



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUAÇÃO**  
**DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL – RECURSOS HÍDRICOS**

**PAULO MÁRCIO SOUZA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE  
HIDROAMBIENTAL (Estudo de Caso: APA de Baturité, Ceará)**

**FORTALEZA**

**2014**

**PAULO MÁRCIO SOUZA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE HIDRO-  
AMBIENTAL (Estudo de Caso: APA de Baturité, Ceará)**

Tese apresentada à Coordenação do  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Ceará,  
como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Doutor.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ticianá Marinho de  
Carvalho Studart

**FORTALEZA**

**2014**

**PAULO MÁRCIO SOUZA VIEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE HIDRO-  
AMBIENTAL (Estudo de Caso: APA de Baturité, Ceará)**

Tese apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor.

Aprovada em: 31/07/ 2014

**BANCA  
EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ticiano Marinho de Carvalho Studart  
(Orientadora) Universidade Federal do Ceará  
(UFC)

---

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Nilson Bezerra Campos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Maria Brabo Alves  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Rubens Sonsol Gondim  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
(EMBRAPA)

Dedico este trabalho aos meus pais, Vicente e Laura, aos meus irmãos Marcos, Vicente, Flávio e Marcelo, as minhas cunhadas e sobrinhos, a minha adorável mulher Germana, aos meus filhos João e Clara e a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Ticiania

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, os Professores Vicente de Paulo Pereira Barbosa Vieira e Laura Maria Souza Vieira, pelo eterno incentivo, pelo amor incondicional, pela incansável dedicação e, acima de tudo, pelo exemplo de toda uma vida.

À minha bela e amada esposa, Germana, sempre confiante, positiva e bem humorada até nos momentos mais difíceis, por estar ao meu lado, pelo seu amor, por ter me dado dois belos filhos, João e Clara, e pela certeza que eu tenho de que ela vai pra debaixo da ponte comigo se for preciso.

Aos meus queridos irmãos Marcos, Vicente, Flávio e Marcelo, protagonistas na minha vida, que nunca faltaram com o apoio necessário ao longo de todos esses anos de convivência.

As minhas cunhadas Paula, Ticiane, Natália e Paulinha, pela constante presença e carinho, a minha enteada Brisa, e aos meus sobrinhos Vitor, Deinha, Débora, Yero, Caio, Nuno, Theo, Artur e Isabela, que representam o legado e a continuidade de nossa família.

A Professora e orientadora Dr<sup>a</sup>. Ticiane Marinho de Carvalho Studart, pelo estímulo, por ter acreditado e me incentivado a seguir sempre em frente, a recomeçar mesmo diante das adversidades.

Ao Professor Dr. Francisco de Assis de Souza Filho, pela confiança no trabalho e pelas dicas oportunas e precisas, que iluminou os últimos passos de minha caminhada.

Aos Professores Nilson Campos, Rubens Sonsol, José Maria Brabo, Renata Luna, que participaram das bancas de qualificação e de defesa juntamente com os professores Assis e Ticiane, por seus conhecimentos, pelas sugestões e pela disposição em fazer parte desse projeto.

Aos colegas, funcionários e professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC – Universidade Federal do Ceará, em particular aos servidores Shirley, Terezinha, Edineuza e Xavier pela ajuda e dedicação.

A todos da FUNCEME, funcionários, colegas e ao presidente Dr. Eduardo Sávio, que me atenderam prontamente em diversas ocasiões, disponibilizando dados e informações e me concedendo essa oportunidade. Em especial pela colaboração determinante do Dr. Nilo, gênio e amigo.

Ao amigo e parceiro Dr. Humberto Junior, pela ajuda, pelo incentivo e pelo exemplo vitorioso, trazendo-me bastante inspiração.

Ao amigo e sócio Dr. Caio Braz, pela coragem, pela superação, pelo comprometimento, pelas incontáveis horas de trabalho, pela lealdade e pelo espírito de equipe.

As Empresas Gaia Engenharia Ambiental Ltda e Gaiasat Soluções em Tecnologias Espaciais Ltda, fundamental para o desenvolvimento do trabalho, pelo suporte, apoio e competência de todos os técnicos envolvidos, capitaneadas pelo amigo e sócio Dr. Marconi, com participação voluntariosa dos parceiros Fabiano, Flávio, Marcinho e Dane, das vibrantes engenheiras Renata e Nayara, dos incansáveis engenheiros Rovani, Emanuel e Romário e do dedicado geógrafo Ilan.

