalho é constituído de três dimensões que caracterizam o uso e ocupação do solo (*FUS-fator de uso do solo*), a condição física da área (*FFP-fator de fragilidade potencial*) e a condição de desenvolvimento humano (*FDH-fator de desenvolvimento humano*). Estes fatores refletem os aspectos propostos no modelo de avaliação PEI/ER (pressão-estado-impacto/efeito-resposta) o qual foi recomendado pela OCDE. Neste aspecto, o fator de uso do solo, corresponde às pressões exercidas pelo modelo de desenvolvimento, o fator de fragilidade potencial corresponde ao estado do meio-ambiente, e o fator de desenvolvimento humano corresponde tanto ao impacto do modelo de desenvolvimento adotado sobre a sociedade, como ao efeito das ações desencadeadas.

A essas três dimensões é atribuído igual peso para a composição do índice e a unidade básica de análise utilizada é a sub-bacia. O indicador de sustentabilidade é a média dessas três dimensões considerando o total de sub-bacias.

Desta forma, podem ser calculados o índice de sustentabilidade (*IS*) de cada sub-bacia e da bacia como um todo. O *IS* das sub-bacias permite que se identifiquem as áreas mais críticas do ponto de vista da sustentabilidade no âmbito da bacia. Esse índice é expresso na forma de um número entre zero e um (quanto mais próximo da unidade melhor a condição de sustentabilidade da bacia) e a expressão matemática que o define para as sub-bacias (1) e para a área da bacia (2) são as seguintes:

$$IS = \frac{FUS + FFP + FDH}{3} \quad \Rightarrow 0 \leq \mathbf{IS} \leq 1 \quad (1)$$

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n FUS + \sum_{i=1}^n FFP + \sum_{i=1}^n FDH}{3n} \quad \Rightarrow 0 \leq \mathbf{IS} \leq 1 \quad (2)$$

Onde:

IS = índice de sustentabilidade;

FUS = fator de uso do solo;

FFP = fator de fragilidade potencial;

FDH = fator de desenvolvimento humano;

n = número de sub-bacias.

Os três fatores que compõem o índice de sustentabilidade podem ser desdobrados e analisados separadamente, conforme segue.

5.3.1. Cálculo do Fator de Uso do Solo

O fator de uso do solo (*FUS*) é expresso na forma de um número que varia entre zero e um. A classificação da imagem orbital fornece as informações necessárias à composição do *FUS*. A cada tipo de uso do solo identificado é atribuído um valor de acordo com os impactos que gera no meio ambiente.

A partir da imagem classificada e o seu cruzamento com o plano de informação contendo a máscara de cada uma das sub-bacias, foi determinado através de operações de álgebra de mapas o uso predominante do solo em termos de área para cada uma dessas unidades. Isso é possível através da análise dos histogramas das imagens resultantes dessa operação, os quais apresentam o número de *pixels* encontrados em cada classe. Com base nisso, foi possível definir o valor representativo do uso do solo para cada sub-bacia.

Desta forma, a cada sub-bacia será atribuído um valor tomando por base o uso predominante do solo e a média desses valores resulta no *FUS* para o cálculo do *IS* da bacia. Os dados de uso do solo foram hierarquizados levando em conta o grau de proteção, ou seja, levando em conta a susceptibilidade ao processo erosivo presente em cada classe.

Em função disso atribuiu-se peso maior para àquelas áreas que apresentam cobertura vegetal mais densa e que sofreram menor interferência antrópica, como no caso das florestas naturais ou banhados (áreas úmidas), já as áreas de intensa ocupação urbana ou aquelas onde sua pressão é mais intensa, receberam pesos menores, tendo em vista fatores como a concentração da drenagem, o aumento e a aceleração do escoamento superficial, a execução de cortes e aterros, entre outros fatores que associados a um planejamento deficiente expõem essas áreas a um processo erosivo significativo.

Nesse aspecto, Prandini e Nakazawa (1995) *apud* Silva, Shulz e Camargo (2003), afirmam que “o estudo dos rios da região metropolitana de São Paulo demonstra que o assoreamento nestes resulta quase somente da erosão urbana, ainda que metade da bacia seja de ocupação rural”, além disso Lazaro (1990) *op. cit.*, afirma que em nenhuma fase do processo de urbanização a erosão é tão violenta quanto na fase da construção.

Assim, o *FUS* é determinado da seguinte forma:

$$FUS = S \Rightarrow \text{sendo: } 0 < S < 1$$

Onde:

S = peso atribuído a classe de uso do solo predominante na sub-bacia;

Os valores atribuídos às classes de uso do solo, utilizados nesse trabalho para a determinação do *FUS*, encontram-se na tabela 3.

TABELA 3: PESO ATRIBUÍDO POR CLASSES DE USO DO SOLO

CLASSE DE USO DO SOLO	PESO
1. áreas de expansão urbana	0.125
2. urbano e industrial	0.25
3. solo exposto	0.375
4. solo cultivado	0.50
5. florestamento	0.625
6. campos com capões	0.750
7. áreas úmidas	0.875
8. florestas naturais e vegetação ciliar	1.00

5.3.2. Cálculo do Fator de Fragilidade Potencial

O fator de fragilidade potencial (*FFP*) é também expresso na forma de um número que varia entre zero e um. Sua origem é a atribuição de pesos às faixas de valores obtidos para o índice de rugosidade.

Segundo Ross (2003), “a intensidade de dissecação ou – como também se costuma chamar: a intensidade de rugosidade topográfica – é o primeiro grande indicador da fragilidade potencial que o ambiente natural apresenta.”. O emprego de dados morfométricos possibilita, dessa forma, agregar aspectos físicos da bacia hidrográfica ao conjunto de dados utilizados na avaliação da sustentabilidade.

No cálculo desse índice de acordo com Christofletti (1980), são considerados os seguintes elementos: a amplitude altimétrica da bacia que consiste da diferença altimétrica entre a altitude da sua desembocadura e o seu ponto mais alto, a densidade de drenagem que correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica e o índice de rugosidade, o qual combina elementos de declividade e densidade de drenagem.

A média dos valores de todas as sub-bacias resulta no *FFP* para o cálculo do *IS* da bacia. A determinação do *FFP* se dá da seguinte maneira:

$$\boxed{FFP = R} \quad \Rightarrow \quad 0 < R < 1 \quad \text{sendo} \quad \boxed{Ir = H \times Dd} \quad \text{e} \quad \boxed{Dd = \frac{L_t}{A_{SB}}}$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem na sub-bacia; *A_{SB}* = área da sub-bacia;
R = peso atribuído ao índice de rugosidade; *L_t* = comprimento total dos canais.
Ir = índice de rugosidade;
H = amplitude altimétrica da sub-bacia;

Os valores atribuídos às faixas de rugosidade encontram-se na tabela 4 e foram determinados com base nos resultados obtidos pelas sub-bacias, os quais foram classificados em 5 grupos.

TABELA 4: PESO ATRIBUÍDO POR FAIXAS DE RUGOSIDADE

RUGOSIDADE	PESO
1. muito forte	0.20
2. forte	0.40
3. média	0.60
4. fraca	0.80
5. muito fraca	1.00

5.3.3. Cálculo do Fator de Desenvolvimento Humano

O fator de desenvolvimento humano (*FDH*) também é expresso na forma de um número que varia entre zero e um e foi obtido através de uma adaptação do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal), PNUD/ONU (1990) e do IDESE (Índice de Desenvolvimento Socioeconômico), FEE (2003).

O *FDH* é formado por quatro dimensões: educação, saneamento, longevidade e renda; sua unidade básica de análise é o setor censitário que foi compatibilizado com a unidade sub-bacia para fins de coerência dimensional com relação aos outros dois fatores que compõem o indicador.

A adaptação do IDHM foi efetuada em função das informações disponíveis na base de informações municipais por setor censitário do IBGE, obtidas do censo demográfico 2000. A fórmula adaptada permite a inclusão de uma quarta dimensão, o saneamento, tópico de grande importância para questões envolvendo o uso de recursos hídricos e a

sustentabilidade de uma área, sobretudo considerando a situação socioeconômica das comunidades.

Esse indicador é expresso na forma de um número entre zero e um e a expressão matemática que o define é a seguinte:

$$FDH = \frac{IDH_E + IDH_S + IDH_L + IDH_R}{4}$$

Onde:

IDH_E = dimensão educação;
 IDH_S = dimensão saneamento;

IDH_L = dimensão longevidade;
 IDH_R = dimensão renda.

As unidades geográficas analisadas podem ser classificadas segundo o IDH em três grupos: baixo desenvolvimento humano (IDH menor que 0,499), médio desenvolvimento humano (IDH entre 0,500 e 0,799) e alto desenvolvimento humano (IDH maior ou igual a 0,800). (PNUD/ONU, 1990)

a) Dimensão Educação (IDH_E)

A dimensão educação considera a taxa de alfabetização da população e o número médio de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes. Desta forma, a expressão matemática que define essa dimensão é a seguinte:

$$IDH_E = (TA \times 0,6) + (AE \times 0,40)$$

Onde:

IDH_E = dimensão educação;
 TA = taxa de alfabetização, sendo $0 \leq TA \leq 1$;
 AE = número médio de anos de estudo, sendo $0 \leq AE \leq 1$.

A taxa de alfabetização corresponde ao número de habitantes com mais de quinze anos alfabetizados, dividido pelo número de habitantes com mais de quinze anos. A taxa de alfabetização corresponde a 60% na composição do IDH_E .

O número médio de anos de estudo dos responsáveis por domicílios é a soma do número de anos de estudo de cada um, dividido pelo número de responsáveis por domicílios, esse total é dividido pelo número de anos considerado como 100% totalizando 16 anos (PNUD/IPEA, 2003). Considera-se que o número de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios são bons indicativos do número de anos de estudo pretendido aos dependentes menores. Esta parcela corresponde a 40% na composição do IDH_E .

b) Dimensão Saneamento (IDH_s)

A dimensão saneamento considera a taxa de abastecimento de água, a taxa de coleta de esgotos e a taxa de moradores por domicílio e a expressão matemática que a define é a seguinte:

$$IDH_s = (TAA \times 0,50) + (TCE \times 0,40) + (TMD \times 0,10)$$

Onde:

IDH_s = dimensão saneamento;

TAA = taxa de abastecimento de água, sendo $0 \leq TAA \leq 1$;

TCE = taxa de coleta de esgotos, sendo $0 \leq TCE \leq 1$;

TMD = taxa de moradores por domicílio, sendo $0 \leq TMD \leq 1$.

Essa dimensão considera a taxa de domicílios abastecidos pela rede pública de água correspondendo a 50% na composição do índice, a taxa de domicílios com coleta de esgotos (pluvial ou cloacal) correspondendo a 40% na composição do índice e a média de moradores por domicílio correspondendo a 10% na composição do índice, isso de acordo com o Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) elaborado pela FEE.

A taxa de abastecimento de água é a razão entre o número do domicílios particulares permanentes abastecidos com água da rede geral e o número total de domicílios particulares permanentes do setor censitário.

A taxa de coleta de esgotos é a razão entre o número de domicílios particulares permanentes com esgoto coletado e o número total de domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário do setor censitário.

A taxa de moradores por domicílio é a razão entre número de moradores em domicílios particulares permanentes e o número de domicílios particulares permanentes. A exemplo do IDESE (FEE) foram considerados limites para essa taxa, sendo o limite inferior 6 moradores e o limite superior 1 morador por domicílio, desta forma sempre que a taxa apresentar um valor abaixo do limite inferior estabelecido assumirá o valor **zero** e sempre que a taxa apresentar um valor acima do limite superior estabelecido assumirá o valor **um**.

c) *Dimensão Longevidade (IDH_L)*

A dimensão longevidade considera o IDHM_L, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal relativo à longevidade, e o *FL*, fator de longevidade e a expressão matemática que a define é a seguinte:

$$IDH_L = IDHM_L \times FL$$

Onde:

IDH_L = dimensão longevidade;

IDHM_L = índice de desenvolvimento humano municipal, dimensão longevidade;

FL = fator de longevidade.

O fator de longevidade considera o número de habitantes do setor censitário que ultrapassa a esperança de vida ao nascer do município (em anos), o quanto ultrapassa, e também aqueles setores cuja população não alcança esse valor, tomando por base as seguintes situações:

- *O setor não alcança a esperança de vida ao nascer estimada para o município, então FL = zero;*
- *O setor alcança a esperança de vida ao nascer estimada para o município mas não ultrapassa, então FL = 1 e IDH_L = IDHM_L;*
- *O setor ultrapassa a esperança de vida ao nascer estimada para o município, então FL irá majorar o valor do IDHM_L.*

O cálculo do *FL* é elaborado tomando por base o quanto, em média, o setor censitário ultrapassa a esperança de vida ao nascer (*EVN*) estimada para o município ao qual pertence, através da seguinte expressão matemática:

$$EVN_+ = \frac{\sum (n^\circ \text{ hab que ultrapassa } EVN \times \text{idade})}{n^\circ \text{ hab que ultrapassa } EVN}$$

Logo,
$$FL = 1 + \frac{(EVN_+) - (EVN)}{EVN}$$

Onde:

EVN₊ = média de idade acima da *EVN* verificada para cada setor do município, de acordo com o *EVN* estimado para cada município.