A casa da Serra, o aconchegante Sítio Mon Parnasse, meu recanto predileto, meu retiro, que me acolhe, me renova, me revigora, e me enche de entusiasmo para retomar a rotina do cotidiano.

Aos meus amigos do peito, parceiros de longa data, aos “ciços” do Bola na Rede e a todos aqueles que inspiraram e enriqueceram este trabalho, minha eterna gratidão.

## O Engenheiro

A luz, o sol, o ar livre  
envolvem o sonho do engenheiro.  
O engenheiro sonha coisas claras:  
Superfícies, tênis, um copo de água.

O lápis, o esquadro, o papel;  
o desenho, o projeto, o número:  
o engenheiro pensa o mundo justo,  
mundo que nenhum véu encobre.

João Cabral de Melo Neto

Em homenagem ao meu pai, Prof. Dr.  
Vicente de Paulo Pereira Barbosa Vieira

"Exercícios de Admiração".

O engenheiro Vicente  
Também sonha coisas claras,  
Também sonha um mundo justo,  
Também pensa um copo d'água.

O engenheiro Vicente,  
Doutor em hidrologia  
Repensa os recursos hídricos  
E mergulha na poesia.

O engenheiro Vicente  
Repensa todos os números  
Da sua biografia

E quando chega nas letras  
Revela o grande segredo:  
Toda poesia é espelho

Horácio Dídimo

## RESUMO

No intuito de dar suporte à uma política de gestão integrada e uso racional dos recursos hídricos de forma a garantir um desenvolvimento sustentável é imprescindível a aplicação de ferramentas capazes de medir o desempenho dos sistemas hídricos e ambientais. Os indicadores e índices têm o papel de traduzir numericamente uma determinada situação e apontar, ao tomador de decisão, o sentido da sustentabilidade de uma região. O desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental (ISHA) corresponde a uma análise multidisciplinar tratando de vários aspectos de inter-relacionamento entre parâmetros hídricos e ambientais tendo como base alguns critérios importantes como: disponibilidade hídrica, qualidade e uso da água, acesso à mesma e impacto no meio ambiente. Para o desenvolvimento de um índice desta natureza no Ceará, foi escolhida uma área representativa de Ambientes Serranos no Semiárido do Estado - a APA (Área de Proteção Ambiental) do Maciço Baturité. Foi considerado um modelo estrutural baseado na abordagem Pressão-Estado-Resposta propondo uma metodologia de desenvolvimento de um índice de Sustentabilidade Hidroambiental para áreas serranas do Semiárido brasileiro.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento Sustentável, Indicadores de Sustentabilidade Hidroambiental; Modelo Estrutural PSR (Pressão - Estado - Resposta).

## ABSTRACT

In order to support an integrated management policy and the rational use of water resources toward sustainable development, it is unavoidable the search of efficient instruments to measure the performance of hydrological and environmental systems. Indicators and indexes have the role of translating numerically one specific situation and point out to the decision maker the sustainability status of that region. The development of a hydro-environmental sustainability index complies a multidisciplinary analysis dealing with several interrelated aspects of hydrologic and environmental parameters, based on some important criteria such as: water availability, quality and use of water, people access to water, environment impact. To the development of such an index in the State of Ceará a representative area of the semiarid highland environment has been chosen: Baturité APA (Area of Environmental Protection). A model structure based on the Pression-State-Response approach has been considered, resulting in the proposition of a Hydro-Environmental Sustainability Index for the highlands in the Semiarid Brazilian Region.

**Keywords:** Sustainable Development, Hydro-Environmental Sustainability Index, Model Structure PSR (Pression-State-Response)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Pirâmide de informações.....	33
Figura 2.2 - Representação esquemática de procedimento de desenvolvimento de Indicadores.....	38
Figura 3.1 - Municípios inseridos na APA de Baturité. ....	102
Figura 3.2 - Área de estudo da APA de Baturité .....	105
Figura 3.3 - Mapa com as localizações e precipitações média dos municípios da APA de Baturité.....	107
Figura 3.4 - Municípios da região do estudo inserido na bacia do Curu e Metropolitana.....	112
Figura 3.5 - Taxa de uso e ocupação por município. ....	124
Figura 4.1 - Fluxograma do modelo Pressão - Estado – Resposta (PSR). ....	151
Figura 4.2 - Fluxograma de desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental. ....	153
Figura 4.3 - Ilustração dos Índices Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico nos Gáficos da Ameba.....	162
Figura 4.4 - Representação do mundo real nas estruturas vetorial e raster.....	164
Figura 4.5 - Aplicação em formato raster. ....	164
Figura 4.6 - Formas vetoriais utilizadas para representar o espaço geográfico em um SIG. ....	165
Figura 4.7 - Camadas georreferenciadas em um SIG.....	166
Figura 4.8 - Imagem SPOT (2,5 m de resolução) da APA de Baturité de 2005. ....	169
Figura 4.9 - Imagem SPOT (2,5 m de resolução) da APA de Baturité de 2013. ....	170
Figura 4.10 – Disposição das folhas cartográficas na APA de Baturité.....	172
Figura 4.11 - Mapa de Declividade de Aratuba. ....	173
Figura 4.12 - Mapa de Declividade do Sítio Cardoso. ....	173
Figura 4.13 - Mapa de Declividade de Guaramiranga.....	174
Figura 4.14 - Mapa de Declividade de Mulungu.....	174
Figura 4.15 - Mapa de Declividade de Pacoti.....	175
Figura 4.16 - Mapa de Declividade de Areias.....	175
Figura 4.17 - Mapa de APP de Aratuba. ....	177
Figura 4.18 - Mapa de APP do Sítio Cardoso. ....	177
Figura 4.19 - Mapa de APP de Guaramiranga. ....	178

Figura 4.20 - Mapa de APP de Mulungu. ....	178
Figura 4.21 - Mapa de APP de Pacoti. ....	179
Figura 4.22 - Mapa de APP de Areias. ....	179
Figura 4.23 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Aratuba 2005. .....	181
Figura 4.24 -Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo do Sítio Cardoso 2005. ....	181
Figura 4.25 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Guaramiranga 2005. ....	182
Figura 4.26 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Mulungu 2005. .....	182
Figura 4.27 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Pacoti 2005.	183
Figura 4.28 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Areias 2005.	183
Figura 4.29 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Aratuba 2013. .....	184
Figura 4.30 -Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Sítio Cardoso 2013. ....	184
Figura 4.31 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Guaramiranga 2013. ....	185
Figura 4.32 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Mulungu 2013. .....	185
Figura 4.33 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Pacoti 2013.	186
Figura 4.34 - Mapa de Cobertura Vegetal/UsO Ocupação do Solo de Areias 2013.	186
Figura 5.1 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba 2005 - 2013. ....	197
Figura 5.2 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Guaramiranga 2005 - 2013....	197
Figura 5.3 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Mulungu 2005 - 2013.....	198
Figura 5.4 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Pacoti 2005 - 2013.....	198
Figura 5.5 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005. ....	199
Figura 5.6 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013. ....	199
Figura 5.7 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba 2005 - 2013. .....	206

Figura 5.8 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Guaramiranga 2005 - 2013. ....	206
Figura 5.9 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Mulungu 2005 - 2013. ....	207
Figura 5.10 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Pacoti 2005 - 2013. ....	207
Figura 5.11 - Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.....	208
Figura 5.12 - Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.....	208
Figura 5.13 - ISHA de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005 - 2013.....	214
Figura 5.14 - Comparação dos índices de Pressão, Estado e Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.....	217
Figura 5.15 - Comparação dos Índices de Pressão, Estado e Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.....	220
Figura 5.16 - Comparação dos Meios Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.....	218
Figura 5.17 - Comparação dos Meios Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.....	218