FL = percentual que o *EVN₊* significa em termos de *EVN*, ou seja, o percentual a majorar no *IDHM_L* se o setor superar o *EVN* estimado para o município.

d) *Dimensão Renda (IDH_R)*

A dimensão renda considera a renda per capita dos responsáveis por domicílios particulares permanentes e valores de referência mínimo e máximo de acordo como os padrões do PNUD/ONU e a expressão matemática que a define é a seguinte:

$$IDH_R = \frac{(\log \text{renda per capita rdpp}) - (\log \text{valor referência mínimo})}{(\log \text{valor referência máximo}) - (\log \text{valor referência mínimo})}$$

Onde:

IDH_R : dimensão renda;

$rdpp$ = responsáveis por domicílios particulares permanentes

Sendo:

Valor de referência máximo = R\$ 1.560,17

Valor de referência mínimo = R\$ 3,90.

Essa dimensão considera como representativa a renda *per capita* dos responsáveis por domicílios particulares permanentes em relação à renda *per capita* dos habitantes do setor. O logaritmo é usado porque ele expressa melhor o fato de que um acréscimo de renda para os mais pobres é proporcionalmente mais relevante do que para os mais ricos.

Os valores de referência mínimo e máximo são os adotados nos relatórios internacionais do PNUD (US\$ PPC* 40.000 e US\$ PPC* 100,00), em valores mensais expressos em reais pela cotação do dia 1º de agosto de 2000. (*PPC = *paridade do poder de compra, elimina as diferenças de custo de vida entre os países*).

Uma vez apurados os valores referentes as quatro dimensões consideradas pelo *FDH*, basta inseri-los na fórmula geral a fim de obter-se o valor final relativo ao *FDH* da bacia, restando apenas agregar o resultado dos demais fatores considerados *FUS* e *FFP*, visando a obtenção do índice de sustentabilidade ambiental de cada sub-bacia, bem como o índice de sustentabilidade ambiental da bacia do arroio Sapucaia na sua totalidade.

6 - APURAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A construção de indicadores consiste em um processo integrador por sua própria natureza, pois parte de um todo complexo para extrair o essencial. Por isso, quando voltados para a análise do meio ambiente, tais instrumentos constituem-se em um poderoso elemento que possibilita sintetizar um conjunto de informações em um único índice, facilitando dessa forma a comunicação entre os diversos atores envolvidos no processo decisório bem como agilizando as ações a serem tomadas.

Nesse aspecto a importância dos Indicadores de Sustentabilidade é ressaltada em função do seu significado, ou seja pelo fato de estarem orientados a diagnosticar a forma como a sociedade se apropria dos recursos naturais, bem como a capacidade do meio ambiente em suportar esse modelo. Em função disso, a geração de tais indicadores demanda uma grande quantidade de informações, nem sempre disponíveis na esfera local.

Por esse motivo, a implementação de um sistema de indicadores dessa modalidade no contexto das bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas no Brasil, pode representar um desafio difícil de ser vencido, pois, como se sabe, a disponibilidade de dados georreferenciados é incipiente e o monitoramento deficiente, na maior parte das vezes inexistente, principalmente naqueles mananciais reservados a finalidades menos nobres, como é o caso de grande parte dos mananciais localizados em áreas urbanas, tal como a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, objeto de nosso estudo.

Considerando essa situação, a proposta metodológica elaborada nesse trabalho representa uma possibilidade viável, capaz de subsidiar com um conjunto de dados essenciais à implementação desses mecanismos de análise naquelas bacias onde o monitoramento por

meios convencionais não é realizado. Essa metodologia caracteriza-se por pretender ser um processo rápido e de baixo custo, de forma a viabilizar o seu emprego, privilegiando no entanto o uso intensivo do conhecimento.

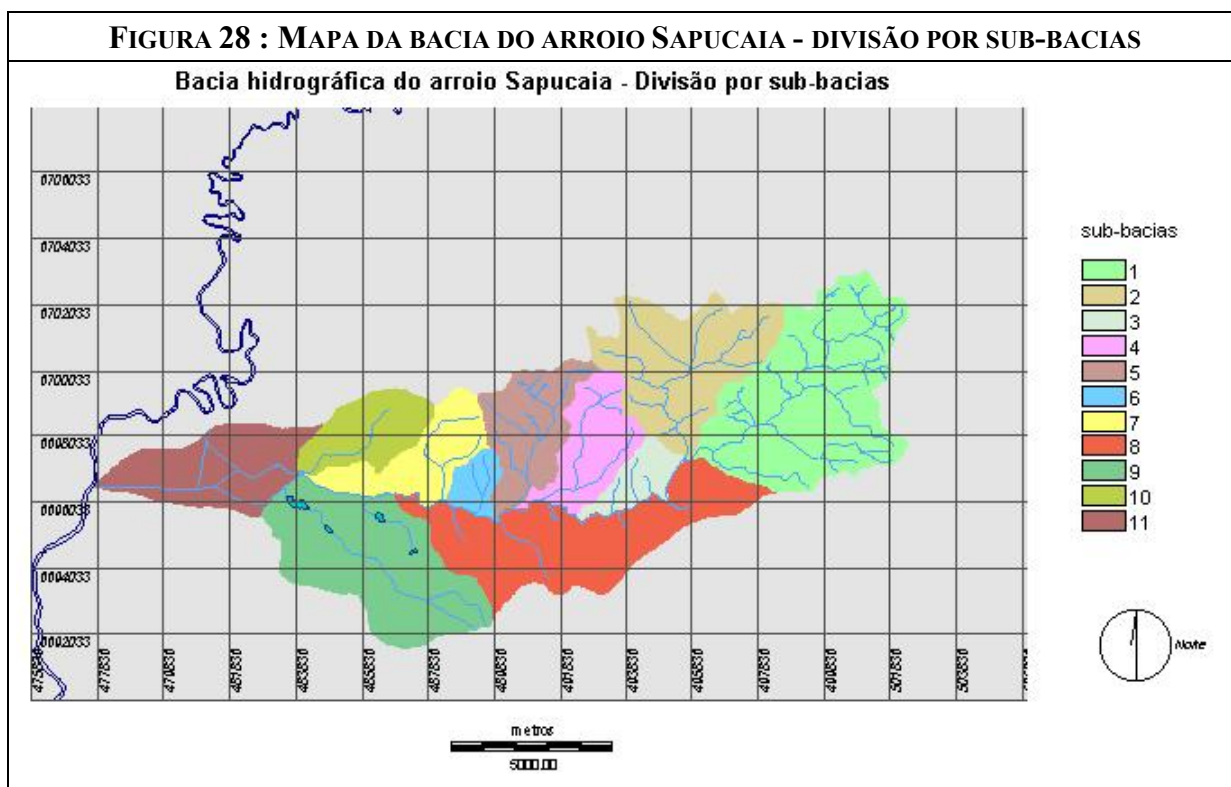
Para esse fim, propõe-se a consideração de um conjunto de fatores ambientais, econômicos e sociais abrangendo as diferentes dimensões da sustentabilidade. Para isso, essa metodologia apoia-se no modelo PEI-ER preconizado pela OCDE, a partir de uma visão diferenciada, apoiada numa geografia de base sistêmica, a partir da consideração de elementos de ordem física e na análise indireta através do uso das técnicas de geoprocessamento, possibilitando dessa forma um diagnóstico inicial das condições de sustentabilidade dessas bacias frente às pressões exercidas pela atual forma de apropriação do espaço pela sociedade, e as conseqüências da sua incorporação ao processo de produção do espaço urbano.

De forma a operacionalizar sua implementação, o *Índice de Sustentabilidade - IS*, proposto foi constituído de três dimensões:

- *FUS – Fator de uso do solo*: obtido a partir das características de ocupação da bacia, reflexo das políticas territoriais e da forma de apropriação do espaço e sua integração ao sistema econômico. É considerado como fator de pressão, tendo-se em vista que a expansão urbana representa o maior risco à manutenção do equilíbrio desses sistemas.
- *FFP – Fator de Fragilidade Potencial*: obtido através da análise da bacia hidrográfica, considerando elementos como a área, padrão de drenagem e hierarquia fluvial, densidade de drenagem e rugosidade topográfica. Tem por objetivo diagnosticar a condição física da bacia hidrográfica, por isso é considerado fator de estado, pois reflete a capacidade de suporte desses ambientes.
- *FDH - Fator de Desenvolvimento Humano*: obtido através dos dados censitários do IBGE referentes às dimensões de renda, educação, longevidade e saneamento. Consiste de uma adaptação do IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) PNUD/ONU (1990), e do IDESE (Índice de Desenvolvimento Socioeconômico) FEE/RS (2003). No caso especial do *FDH*, esse fator pode ser

considerado tanto de impacto, refletindo as conseqüências da inserção da região no sistema econômico, como também de resposta, refletindo nesse caso o resultado das políticas públicas voltadas à saúde, educação, saneamento e à geração de emprego e renda.

A fim de apurar o indicador proposto nesse trabalho, a bacia do arroio Sapucaia foi dividida em onze sub-bacias, como mostra a figura 28, considerando a distribuição da rede de drenagem e da topografia. Essas sub-bacias constituem a unidade básica de análise, sendo apurado a partir delas cada um dos fatores considerados de forma isolada. O resultado da média desses fatores corresponde ao Índice de Sustentabilidade da sub-bacia. Já o Índice de Sustentabilidade da bacia foi obtido considerando a média dos índices apurados nas onze sub-bacias.



Na presente análise não foi considerada nenhuma ponderação, pois não se pretende nesse trabalho definir maior importância a um ou outro fator, contudo isso pode ser feito dependendo das particularidades da bacia a ser analisada, o que demandaria contudo uma análise prévia nesse sentido a cerca da significância de cada um desses fatores em relação as condições de sustentabilidade da bacia.

A partir da apuração do Índice de Sustentabilidade nas sub-bacias, foi elaborada uma classificação, considerando a análise da distribuição dos resultados que indicou o nível de sustentabilidade de acordo com o índice obtido para cada uma das sub-bacias. Essa classificação possibilita o emprego desse índice como instrumento de apoio aos estudos voltados a uma futura proposta de zoneamento ambiental a ser elaborada para a bacia do arroio Sapucaia.

Os resultados finais obtidos nesse trabalho, ou ao menos aqueles considerados mais importantes, referentes aos valores apurados para cada fator analisado (FUS, FFP, FDH), para o Índice de Sustentabilidade - IS, e a classificação dos níveis de sustentabilidade da bacia são apresentados através de cinco mapas temáticos. Esses mapas foram elaborados a partir do SIG utilizado no suporte às atividades de análise, confirmando, que além dessas capacidades esses sistemas constituem um meio essencial na comunicação dos resultados.

6.1. APURAÇÃO DOS FATORES CONSIDERADOS

6.1.1. Fator de Uso do Solo

A apuração do fator de uso do solo foi realizada a partir da classificação da imagem ASTER, conforme as operações descritas no item 5.2.1 desse trabalho. Os resultados obtidos passaram então, a ser analisados do ponto de vista da metodologia empregada, considerando o grau de proteção existente em cada uma dessas classes. As classes encontradas no âmbito da bacia do arroio Sapucaia foram as seguintes:

- *Florestamento;*
- *campo com capões;*
- *floresta natural e vegetação ciliar;*
- *área úmida;*
- *área de expansão urbana;*
- *área urbana e industrial;*
- *área cultivada e*
- *solo exposto*

A avaliação do grau de proteção de cada uma dessas classes foi realizada a partir da análise local, da experiência e de subsídios encontrados na literatura específica, conforme é detalhado no item 5.3.1, atribuindo-se a cada uma delas um valor correspondente variando de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor o grau de sustentabilidade da classe. Dessa

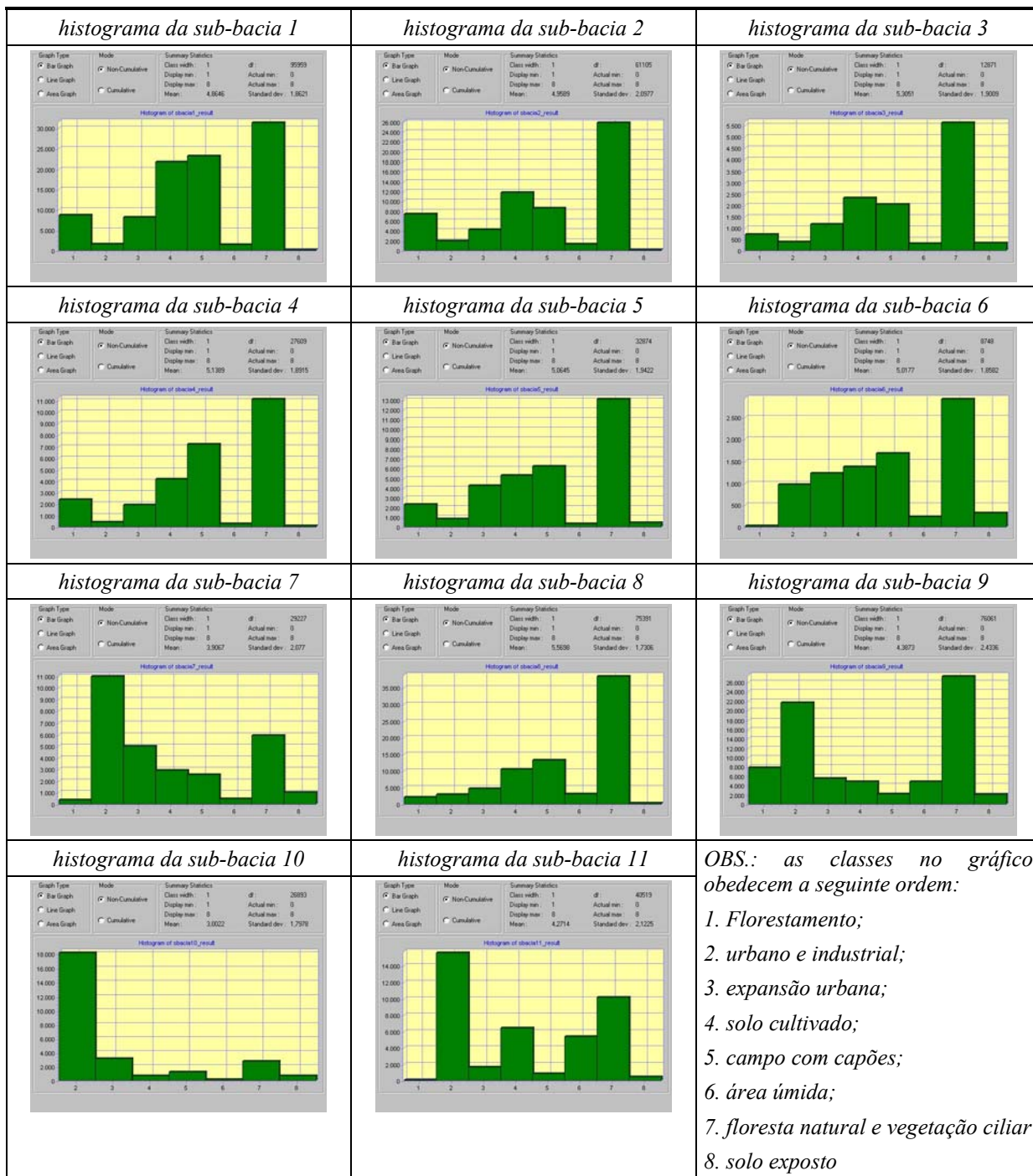
forma chegou-se aos valores já apresentados na tabela 3 (ver página 115), distribuindo as classes nesse intervalo de forma uniforme a razão de 0,125 pontos.

A atribuição desses valores para cada uma das sub-bacias ocorreu levando-se em consideração a classe de uso predominante em cada sub-bacia. Essa avaliação foi realizada a partir da análise dos histogramas de cada uma das sub-bacias, conforme mencionado no item 5.3.1. Os valores encontrados podem ser observados na figura 29.

De acordo com os valores apurados nas sub-bacias, obteve-se um predomínio de duas classes de uso, a classe 7 – florestas naturais e vegetação ciliar e a classe 2 – urbano e industrial. Contudo, outras classes também se apresentaram, em alguns casos, com uma frequência significativa, entretanto sem uma predominância efetiva, com exceção da sub-bacia 9, onde as classe 2 e 3, relativas respectivamente as classes urbano e industrial e expansão urbana, dividem o predomínio da bacia com a classe 7. Nesse caso, essas duas classes foram agrupadas, mantendo o valor relativo daquela predominante, no caso à classe urbano e industrial. Esse agrupamento somente foi realizado a fim de evitar a distorção numa área majoritariamente urbana, que pode ser confirmado durante a atividade de campo, e que é caracterizada na própria imagem classificada por uma mancha contínua onde ocorre uma mistura entre estas duas classes de uso.

Os resultados apurados, estabelecem uma nítida divisão da bacia em duas áreas em função do uso e ocupação do solo. Uma área de uso urbano e industrial, ao longo do eixo norte de expansão da RMPA, localizada sobre uma faixa de terras planas, abaixo da cota de 20 metros, no entorno da planície do rio dos Sinos. A outra, onde ainda predomina o recobrimento com vegetação nativa, que se estende a partir da cota de 20 metros, naquelas áreas com maiores declividades até o domínio dos morros testemunhos da unidade Patamares da Serra Geral.

FIGURA 29 : HISTOGRAMAS DE ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS SUB- BACIAS DO ARROIO SAPUCAIA



A apuração desses resultados foi considerada satisfatória, em função de corresponder em grande parte a realidade encontrada na área. Entretanto, vale ressaltar que em função da metodologia empregada, há uma certa generalização em relação as classes de uso, resultando nessa homogeneização dos resultados com a frequência de apenas duas classes em todas as

sub-bacias como pode ser visto na tabela 5 que apresenta os resultados apurados por sub-bacia.

TABELA 5 : APURAÇÃO DO FATOR DE USO DO SOLO POR SUB-BACIA

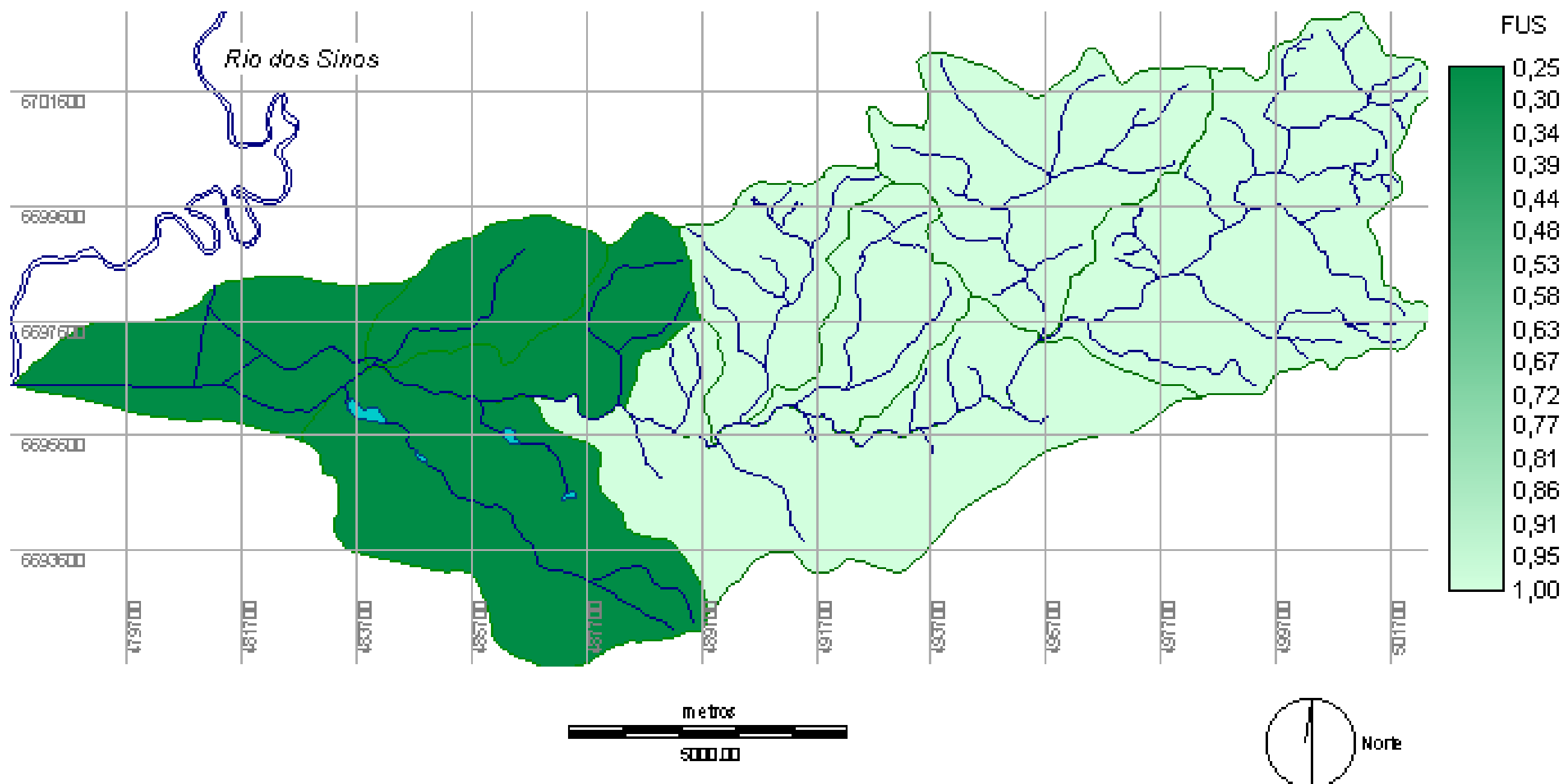
SUB-BACIA	CLASSE PREDOMINANTE ENCONTRADA	FUS
1	florestas naturais e vegetação ciliar	1
2	florestas naturais e vegetação ciliar	1
3	florestas naturais e vegetação ciliar	1
4	florestas naturais e vegetação ciliar	1
5	florestas naturais e vegetação ciliar	1
6	florestas naturais e vegetação ciliar	1
7	urbano e industrial	0,25
8	florestas naturais e vegetação ciliar	1
9	urbano e industrial	0,25
10	urbano e industrial	0,25
11	urbano e industrial	0,25

É importante ressaltar que esses resultados devem ser analisados considerando os objetivos desse estudo e as diretrizes essenciais dessa metodologia, tendo-se em vista ser uma forma de análise expedita, ou seja, que privilegia a simplicidade e a rapidez na obtenção dos resultados. Dessa forma, considerações a cerca da proporcionalidade entre cada sub-bacia e a bacia como um todo ou ainda a média ponderada entre as classes de uso com maior frequência poderiam ser inseridas na rotina de apuração dos resultados. Porém, optou-se por adotar apenas a classe com maior frequência a fim de garantir um requisito essencial na elaboração de indicadores de sustentabilidade que é a sua simplicidade de obtenção.

O mapa a seguir (figura 30) espacializa os resultados relativos ao Fator de Uso do Solo apurados por sub-bacia de forma a auxiliar as análises desenvolvidas, bem como facilitar na compreensão dos resultados pelo público em geral.

FIGURA 30 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA – FATOR USO DO SOLO

Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia - Fator de Uso do Solo



6.1.2. Fator de Fragilidade Potencial

A apuração do Fator de Fragilidade Potencial foi realizada a partir do levantamento das variáveis morfométricas da bacia hidrográfica, tais como a configuração da rede drenagem, a área total das sub-bacias considerando a sua proporcionalidade com a área total da bacia, sua densidade de drenagem, e a sua rugosidade topográfica. O item 5.3.2 apresenta o detalhamento de cálculo utilizado nessa apuração.

Os resultados foram obtidos através da geração do modelo numérico do terreno (MNT), a partir do “*layer*” contendo as curvas de níveis extraídas da cartografia básica empregada no projeto, para isso foi seguido o roteiro de operações descritas no item 5.2.2. Uma vez disponível o MNT, passou-se a verificar a *amplitude altimétrica* de cada uma das sub-bacias, que corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da sua foz e a altitude do ponto mais alto da bacia hidrográfica considerada. Isso foi realizado seguindo as recomendações de Christofolletti (1980), a fim de se evitar mascaramentos em função da possibilidade de haver altitudes excepcionais no interior da bacia analisada. Para evitar isso, recomenda-se que esse procedimento seja realizado considerando que: “*a cota máxima seria a média resultante dos pontos mais elevados entre os canais de primeira ordem do trecho superior da bacia considerada. Deve-se, no mínimo, considerar dez pontos cotados. Se a magnitude da bacia for pequena, todos os pontos podem ser considerados.*”

Depois da determinação da *amplitude altimétrica* de cada uma das sub-bacias, o segundo passo foi verificar a medida das áreas de cada uma dessas sub-bacias, e o somatório do comprimento de seus canais. Para isso foi utilizado o “*software*” AutoCad Map 2000, tendo em vista o nível de precisão oferecido por essa ferramenta na manipulação de entidades vetoriais.

De posse dessas variáveis morfométricas, foi possível calcular a Densidade de Drenagem e o Índice de Rugosidade Topográfica para cada uma das onze sub-bacias. Os valores obtidos podem ser verificados na tabela 6 apresentada a seguir.

TABELA 6 : CÁLCULO DA DENSIDADE DE DRENAGEM E DO ÍNDICE DE RUGOSIDADE

SUB-BACIA	A_{SB} (m ²)	L_t (m)	Dd	H (m)	I_R
1	26401648,1114	40608,1720	0,001538	204,5853	0,315
2	16355134,7251	20233,2691	0,001237	120,0243	0,148
3	3395211,7608	8164,3633	0,002405	16,3166	0,039
4	7695524,9507	9276,9005	0,001205	94,6038	0,114
5	8985978,3226	15120,0519	0,001683	119,2091	0,201
6	2337220,2702	5076,8311	0,002172	50,7610	0,110
7	7542761,5457	10918,5727	0,001448	114,2311	0,165
8	20298790,5601	17862,9533	0,000880	15,0750	0,013
9	20018185,6394	16630,9127	0,000831	17,3290	0,014
10	6805437,0476	4202,2422	0,000617	22,8240	0,014
11	11357452,1415	12038,6719	0,001060	10,0467	0,011

Sendo a fórmula para a obtenção desses índices:

$$I_r = H \times Dd \quad e \quad Dd = \frac{L_t}{A_{SB}}$$

Onde:

A_{SB} : Área total da sub-bacia

L_t : comprimento total dos canais da sub-bacia

Dd: densidade de drenagem da sub-bacia;

H: amplitude altimétrica da sub-bacia;

I_R : índice de rugosidade da sub-bacia;

Uma vez determinados os valores do I_R , os mesmos foram distribuídos em faixas considerando o intervalo encontrado entre os resultados apurados e o *FFP* que consiste de um número de 0 a 1, sendo o nível de fragilidade tanto melhor quanto mais próximo a um. Dessa forma os valores de I_R são confrontados com a tabela de níveis de fragilidade e classificados em uma das classes conforme mostra a tabela 7.