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Indicadores de Sustentabilidade. ....	64
Tabela 3.1 - Precipitação (mm) média anual dos municípios estudados. ....	107
Tabela 3.2 - Dados de temperatura dos municípios da área em estudo. ....	108
Tabela 3.3 - Representação dos municípios do estudo na bacia do Curu e Metropolitana.....	112
Tabela 3.4 - Vazão Específica e Coeficiente de Escoamento Superficial .....	113
Tabela 3.5 - Oferta hídrica dos Municípios da área de estudo.....	114
Tabela 3.6 - Demanda Hídrica para Consumo Urbano dos Municípios. ....	115
Tabela 3.7 - Demanda Hídrica para Consumo Humano Rural.....	115
Tabela 3.8 - Valores de BEDA (Bovino Equivalente p/ Demanda D'água) por Município.....	115
Tabela 3.9 - Demanda Animal por Município. ....	116
Tabela 3.10 - Consolidação das Demandas Hídricas dos Municípios.....	116
Tabela 3.11 - Disponibilidades Subterrâneas Urbanas nos Municípios da Região estudada.....	117
Tabela 3.12 - Índice de Aridez Médio para cada Município.....	118
Tabela 3.13 - Projeção de Balanços hídricos. ....	119
Tabela 3.14 - Classes de uso de solos mapeadas para os municípios.....	122
Tabela 3.15 - Uso e ocupação dos solos por áreas ocupadas.....	123
Tabela 3.16 - Taxa de ocupação por município. ....	123
Tabela 3.17 - Percentual das áreas com concentração de uso agrícola na APA da Serra de Baturité – CE. ....	124
Tabela 3.18 - PIB e PIB por setor – (2000/2009). ....	125
Tabela 3.19 - Índices de Desenvolvimento.....	126
Tabela 3.20 - Evolução da População Residente.....	128
Tabela 3.21 - Indicadores Demográficos.....	129
Tabela 3.22 - Índices de Educação. ....	130
Tabela 3.23 - Principais Indicadores de Saúde. ....	131
Tabela 3.24 - Infraestrutura e Saneamento Básico. ....	132
Tabela 3.25 - Disponibilidade de água per capita por município.....	132
Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos .....	142
Tabela 5.1 - Indicadores Ajustados para os Municípios - Ano 2005.....	190

Tabela 5.2 - Indicadores Ajustados para os Municípios – Ano 2013.....	191
Tabela 5.3 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação I (2005).....	195
Tabela 5.4 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação I (2013).....	196
Tabela 5.5 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação II (2005).....	205
Tabela 5.6 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação II (2013).....	205
Tabela 5.7 - Índices do Nível de Aglutinação III (2005).....	213
Tabela 5.8 - Índices do Nível de Aglutinação III (2013).....	213
Tabela 5.9 - Desempenho Global do ISHA. ....	215
Tabela 5.10 - Desempenho dos Municípios nos Índices Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico.....	219
Tabela 5.11 - Desempenho Global do ISHA 2005 - 2013. ....	220

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Matriz de indicadores ambientais.....	47
Quadro 2.2 – Indicadores de Desempenho.....	49
Quadro 2.3 - Marco ordenador proposto pela CDS/ONU.....	56
Quadro 2.4 - Dimensões e temas dos IDS-Brasil 2002.....	56
Quadro 2.5 – Dimensões, temas e indicadores no IDS-Brasil de 2010.....	57
Quadro 2.6 - Componente do Índice de Pobreza Hídrica.....	71
Quadro 2.7 - Exemplos de indicadores do SNIU com interface para os serviços de água e esgoto.....	79
Quadro 2.8 - Exemplo de indicadores do RIPSA com interface para os serviços de água e esgoto.....	80
Quadro 3.1 - Classificação do clima da área de estudo.....	106
Quadro 3.2 - Evaporação (Tanque Classe A, Guaramiranga):Média anual: 562 mm/ano.....	109
Quadro 3.3 - Descrição do Relêvo dos Municípios da Área de Estudo.....	110
Quadro 3.4 - Classificação do solo dos municípios em estudo.....	111
Quadro 4.1 - Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Socioeconômicos selecionados.....	140
Quadro 5.1 - Escala de Desempenho.....	193
Quadro 5.2 - Desempenho do ISHA de 2005.....	214
Quadro 5.3 - Desempenho do ISHA de 2013.....	215
Quadro 5.4 - Classificação e representação dos níveis do índice de Sustentabilidade Hidroambiental – ISHA (2005 e 2013).....	219