TABELA 7: VALOR ATRIBUÍDO AO FFP X FAIXAS DE RUGOSIDADE APURADAS

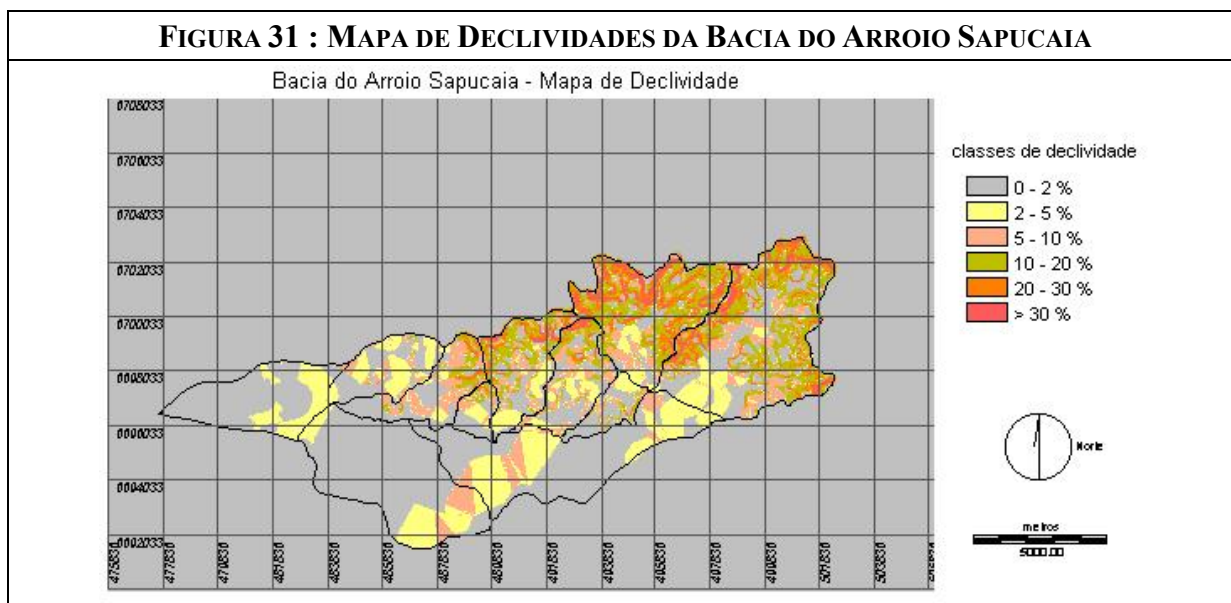
RUGOSIDADE	FAIXA DE I_R	VALOR ATRIBUÍDO AO FFP
1. muito forte	0,255 – 0,316	0.20
2.forte	0,194 – 0,255	0.40
3.média	0,133 – 0,194	0.60
4.fraca	0,072 – 0,133	0.80
5.muito fraca	0,011 – 0,072	1.00

Determinando-se as faixas de rugosidade em relação ao grau de fragilidade potencial, foi possível verificar o resultado apurado nas sub-bacias. A tabela 8 mostra a apreciação do *FFP* para cada sub-bacia, obtido a partir das faixas de rugosidade.

TABELA 8 : APURAÇÃO DOS FATOR DE FRAGILIDADE POTENCIAL

SUB-BACIA	CLASSE DE RUGOSIDADE	VALOR ATRIBUÍDO AO FFP
1	muito forte	0,2
2	média	0,6
3	muito fraca	1
4	fraca	0,8
5	forte	0,4
6	fraca	0,8
7	média	0,6
8	muito fraca	1
9	muito fraca	1
10	muito fraca	1
11	muito fraca	1

Com a finalidade de verificar a validade desses resultados, compararam-se os resultados de cada bacia com o mapa de declividade, apresentado na figura 31.



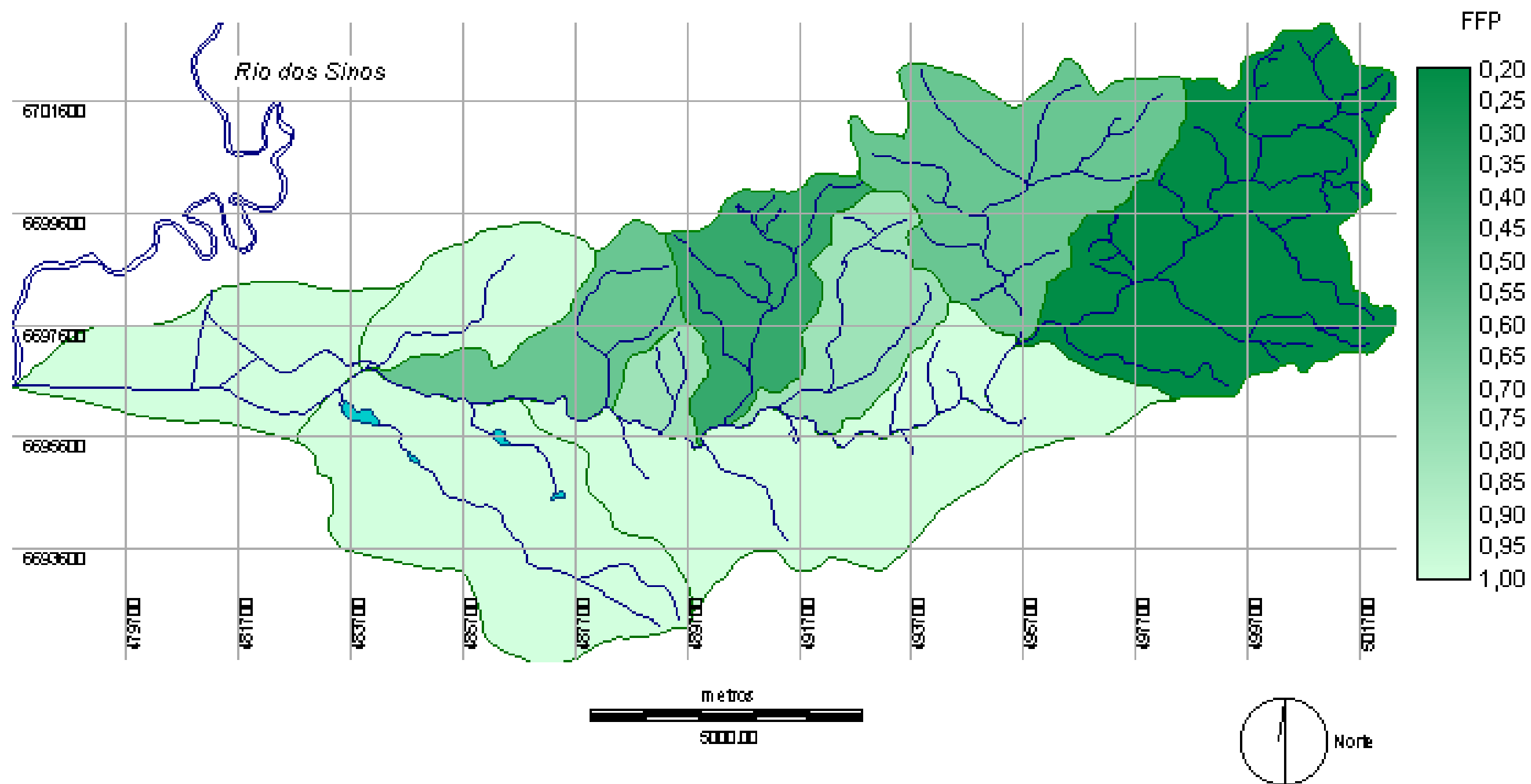
A partir dessa análise, percebe-se claramente que as sub-bacias onde há a ocorrência das maiores declividades, como no caso das sub-bacias 1, 2, 5 e 7 correspondem as mesmas onde são encontrados os valores mais significativos para o Fator de Fragilidade Potencial, o que demonstra a coerência dos resultados obtidos.

A consideração desse fator como indicativo das condições ambientais da bacia no contexto dos indicadores de sustentabilidade ambiental, é de grande importância pois insere uma variável geomorfológica capaz de refletir a capacidade de suporte dos ambientes terrestres em função das suas características morfodinâmicas, as quais repercutem sobre fatores tais como o potencial erosivo e a estabilidade das vertentes.

Em função dos resultados obtidos através desse fator pode-se afirmar que na bacia do arroio Sapucaia a preocupação em relação aos níveis de sustentabilidade ambiental, não deve se limitar somente aquelas áreas onde atualmente se concentra a maior parte da população e portanto sujeitas a intensa ação antrópica, mas também às áreas com características físicas limitadoras ao seu uso e ocupação, tal como ocorre junto as suas nascentes, pois embora com atividade antrópica ainda irrelevante, suas características físicas sinalizam uma baixa capacidade de suporte devido a sua instabilidade morfodinâmica. O mapa a seguir (figura 32) apresenta os resultados referentes ao *FFP* obtido em cada uma das sub-bacias.

FIGURA 32 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA – FATOR DE FRAGILIDADE POTENCIAL

Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia - Fator de Fragilidade Potencial



6.1.3. Fator de Desenvolvimento Humano

O fator de desenvolvimento humano (*FDH*) consiste de uma adaptação do IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal), PNUD/ONU (1990) e do IDESE (Índice de Desenvolvimento Socioeconômico), FEE (2003), sendo obtido a partir dos dados censitários disponibilizados pelo IBGE. Na sua apuração o *FDH* leva em consideração quatro dimensões: educação, longevidade, renda e saneamento, sendo essa última acrescida em função da metodologia do IDESE, devido a sua comprovada importância para a sustentabilidade ambiental.

No presente estudo foram considerados 190 setores censitários, que segundo o IBGE (2000), “*corresponde a unidade de controle cadastral formada por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios ou de estabelecimentos que permitam levantamento das informações por um único agente credenciado, segundo cronograma estabelecido*”. Os setores considerados estão distribuídos nos seguintes municípios Canoas (40), Cachoeirinha (4), Esteio (89), Gravataí (11), Novo Hamburgo (5) e Sapucaia do Sul (41), sendo que deste total 17 setores são classificados como rurais. O item 5.1.1.3 apresenta o detalhamento quanto a edição e compatibilização dessas entidades com a base cartográfica.

A fim de apurar o resultado referente ao *FDH*, inicialmente foi realizada a compatibilização dos setores censitários com as sub-bacias, para isso definiu-se que um setor pertence a uma sub-bacia quando mais de 50% desse setor encontrar-se inserido nos seus limites. A dificuldade dessa tarefa deve-se ao fato de não haver nenhuma relação entre uma estrutura e outra, pois enquanto um setor censitário é apenas uma entidade de caráter burocrático utilizada para o levantamento de dados, a bacia hidrográfica constitui uma entidade física, havendo então a necessidade de estabelecer alguns critérios a fim de possibilitar essa conciliação, quais sejam:

- *Nenhuma sub-bacia ficaria sem ao menos um setor censitário;*
- *Não seria permitida a descontinuidade da malha de setores no interior da bacia, a não ser quando isso ocorresse em seus limites de forma a não comprometer o trabalho;*
- *Somente seriam considerados aqueles setores com mais de 20% de sua área no interior da bacia, a não ser quando sua exclusão compromettesse a malha de setores censitários;*

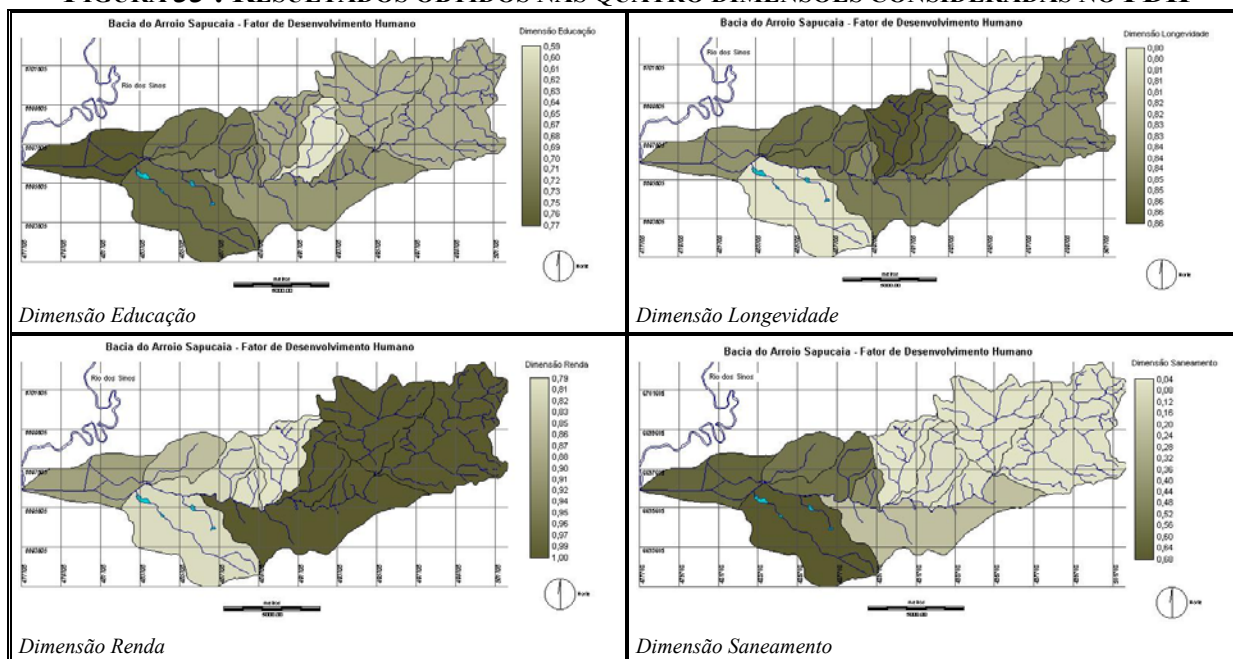
- *Os dados dos setores censitários não seriam divididos entre duas sub-bacias, mesmo quando o setor abranger mais de uma sub-bacia, devendo ser aproveitados de forma integral na bacia de maior dimensão, ou naquela com o menor número de setores;*

Assim, chegou-se a composição apresentada na tabela 9, onde os setores censitários foram utilizados como elemento de espacialização dos dados através da sua compatibilização com a base cartográfica utilizada no trabalho.

TABELA 9 : NÚMERO DE SETORES CENSITÁRIOS POR SUB-BACIAS

SUB-BACIAS	NÚMERO DE SETORES CENSITÁRIOS
1	6
2	6
3	1
4	1
5	3
6	3
7	40
8	6
9	39
10	52
11	33

A partir da definição dos setores censitários nas suas respectivas sub-bacias, foi efetuado o cálculo dos valores relativos ao Fator de Desenvolvimento Humano – FDH. Nesse cálculo é aplicada a metodologia estabelecida no item 5.3.3. Nesse sentido, a fim de apurar os valores do *FDH* em cada uma das sub-bacias, foram consideradas as quatro dimensões presentes na sua composição, obtendo-se os resultados parciais relativos a cada uma das dimensões abordadas, os quais podem ser observados na figura 33.

FIGURA 33 : RESULTADOS OBTIDOS NAS QUATRO DIMENSÕES CONSIDERADAS NO FDH

Analisando os resultados obtidos em cada dimensão considerada, observa-se que as dimensões educação (0,59 – 0,77) e longevidade (0,80 – 0,86) foram as que apresentaram menor variabilidade numérica em função das condições socioeconômicas predominantes na área de abrangência da bacia do arroio Sapucaia, tendo em vista estar inserida na RMPA, onde há uma razoável oferta de serviços essenciais básicos à população, tais como saúde e educação.

A dimensão renda foi a única que atingiu o valor máximo, apresentando os valores mais altos nas sub-bacias localizadas junto às nascentes, onde há predominância dos setores censitários rurais, devendo-se isso a metodologia empregada que considera a renda dos responsáveis pelos domicílios e não a renda *per capita*, bem como a pequena população residente nessas áreas.

A dimensão saneamento foi a que apresentou maior variabilidade e o menor patamar mínimo (0,04). Isso deve estar relacionado principalmente a deficiência dos serviços de esgotamento sanitário nas áreas urbanas e o predomínio de fontes alternativas de abastecimento nos setores rurais, portanto sem ligação à rede pública de abastecimento.

Depois de obtidos os resultados parciais de cada uma das dimensões consideradas, foi possível, através do cálculo da média dessas quatro dimensões, apurar o Fator de

Desenvolvimento Humano para cada sub-bacia. A tabela 10 apresenta os resultados encontrados.

TABELA 10 : FATOR DE DESENVOLVIMENTO HUMANO APURADO NAS SUB-BACIAS

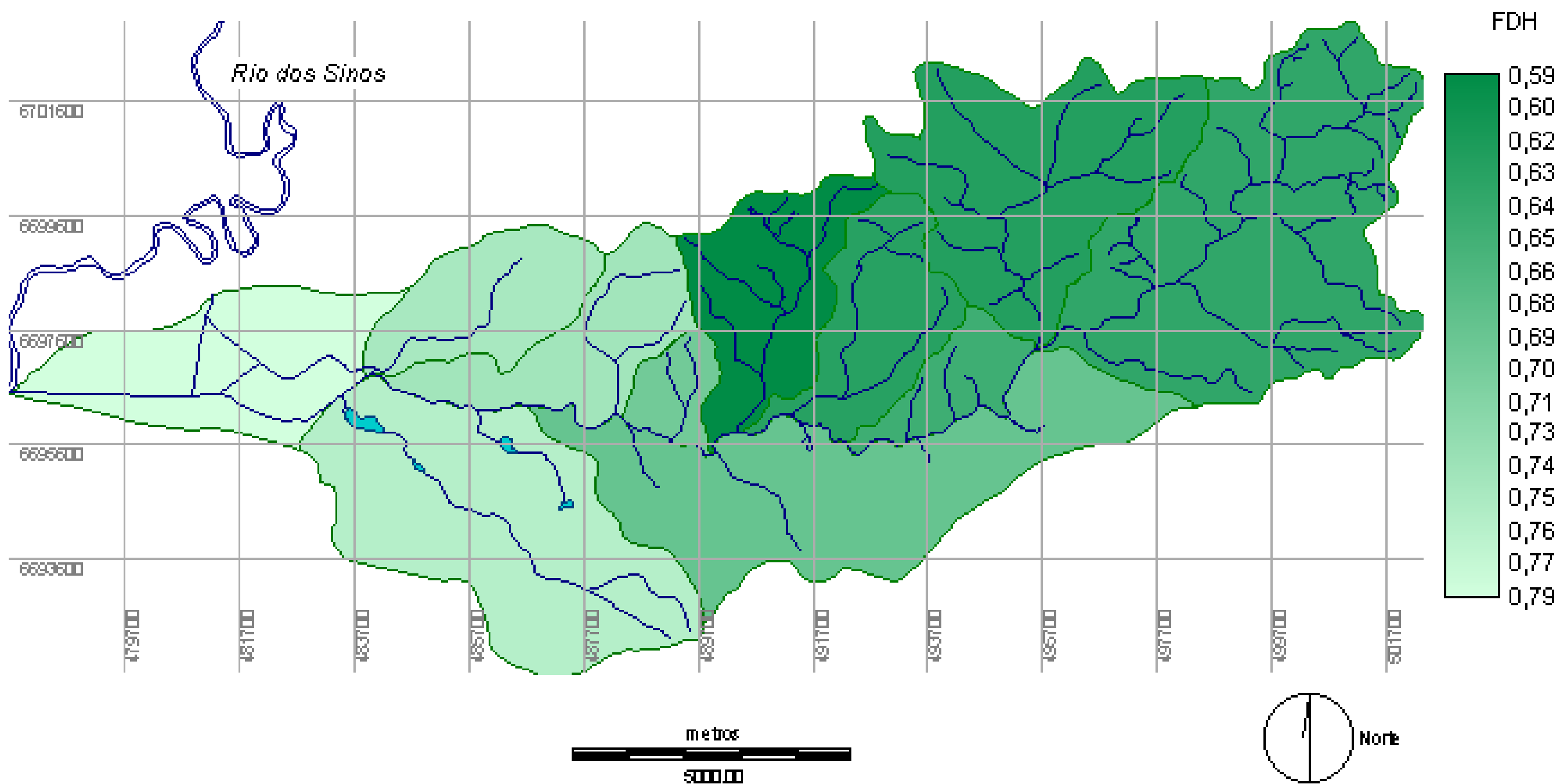
SUB-BACIAS	VALOR DO FDH APURADO
1	0,636
2	0,624
3	0,649
4	0,628
5	0,592
6	0,697
7	0,742
8	0,686
9	0,759
10	0,747
11	0,786

A partir da apuração do Fator de Desenvolvimento Humano, foi possível verificar que os piores índices são obtidos nas sub-bacias com menor grau de urbanização, sobretudo naquelas onde há predomínio de setores rurais, isso pode ser explicado pelo fato dessas áreas apresentarem maiores deficiências em termos de infra-estrutura e serviços públicos, sobretudo no que se refere à questão sanitária. Contudo deve-se considerar que a população residente nessas sub-bacias é bastante reduzida, sobretudo quando comparada com as demais sub-bacias predominantemente urbanas. Dessa forma, na análise dos resultados do *FDH*, essa distribuição desigual da população no âmbito da bacia deve ser levada em conta, apesar disso não estar incluído diretamente no cálculo.

De maneira geral obteve-se como resultado para esse fator um intervalo compreendido entre 0,599 – 0,799, o qual se comparado ao IDH-M, é compatível com apenas um nível médio de desenvolvimento humano, também ficando abaixo do IDH-M dos municípios que compõem a bacia (ver tabela 01 na página 94), o que se explica principalmente pelo fato do *FDH* considerar no seu cálculo a dimensão saneamento, o que não é feito no cálculo do IDH-M, ressaltando mais uma vez a importância desse fator para a sustentabilidade ambiental. O mapa a seguir (figura 34) apresenta os valores apurados para o *FDH* em cada uma das sub-bacias.

FIGURA 34 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA – FATOR DE DESENVOLVIMENTO HUMANO

Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia - Fator de Desenvolvimento Humano



6.2. APURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

O Índice de Sustentabilidade (*IS*) da bacia consiste de um número adimensional que varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhores são as condições de sustentabilidade da bacia. O *IS* é obtido através das médias dos três fatores (*FDH*, *FUS* e *FFP*), atribuindo peso igual a eles e considerando o total de sub-bacias.

A apuração do índice de sustentabilidade da bacia do arroio Sapucaia constitui o principal objetivo desse estudo, utilizando-se para isso de um conjunto de fatores capazes de refletir a capacidade de suporte do meio físico. Essa apuração possibilitou confirmar a expectativa existente quanto a viabilidade de elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental apoiando-se para isso na base metodológica da geografia física.

Os resultados do *IS* foram obtidos a partir do cálculo da média dos três fatores considerados em cada sub-bacia, bem como para a própria bacia como um todo. O *IS* das sub-bacias permitiu que fossem identificadas as áreas mais críticas do ponto de vista da sustentabilidade no âmbito da bacia, possibilitando comparar o comportamento desse índice a partir dos diferentes níveis de sustentabilidade obtidos nas sub-bacias. Os valores do *IS* obtidos para cada uma das sub-bacias pode ser verificado na tabela 11, apresentada a seguir.

TABELA 11 : APURAÇÃO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE NAS SUB-BACIAS

Sub-bacia	FDH	FUS	FFP	IS
1	0,636	1	0,2	0,612
2	0,624	1	0,6	0,741
3	0,649	1	1	0,883
4	0,628	1	0,8	0,809
5	0,592	1	0,4	0,664
6	0,697	1	0,8	0,832
7	0,742	0,25	0,6	0,531
8	0,686	1	1	0,895
9	0,759	0,25	1	0,67
10	0,747	0,25	1	0,665
11	0,786	0,25	1	0,679

A partir da análise dos resultados obtidos foi possível verificar a importância do fator de fragilidade potencial na composição do índice, pois de acordo com esses resultados observa-se que aquelas sub-bacias que registraram um *FFP* classificado entre médio e muito forte (0,6 – 0,2), registraram um *IS* mais baixo, como é o caso das bacias 1, 5 e 7; ao contrário disso aquelas bacias que ostentaram melhores resultados referentes ao *FFP* por estarem localizadas na porção mais plana da bacia obtiveram resultados mais satisfatórios em termos de sustentabilidade.

Outra constatação refere-se à influência do Fator de Uso do Solo. Os resultados obtidos restringiram-se a apenas duas classes de uso, tendo em vista a metodologia utilizada que considera a classe predominante na sub-bacia. Esse fator contribuiu de forma significativa para a apuração do resultado do *IS*, principalmente pelo fato dessas classes estarem muito próximas dos extremos do intervalo de valores atribuídos a esse fator.

Dessa forma observa-se que a combinação de bons resultados nos fatores relativos a uso do solo e fragilidade potencial (*FUS e FFP*), é determinante para a obtenção de um bom Índice de Sustentabilidade, caso encontrado na sub-bacias 3, 4, 6 e 8. Da mesma forma que a situação contrária determina um baixo Índice de Sustentabilidade, tal como ocorre na bacia 7.

A forma de combinação dos três fatores considerados para a obtenção do *IS*, pela qual é atribuído o mesmo peso a todos os fatores, resultou numa minimização do Fator de Desenvolvimento Humano em relação aos demais. Isto deve-se a sua forma de apuração na qual é considerada uma diversidade de dados, abrangendo as suas quatro dimensões (educação, longevidade, renda e saneamento), que resultará num único valor, o qual dificilmente atingirá o patamar máximo. Esse fato não deprecia os resultados obtidos, pois o *FDH* contribui para o *IS* no sentido de refletir os resultados das políticas voltadas a melhoria da qualidade de vida, o que dificilmente é atingido de forma plena.

É importante ressaltar que alguns dos piores índices foram obtidos nas sub-bacias mais intensamente urbanizadas, sobretudo nas áreas de expansão urbana mais recentes, onde esse processo ocorre de forma desordenada, tal como pode ser observado nas sub-bacias 7 e 9. Isto denota a importância do uso dos indicadores como apoio ao planejamento voltado ao uso e ocupação do solo.

Por fim, a apuração do Índice de Sustentabilidade da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia consistiu em extrair uma média dos diversos fatores que o compõe, conforme estes foram levantados nas sub-bacias, dessa forma reflete um nível de sustentabilidade médio existente nessa bacia, tomando por base cada uma das sub-bacias, que são as unidades básicas de análise. Dessa forma, o valor apurado para o *IS* resultou em 0,726 pontos. Esse índice se comparado com os resultados encontrados nas sub-bacias individualmente, pode ser considerado como um valor mediano, contemplando assim a expectativa existente a cerca do seu significado.

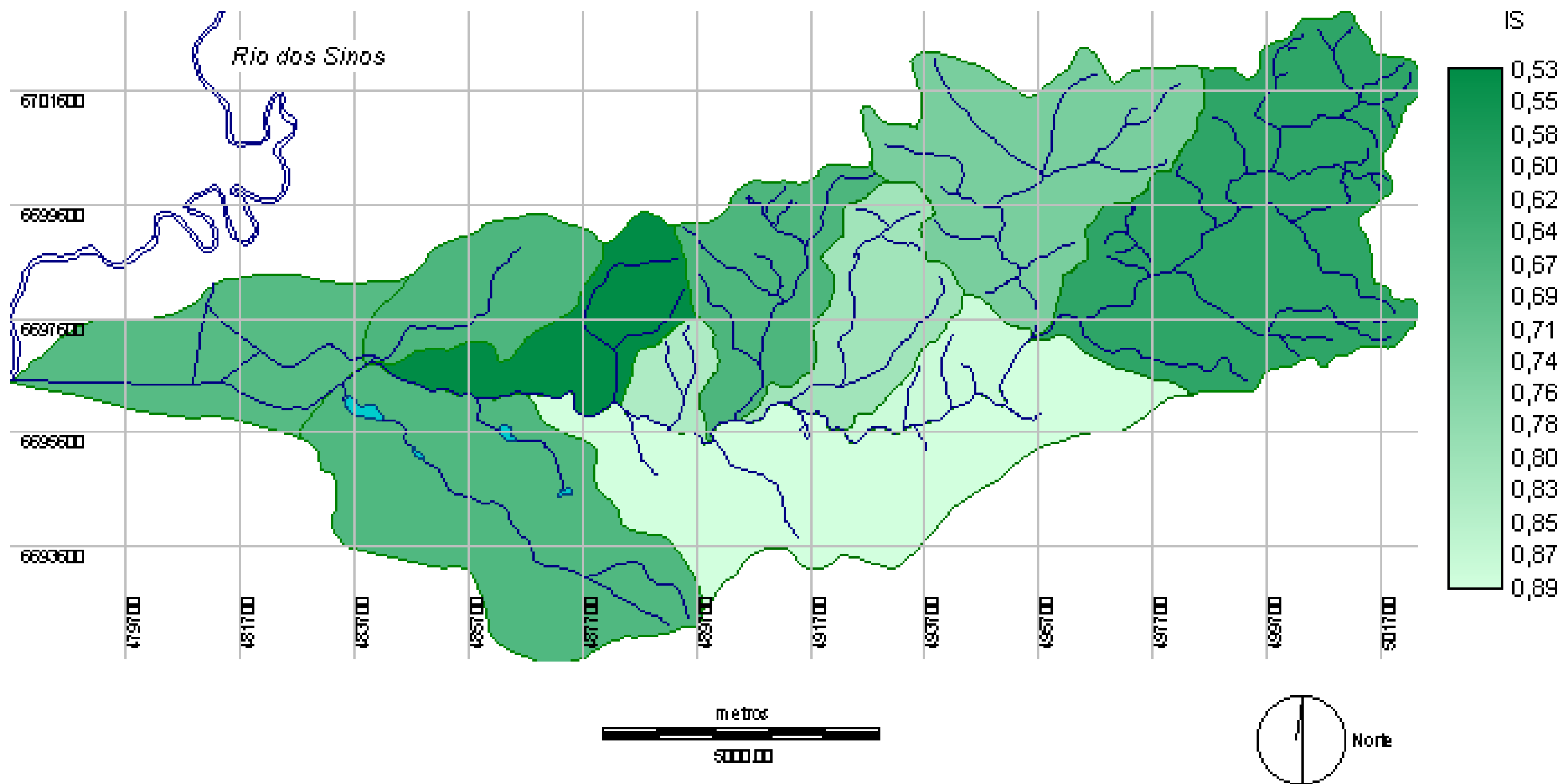
Nessa comparação pode-se constatar que das onze sub-bacias, cinco apresentaram um Índice de Sustentabilidade maior ao valor apurado para a bacia como um todo, sendo elas as bacias 2 ($IS = 0,741$), 4 ($IS = 0,809$), 6 ($IS = 0,832$), 3 ($IS = 0,883$) e 8 ($IS = 0,895$), entre estas com as exceções das bacias 6 e 8, todas as outras estão localizadas junto às nascentes e portanto na área menos urbanizada. As outras 6 sub-bacias apresentaram Índices inferiores àquele apurado para a bacia do arroio Sapucaia, sendo que destas apenas a sub-bacia 1 encontra-se na área junto às nascentes, estando as demais situadas na área urbana ou na sua área de expansão e portanto inseridas na área de influência da RMPA.

A importância desse índice, está na sua capacidade de sintetizar uma grande quantidade de informação, através da fusão de diversos aspectos referentes aos sistemas socioeconômicos ambientais, de forma a potencializar a sua aplicação nas mais diversas iniciativas voltadas à recuperação, preservação ou diagnóstico do meio ambiente.

O mapa a seguir (figura 35) apresenta a espacialização dos Índices de Sustentabilidade Ambiental da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia apurados em cada uma das suas sub-bacias.

FIGURA 35 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE

Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia - Índice de Sustentabilidade



6.2.1. Classificação dos Níveis de Sustentabilidade como subsídio a uma Proposta de Zoneamento Ambiental

Um dos objetivos desse trabalho consistiu em elaborar através da utilização dos indicadores de sustentabilidade uma proposta de setorização em função dos níveis de sustentabilidade apurados através do *IS* proposto. Essa setorização em função da sustentabilidade, ou segundo a concepção aqui adotada, da capacidade de suporte dos sistemas ambientais em relação a forma de apropriação dos seus recursos pela sociedade, visa subsidiar iniciativas voltadas para a gestão ambiental urbana, tais como estudos relativos ao parcelamento e uso do solo nos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano Ambiental, ou mesmo para a definição de áreas que devam ser alvo de ações por parte do poder público voltadas à preservação ou recuperação ambiental.

Apesar disso, o uso de indicadores pela própria natureza desses instrumentos, não substitui o emprego dos métodos tradicionais utilizados na execução das atividades relacionadas ao planejamento e gestão ambiental, mas pode complementar o instrumental a disposição dos técnicos responsáveis pela execução dessas tarefas. Dessa forma o emprego do Índice de Sustentabilidade, tal como o que foi desenvolvido nesse trabalho, permite auxiliar na comunicação e na visualização de elementos importantes relativos à qualidade ambiental e de vida predominantes no âmbito da bacia hidrográfica analisada.

Importante também salientar o fato do *IS* elaborado, estar focado nas bacias hidrográficas urbanas, haja vista que na maior parte das vezes tais ambientes, apesar da sua importância em relação ao meio ambiente urbano, são negligenciados pelo poder público, sendo relegados a usos impróprios ou mesmo recobertos e/ou desviados do leito original a fim de abrir espaço para a expansão urbana. Nesse sentido, através do emprego da metodologia de apuração do *IS*, é possível resgatar em parte a percepção a cerca desses sistemas e da sua importância para a sustentabilidade, sobretudo a partir da sua aplicação nas atividades de recuperação, conservação e gestão do meio ambiente urbano naquelas áreas mais degradadas.

Dessa forma, a possibilidade de aplicação desse *IS* para a proposição de um esquema de setorização das bacias hidrográficas urbanas em função dos seus níveis de sustentabilidade, tornou-se viável em função do emprego de uma metodologia adequada e a devida

compatibilização das entidades envolvidas visando a espacialização desses dados. No caso, os cartogramas dos setores censitários com a base cartográfica utilizada, bem como com as sub-bacias dali extraídas, o que foi fundamental para viabilizar a proposta de setorização.

Para essa finalidade, foi observado a variação dos resultados referentes ao índice de sustentabilidade de cada sub-bacia, a fim de que estes fossem classificados, considerando o universo dos valores obtidos no âmbito da bacia do arroio Sapucaia em três níveis de sustentabilidade: alta, média e baixa sustentabilidade. Essa classificação foi definida considerando-se o intervalo estabelecido entre a sub-bacia com o melhor índice e a sub-bacia com o pior índice, obtendo-se um intervalo de 0,364 pontos (sub-bacia 8 : IS=0,895) – (sub-bacia 7: IS=0,531), uma vez obtido esse intervalo o mesmo foi dividido pelo número pretendido de classes, nesse caso três (alta, média e baixa sustentabilidade), dessa divisão obtêm-se a razão de majoração entre cada um dos níveis e com isso os limites entre um e outro. No caso da bacia do arroio Sapucaia, os intervalos entre cada nível corresponde a 0,122 pontos (considerando o arredondamento para cima). A tabela 12 apresenta o intervalo de valores correspondente a cada um dos níveis considerados para a bacia do arroio Sapucaia.

TABELA 12 : INTERVALO DOS NÍVEIS DE SUSTENTABILIDADE

NÍVEIS	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
baixa sustentabilidade	0,531	0,653
média sustentabilidade	0,653	0,775
alta sustentabilidade	0,775	0,897

Essa distribuição em níveis de sustentabilidade evidenciou que na bacia do arroio Sapucaia há a predominância de uma média sustentabilidade, pois cinco das onze sub-bacias apresentam valores correspondentes a esse nível (sub-bacias 2, 5, 9, 10 e 11). Ao considerar-se a bacia como um todo, esta, estaria incluída nesse intervalo, com um Índice de Sustentabilidade igual a 0,726.

O nível mais alto de sustentabilidade abrange pouco mais de $\frac{1}{4}$ da área total da bacia do arroio Sapucaia, sendo que quatro da onze sub-bacias atingem índices acima do patamar mínimo desse nível (sub-bacias 3, 4, 6 e 8). Já o nível mais baixo de sustentabilidade detectado, restringe-se a duas sub-bacias. A sub-bacia 7 localizada na área limite da zona urbana e, portanto, sujeita a intenso processo de expansão urbana e a sub-bacia 1 localizada

nas áreas de nascentes da bacia sob os patamares da serra geral, apresenta baixo nível de ocupação e mantém parte das suas características originais, tais como o recobrimento do solo e a qualidade das águas.

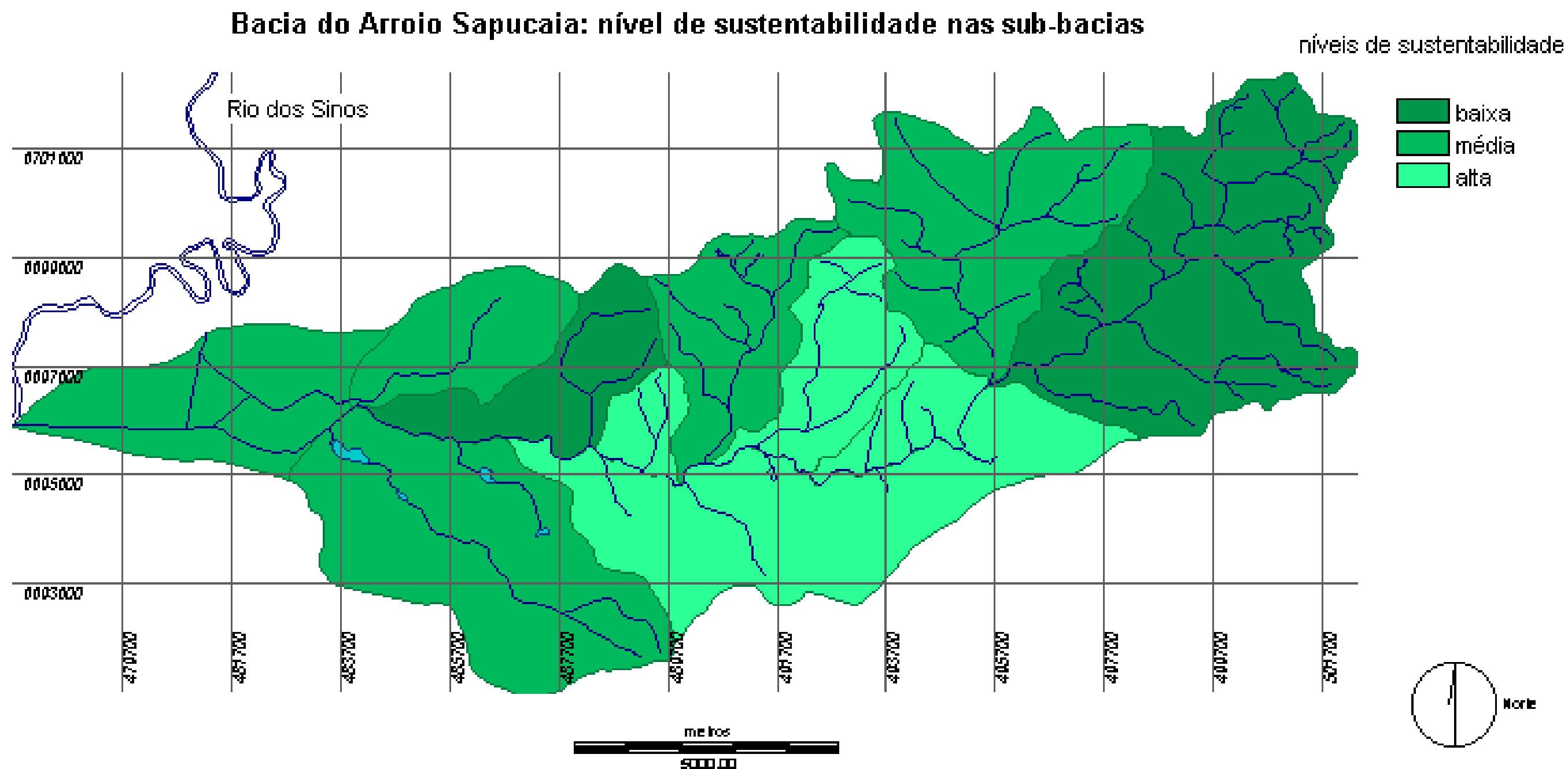
Considerando-se a distribuição espacial dos níveis de sustentabilidade identificam-se cinco conjuntos ou áreas formadas pelas sub-bacias. São elas:

- Uma área com alto nível de sustentabilidade, estendendo-se do centro da bacia em direção a poção sudoeste, formando um todo contínuo que abrange cerca de 25% da área da bacia.
- duas áreas com médio nível de sustentabilidade, uma situada a leste intensamente urbanizada e outra no centro-norte da bacia, numa zona de transição, correspondendo a cerca de 48% da área total da bacia
- duas áreas com baixo nível de sustentabilidade, sendo cada uma formada por apenas uma sub-bacia. Uma localiza-se no centro da bacia e está sujeita a intenso processo de expansão urbana e a outra situa-se no limite leste, localizada sobre as cotas mais elevadas. Juntas, essas duas sub-bacias, representam 25% da área total da bacia do arroio Sapucaia.

Os níveis de sustentabilidade utilizados foram definidos de acordo com os valores encontrados nas sub-bacias, ou seja considerando o universo dos valores apurados. Tendo-se por parâmetro os níveis atribuídos pelo PNUD ao IDH visando determinar o nível de desenvolvimento humano (até 0,499 – baixo desenvolvimento; 0,500-0,799 – médio desenvolvimento e cima de 0,800 até 1,0 - alto desenvolvimento), constata-se a coerência da metodologia aplicada.

Certamente que essa proposta de setorização elaborada a partir da classificação de um índice de sustentabilidade tomado de forma expedita e por análise indireta, não pretende refletir de forma isolada toda a realidade envolvida na questão da sustentabilidade ambiental. Porém, procura indicar uma tendência, capaz de subsidiar trabalhos mais elaborados voltados de forma específica a um zoneamento ambiental. O mapa seguinte (figura 36) apresenta a distribuição espacial dos níveis de sustentabilidade, conforme a classificação proposta, no âmbito da bacia do arroio Sapucaia.

FIGURA 36 : BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SAPUCAIA – NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE NAS SUB-BACIAS



CONCLUSÃO

Pode-se considerar que os objetivos desse estudo foram alcançados de forma satisfatória tendo em vista que a metodologia empregada para a geração do índice de sustentabilidade ambiental da bacia apresentou resultados coerentes com a realidade da área de estudo, ratificando inclusive observações de campo. Contudo é importante destacar que a metodologia proposta constitui uma forma expedita de avaliação das condições de sustentabilidade ambiental. Em função disso, considera um número limitado de variáveis sendo apropriada para aplicação em bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, nas quais freqüentemente se observa carência de dados e indisponibilidade de recursos financeiros para levantamentos mais aprofundados.

O índice aqui desenvolvido, parte de princípios básicos como o desenvolvimento humano, o uso do solo e a fragilidade potencial valendo-se de toda uma base conceitual da Geografia Física sem deixar de considerar a influência do modo de ocupação do solo e condições de vida das comunidades. Utiliza dados públicos, de fácil aquisição e baixo custo e pode ter seus resultados melhorados a medida em que for agregada uma maior quantidade de informações, dados provenientes de amostras de solo, análises de água, mapas de vegetação e outros.

Considera-se que o índice gerado possa ser utilizado para um rápido diagnóstico das condições da bacia servindo como base para planos, a serem implementados pelo poder público ou organizações não governamentais, que visem a preservação do ambiente da bacia como um todo ou mesmo a recuperação de áreas degradadas, situação bastante comum em áreas de forte pressão urbana. Desta forma, o índice de sustentabilidade ambiental gerado nesse estudo pode ainda ser utilizado para comparação com outras bacias

urbanas em condições geográficas ou ambientais semelhantes a fim de avaliar a viabilidade da aplicação de medidas de preservação ou recuperação no âmbito da bacia.

Os resultados foram apurados por sub-bacias originando um mapa final de setorização com o objetivo de avaliar, segundo os critérios adotados, os níveis de sustentabilidade no âmbito da bacia do arroio Sapucaia. Os três fatores que compõem o índice, fator de desenvolvimento humano - *FDH*, fator de uso do solo – *FUS* e o fator de fragilidade potencial - *FFP*, foram combinados tendo por base a metodologia PEI/ER preconizada pela OCDE, sendo que no método ora proposto, estes fatores foram considerados com igual peso o que permitiu avaliar uma maior influência de um ou de outro fator na apuração final do indicador de sustentabilidade de cada sub-bacia.

O *FDH*, adaptado do IDH-M e do IDESE utilizou apenas os dados disponíveis no Censo Demográfico 2000 do IBGE (resultados do universo), em função disso foram necessárias algumas adaptações que, no entanto, não prejudicaram sua apuração, uma vez que os resultados mostraram-se coerentes com o IDH-M dos municípios que compõem a bacia.

O *FUS*, foi obtido de forma indireta, através da classificação da imagem orbital. O método de classificação utilizado pode ser considerado satisfatório resultando em oito classes de uso. Entretanto, na apuração do índice, foi considerado apenas a classe predominante em cada sub-bacia, em função disso houve o predomínio de apenas duas classes para toda a bacia: floresta natural e vegetação ciliar - área urbana e industrial, o que embora ainda coerente em grande parte com a realidade de campo pode ter sido influenciado em alguns pontos em função da defasagem temporal entre a data de obtenção da imagem (2001) e a realização das verificações de campo (2005).

Os dados necessários para o cálculo do *FFP* foram levantados sobretudo por meio das técnicas de geoprocessamento, demandando para isso uma série de procedimentos, entre os quais vale destacar a complementação da rede de drenagem através da análise de fotografias aéreas, afim de dar maior validade aos dados obtidos através da análise da rede de drenagem. Nesse sentido, a utilização de dados obtidos através da análise morfométrica

da bacia hidrográfica, associada aos princípios morfodinâmicos, pode ser considerado essencial na elaboração dessa metodologia.

O emprego de técnicas integradas de geoprocessamento nomeadamente da cartografia digital, do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica foram fundamentais no desenvolvimento do trabalho e se mostraram totalmente eficientes tanto na manipulação e armazenagem dos dados como nas análises realizadas, mostrando-se totalmente adequadas como instrumental de apoio a metodologia proposta.

A principal dificuldade na elaboração desse trabalho, consistiu na integração dos diferentes planos de informação utilizados, os quais em função de suas origens diversas, demandaram um cuidadoso trabalho de compatibilização. Nesse aspecto é importante salientar que a metodologia desenvolvida ressentiu-se de uma base cartográfica atualizada e com uma melhor escala.

Ao analisar os resultados apurados para as sub-bacias observa-se que a área onde encontram-se as maiores altitudes e declividades, junto às nascentes nos morros Itacolomi e das Cabras apresenta baixo valor de *IS* (0,612) devido ao seu alto índice de rugosidade (maior influência do Fator de Fragilidade Potencial) o que demonstra uma menor capacidade de suporte ao uso e ocupação. Estas áreas, embora ainda com boa quantidade de mata nativa preservada e uma situação ambiental diferenciada em relação às demais sub-bacias, sinaliza a necessidade de medidas voltadas à preservação dessas condições através de ações preventivas sobretudo através de um controle mais eficiente do processo de urbanização voltado principalmente para o entorno das nascentes do arroio Sapucaia, o que refletiria positivamente em toda a área.

Nas regiões mais planas verificou-se que os *IS* mais baixos (0,531 a 0,664) ocorrem nas áreas mais urbanizadas (Fator de Uso do Solo) e que apresentam as piores condições de renda e saneamento (Fator de Desenvolvimento Humano), neste caso, principalmente em função da precariedade dos sistemas de esgotamento sanitário.

Além disso, o índice de sustentabilidade proposto mostra-se como uma alternativa rápida para a avaliação das condições de bacias hidrográficas urbanas, o que pode ser

considerado como um aspecto positivo para a elaboração de planos de ação no caso de áreas muito degradadas, situação bastante comum em locais de forte pressão antrópica causada pela expansão urbana.

Devido a sua própria natureza, o emprego de indicadores possui certas limitações, pois estes mecanismos buscam simplificar a realidade de forma a extrair o essencial, por isso recomenda-se cuidado ao abordar as questões ambientais e toda a sua complexidade, devendo-se sempre buscar aferir os resultados obtidos, a fim de evitar erros ou distorções quando da sua análise.

De toda forma não se pretende aqui, propor o uso de indicadores de forma irrestrita, pois de forma alguma as proposições aqui desenvolvidas aplicam-se a qualquer caso havendo sempre a possibilidade de adaptações, aperfeiçoamentos, e mesmo a adoção de outras formas de abordagem.

No entanto, deve-se observar que um dos principais méritos da metodologia proposta nesse trabalho reside na possibilidade de inserir variáveis extraídas tanto do meio físico, como relativas à organização espacial na análise da sustentabilidade, privilegiando desse modo uma perspectiva proveniente da Geografia, tendo em vista a concepção de sustentabilidade adotada, assim como os fatores considerados em sua análise.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Jalcione. *A problemática do desenvolvimento sustentável*. In BECKER, Dinizar F., (Org.). *Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade?* Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1997, 238 p.
- ANDRADE, M. C. *Uma geografia para o século XXI*. Campinas: Papirus, 1994, 114 p.
- BELLEN, H. M. V., *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: FGV, 2005, 256 p.
- BERMUDEZ, F. L. *Geografía física y conservación de la naturaleza*. In Papeles de Geografía, nº 36, Murcia: Universidad de Murcia, 2002, p. 133-146.
- BERMÚDEZ, F.L., RECIO, J.M.R., CUADRAT J.M. *Geografía Física*. Madrid: Cátedra, 1992, 596 p.
- BERNARDES, J.A., FERREIRA, F.P. de M. *Sociedade e natureza*. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A.J.T. (Orgs.) *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 17-42.
- BESSERMAN, Sérgio. *A lacuna das informações ambientais: In: TRIGUEIRO, André et. al. (Org.). Meio ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento*. Rio de Janeiro: Sextante, 2003, p. 91 – 105.
- BRAGA, Tania M., FREITAS, Ana Paula G., DUARTE, Gabriela de S. *Índice de sustentabilidade urbana*. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 1º, 2002, Indaiatuba - SP, 14 p. obtido em: <http://www.anppas.org.br> acesso em: agosto/2005.
- BRANCO, S. M. *Ecossistêmica: uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1999, 2002 p.
- BROWN, Lester R. *Eco-economia: construindo uma economia para a terra*. Salvador: UMA, 2003. 368 p.
- CÂMARA, Gilberto et. al. *Representações computacionais do espaço: um diálogo entre a Geografia e a ciência da geoinformação*. São José dos Campos: DPI/INPE, 2003, 20 p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. *Princípios Básicos em Geoprocessamento*. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. *Sistemas de informações geográficas: Aplicações na agricultura*. Brasília: Embrapa/SPI/CPAC, 1998, 434 p.
- CAMARGO, Luís H. R. de. *A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a geografia da complexidade*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, 240 p.
- CASTELLS, M. *O poder da identidade*. Vol.2. São Paulo: Paz e Terra, 1999, 532 p.
- CHEVALIER, S. et. al. *User guide to 40 Community Health indicators*. Ottawa: Community Health Division. Health and welfare Canada, 1992.

- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1999, 236 p.
- _____. Caracterização de indicadores geomorfológicos para a análise da sustentabilidade ambiental. Sociedade e Natureza, 8(15): 31 –33, 1996.
- _____. A inserção da Geografia Física na política de desenvolvimento sustentável. Geografia, Rio Claro: 18(1): 1 – 22, 1993.
- _____. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1980,188 p.
- _____. Análise de sistemas em Geografia. São Paulo: HUCITEC, 1979. 106 p.
- CMMAD. Nosso futuro comum. FGV, Rio de Janeiro, 1988. 430 p.
- CONSÓRCIO MAGNA-ECOPLAN-BECK DE SOUZA. Projeto técnico de canalização do arroio Esteio no trecho pertencente ao parque de exposições Assis Brasil na cidade de Esteio – RS. Porto Alegre: CORSAN, 1997.118 p.
- CORRÊA, Roberto L. Região e organização espacial. São Paulo: Ática, 3ª ed., 1990. 93 p.
- CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. São Paulo: UNICAMP, 1992, 170 p.
- CSD, Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. New York: United Nations-Commission on Sustainable Development (*Report*), 2001, 315 p.
- DALY, Herman E. Sustentabilidade em Mundo Lotado. Scientific American Brasil, Ed. Especial, nº 44, p. 94-99, Out. 2005.
- DEPONTI, Cidonea M., ECKERT, Córdula, AZAMBUJA, José Luiz B. de. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre: v.3, n.4, out./dez. 2002, p. 44 – 52.
- DESCARTES, René. (1596-1650). Discurso do método. Tradução: Paulo Neves. Porto Alegre: L&PM, 2005, 128 p.
- DREW, David. Processos interativos homem-meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª ed., 2002. 224 p.
- DSG, Folha SH.22-V-D-VI-4 MI-2970/4 (São Leopoldo)
- _____, Folha SH.22-X-C-IV-3 MI-2971/3 (Gravataí)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Resultados do trabalho do IS (apresentação). EMBRAPA Monitoramento por Satélite, Disponível em: <http://www.is.cnpm.embrapa.br>, Acesso em: setembro/2006.
- FELDMANN, Fábio. A parte que nos cabe: consumo sustentável? In TRIGUEIRO, André et. al. (Org.). Meio Ambiente no século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2ª ed., 2003, p. 143 – 157.

- FITZ, Paulo R. Cartografia Básica. Canoas: La Salle, 2000, 171 p.
- FLORENZANO, Teresa G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE/RS). Indicadores econômico-ambientais na perspectiva da sustentabilidade. (Organizado por: Martins, C.H.B.; Oliveira, N.) Porto Alegre: FEE/FEPAM, 2005, 122 p.
- Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE): metodologia e fórmula. Disponível em http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/pt/contet/estatisticas/pg_idese_metodologia.php, Acesso em: abril/2005
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL (METROPLAN). Caracterização da sub-bacia do arroio Sapucaia. Porto Alegre: METROPLAN, 2001. 130 p.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). Indicadores de Sustentabilidade para a Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. Rio de Janeiro: FGV, 2000, 90 p.
- GALLOPIN, Gilberto C. Indicators and their use: information for decision-making. In MOLDAN; BILHARZ (Edited) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development (SCOPE, 58). Paris: UNESCO-SCOPE, 1997.
- GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. Environmental Modelling & Assessment, n. 1, p.101-117, 1996.
- GREGORY, K.J. A natureza da geografia física. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992, 367 p.
- GUIMARÃES, Mauro. Sustentabilidade e Educação Ambiental. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A.J.T. (Orgs.) A questão ambiental: diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 80-105.
- HAMMOND, A.; et. al. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington, DC: World Resources Institute, 1995, 50 p.
- HARVEY, David. Condição pós-moderna. São Paulo: Edições Loyola, 10ª ed., 2001, 349 p.
- HAERTEL, V. Introdução ao sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geossistemas, 1995. 17 p.
- HOBBSAWM, Eric J. Era dos Extremos: o breve século XX: 1914-1991. São Paulo: Companhia das Letras, 1995, 598 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Ed. Fac-similar. Rio de Janeiro: IBGE, 1986 (Levantamento de recursos naturais; v.33).

- . Base de Informações por Setor Censitário – Resultados do Universo, municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Novo Hamburgo e Sapucaia do Sul, Censo Demográfico 2000.
- . Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil 2004. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 393 p., Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em fevereiro/2005.
- KITAHARA, E.K.I. Desenvolvimento Sustentável. In: Revista Saneas, nº 19. São Paulo: AESABESP, 2004, p. 5.
- KURZ, Robert. O Colapso da modernização: Da derrocada do socialismo de caserna à crise da economia mundial. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 5ª ed., 1992, 231 p.
- LANGAAS, Sindre. The spatial dimension of indicators of sustainable development: the role of geographic information systems (GIS) and cartography. In: . MOLDAN; BILHARZ (Edited) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development (SCOPE, 58). Paris: UNESCO-SCOPE, 1997.
- LIMA, O P.; LIMA, R. F. P.; BRIÃO, J.C. Denominação produtos da Cartografia assistida por computadores. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2002, Florianópolis - SC, Disponível em: http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2002/026/026.HTM, Acesso em: 16/11/2006
- LISBOA FILHO, Jugurta. Modelos conceituais de dados para sistemas de informações geográficas. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1997. 122 p.
- LUXEM, M.; BRYLD, B. The CSD work programme on indicators of sustainable development. In: MOLDAN; BILHARZ (Edited) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development (SCOPE, 58). Paris: UNESCO-SCOPE, 1997.
- MACEDO, R. K. A importância da avaliação ambiental. In TAUK-TORNISIELO, S. M., et. al. (Org.) Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: UNESP, 1995, p. 13 – 31.
- MARZALL, Kátia, ALMEIDA, Jalcione. Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília, v.17, n.1, p. 41 –59, janeiro/abril 2000.
- MARTINS, C. H. B. Indicadores de qualidade de vida e de qualidade ambiental: a necessidade de integração das dimensões social, econômica e ambiental. In MARTINS, C. H. B.; OLIVEIRA, N. e Oliveira (Org.) Indicadores econômicos-ambientais na perspectiva da sustentabilidade. Porto Alegre: FEE - FEPAM, 2005, p. 21 - 32.
- MEADOWS, Donela. Indicators and Information Systems for Sustainable development. Hartland VT: The Sustainability Institute, 1998. 95 p., Disponível em: <http://www.sustainabilityinstitute.org>, Acesso em: agosto/2006.
- MEDEIROS, C. B.; PIRES, F. Banco de dados e sistemas de informações geográficas. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. Sistemas de informações geográficas: Aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa/SPI/CPAC, 1998, 434 p.

- MENDES, C.A.B., CIRILO, J.A. Geoprocessamento em recursos hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MENDONÇA, F. Geografia Socioambiental. Terra Livre, São Paulo, n. 16, p. 139-158, 1º semestre/2001.
- MERICO, L. F. K. *et. al.* Avaliação do desenvolvimento econômico através de indicadores ambientais: proposta metodológica para uma experiência piloto em Blumenau – SC. Revista Brasileira de Ecologia, 1:152-155, 1997.
- MOLDAN, Bedrich. Decision Making Cycle. In. MOLDAN; BILHARZ (Edited) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development (SCOPE, 58). Paris: UNESCO-SCOPE, 1997.
- MONTIBELLER Fº., Gilberto. O mito do desenvolvimento sustentável: Meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2ª ed., 2004, 306 p.
- MOREIRA, Maurício Alves. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: UFV, 2ª Ed., 2003, 307 p.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1992, 308 p.
- OLIVEIRA, Cêurio de. Curso de cartografia moderna. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 1993, 152 p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Agenda 21. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/> - Acesso em março/2005.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). OECD environmental indicators: development, measurement and use. Paris, 2003. Disponível em: <http://www.oecd.org/env/> - Acesso em julho/2006.
- PENTEADO-ORELLANA, M. M. Metodologia integrada no estudo do meio ambiente. Geografia. Rio Claro: 10(20) 125 – 148, outubro/1985.
- PNUD/IPEA/Fundação João Pinheiro Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil. 2003*
- REGO NETO, Candido Bordeaux. A integração de geoindicadores e reparcelamento do solo na gestão ambiental urbana. Florianópolis, 2003, 231 fl. Tese (Doutorado) – Universidade Federal e Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, 2003.
- ROMEIRO, Ademar R. Desenvolvimento sustentável e mudança institucional: notas preliminares. Niterói: UFF, 1999, p. 75 – 103. Disponível em: <http://www.uff.br/cpgeconomia/economica.htm> – Acesso em agosto/2005.
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia, nº 8, FFLCH/USP, 1994, p.63-74.
- _____. Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 7ª ed., 2003. 85 p.

- SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo – razão e emoção.* São Paulo: 3ª ed. Hucitec, 1999, 308 p.
- _____. *Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal.* Rio de Janeiro: Record, 7ª ed., 2001, 174 p.
- SANTOS, R. F. dos. *Planejamento Ambiental: teoria e prática.* São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.
- SILVA, Ardemirio de Barros. *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.* Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 240 p.
- SILVA, A. M., SCHULZ, H. E., CAMARGO, P. B. de. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.* São Carlos: RiMa, 2003, 140 p.
- SILVEIRA, André L. L. da. *Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In TUCCI (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação.* Porto Alegre: Editora da UFRS/ABRH, 3ª ed., 2004. 943 p.
- TAYRA, Flávio, RIBEIRO, Helena. *Desenvolvimento sustentável: algumas contradições, muitas esperanças.* In: Revista Saneas, nº 19. São Paulo: AESABESP, 2004, p. 38-40.
- TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLETTI, A. *Sistema de Informação Geográfica – Dicionário Ilustrado.* São Paulo: Hucitec, 1997.
- TRAMONTINI, Marcos J. *A Organização dos Imigrantes: a colônia de São Leopoldo na fase pioneira 1824 – 1850.* São Leopoldo: Editora Unisinos, 2000. 424 p.
- TRICART, Jean. *Ecodinâmica.* Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.
- VALLE, C.E. do. *Qualidade Ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.* São Paulo: Pioneira, 1995. 105 p.
- VITALE, Luis. *Hacia una historia del ambiente en América Latina: de las culturas aborigenes a la crisis ecológica actual.* México D.F.: Nueva Sociedad, 1983, 121 p.
- WINOGRAD, Manuel. *Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para la toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe.* Cali: CIAT/UNEP, 1995.
- WINOGRAD, M; EADE., J. *Environmental and sustainability indicators for Latin America and the caribbean: the use of geographical information systems. In MOLDAN; BILHARZ (Edited) Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development (SCOPE, 58).* Paris: UNESCO-SCOPE, 1997.
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. *Geoprocessamento para análise ambiental.* Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001. 227 p.

Apêndice A

NOTAS DE TRADUÇÃO*

CAPÍTULO 1

⁽¹⁾ *É um erro conceitual gravíssimo estabelecer uma separação entre o homem, por um lado, e o ambiente por outro, como se estivessem divididos. É necessário separar a concepção dualista de homem- natureza. A sociedade global humana deve analisar-se como fazendo parte do ambiente, compreendendo que a sua evolução está condicionada pela natureza. Por sua vez, o homem modifica em parte a natureza. (p.7)*

⁽²⁾ *Existe uma relação muito estreita entre a pobreza e a degradação ambiental. Apesar da pobreza impor uma grande pressão sobre o meio ambiente, a causa principal da deterioração do meio ambiente é a modalidade insustentável de consumo e produção, nos países industrializados em particular, o que agrava a pobreza e intensifica os desequilíbrios. [...] A conquista de um desenvolvimento sustentável exigirá uma produção eficiente e mudanças do consumo a fim de otimizar a utilização dos recursos e de reduzir a geração de desperdício ao mínimo. Para isso será necessário reorientar as modalidades das sociedades industrializadas, as quais tem sido imitadas em grande parte do mundo em desenvolvimento. (p.08)*

⁽³⁾ *Deveriam ser formulados novos conceitos de riqueza e da prosperidade nas quais haja margem para alcançar níveis de vida mais altos, utilizando para isso a mudança dos estilos de vida em direção a estilos que dependam menos dos recursos finitos da Terra e que estejam em maior consonância com sua capacidade de suporte. Esta idéia deveria se manifestar através de novos sistemas de contas nacionais e de outros indicadores de desenvolvimento sustentável.(p.18)*

CAPÍTULO 2

⁽⁴⁾ *Um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, que esta direcionado para prover informações relativo a descrição do estado de um fenômeno / ambiente / área, com um significado que estende-se além daquele diretamente associado com um valor do parâmetro. (p.28)*

⁽⁵⁾ *indicadores são difíceis de definir. Eles são baseados em modelos incertos. Sua seleção e uso é cheio de armadilhas. Eles carregam diferentes mensagens, não significa, contudo que nós não devamos usar indicadores. Nós não temos escolha. Sem eles nós voamos cego. O mundo é também complexo para tratar com toda a informação disponível. Nós temos que escolher um grupo de indicadores pequeno e significativo o bastante para compreende-lo. Em vez de nos desencorajar, as armadilhas e dificuldades deveriam nos dar idéias sobre como projetar indicadores melhores, e motivação para fazer isso. (p.36)*

⁽⁶⁾ *Sem dúvida, a humanidade e seus sistemas econômicos são um sub-sistema dependente da eco-esfera, ou seja, que todos os seres vivos estão inseridos na natureza. A humanidade depende da natureza e não o inverso. Pesquisar e encorajar as sociedades e pesquisadores de todo o mundo a conhecer o funcionamento dos sistemas naturais, a conservar a integridade e a*

diversidade da natureza e assegurar a gestão e uso dos recursos naturais de modo eqüitativo e durável, é um desafio e pode converter-se na conquista ambiental e social do século XXI. (p.40)

(7) O modo em que se interpreta e modeliza a realidade não é intocável. ?(p.41)

(8) Indicadores de desenvolvimento sustentável: estrutura e metodologias. (p. 54)

CAPÍTULO 3

(9) "Sistemas de Informação geográficas (SIG) é uma ferramenta útil e talvez necessária, para incorporar indicadores ambientais no processo de desenvolvimento. A integração de indicadores econômicos, sociais e ambientais em uma estrutura espacial permite análises mais poderosas e realísticas que a aquelas oferecidas através de métodos convencionais não espaciais. Desse modo as aludidas relações de causa-efeitos dos modelos de indicadores e estrutura, como o modelo de Pressão-estado-impacto-resposta, podem ser identificadas e analisadas com maior precisão e realismo". (p. 65)

**Tradução realizada pelo autor*