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área da Bacia
AA	Abastecimento de Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMD	Análise Multicriterial à Decisão
Ap	Área de Projeção Horizontal da Edificação
APA	Área de Proteção Ambiental
APP's	Áreas de Preservação Permanente
ARCE	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará
At	Área Total do Terreno
$A_{Total}$	Área Total
BOD/DBO	Biological Oxygen Demand/Demanda Biológica de Oxigênio
CDS	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
CFC	Clorofluorcarboneto
CL	Coleta de Lixo
Cmax	Cota Máxima da Área de Drenagem
Cmin	Cota Mínima da Área de Drenagem
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPR	Condição–Pressão–Resposta
CV	Coeficiente de Variação dos Deflúvios Anuais
CV <sup>3</sup>	Variabilidade dos Deflúvios Anuais

D/Q	Relação entre o Uso Consuntivo e os Recursos Hídricos Renováveis
Dap	Disponibilidade de Água Per Capita
DETPR	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DPop. Total	Densidade Populacional Total
DPSIR	Força Propulsora–Pressão–Estado–Impacto–Resposta
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico do Exército
DSR	Força Propulsora–Estado–Resposta
DU	Drenagem Urbana
ES	Esgotamento Sanitário
ESI	Índice de Sustentabilidade Ambiental
Eto	Evapotranspiração Potencial
ETP – (P – Q)	Déficit de Evapotranspiração Potencial
ETP	Evapotranspiração Potencial
EUROSTAT	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
EVI	Índice de Vulnerabilidade Ambiental
Fe	Fator Admissional de Evaporação
fk	Fator Admissional de Capacidade
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GHG	Greenhouse Gas (Gases de Efeito Estufa)
IA	Índice de Aridez
IA	Índices Antrópicos

IAE	Indicador Antrópico de Estado
IAP	Indicador Antrópico de Pressão
IAR	Indicador Antrópico de Resposta
IB	Índices Bióticos
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IBE	Indicador Biótico de Estado
IBES	Índice de Bem-estar Econômico Sustentável
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBP	Indicador Biótico de Pressão
IBR	Indicador Biótico de Resposta
ICA	Indicador de Condição Ambiental
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICV	Índice de Custo de Vida
Idc	Índice de Distribuição de Chuvas;
IDCR	The International Development Research Center
Ideb	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IDG	Indicadores de Desempenho de Gerencial
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDM	Índice de Desenvolvimento Municipal
IDO	Indicadores de Desempenho Operacional
IDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
IF	Índices Físicos

IFE	Indicador Físico de Estado
IFP	Indicador Físico de Pressão
IFR	Indicador Físico de Resposta
IH	Índices Hídricos
IHE	Indicador Hídrico de Estado
IHP	Indicador Hídrico de Pressão
IHR	Indicador Hídrico de Resposta
IMA	Índice Municipal de Alerta
IMC	Indicador Multicriterial
Inep/MEC	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
IPA	Índice de Pobreza da Água
IPC	Índice de Preços ao Consumidor
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPHS	Perturbação Hidrossedimentológica
IQA	Índice de Qualidade de Água
IQV	Índice de Qualidade de Vida
ISDA	Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental
ISHA	Índice de Sustentabilidade Hidroambiental
ISHA	Sustentabilidade Hidroambiental
I <sub>u</sub>	Índice de urbanização

IUCN	The World Conservation Unit
IUCN	WORLD CONSERVATION UNION
IUD	Índice de Utilização de Disponibilidade
IUD	Índice de Utilização de Disponibilidade;
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
IVP	Infravermelho Próximo
IWMI	International Water Management Institute
MDT	Modelo digital de terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
$N_{nasc.}$	Número de Nascimento em Determinado Período;
$N_o$	Número de Óbitos em Determinado Período;
NSF	National Sanitation Foundation
OCDE	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico
OD	Oxigênio Dissolvido
OECE	Organização para a Cooperação Económica
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana der Saúde
P média anual	Precipitação Média Anual
P	Precipitação
P	Precipitação
PE	Probabilidade de Esvaziamento
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos

PIB	Produto Interno Bruto
PMSS	Programa de Modernização do Setor de Saneamento
PMunicípio	População do Município
PNB	Produto Nacional Bruto
PNL	Produto Nacional Líquido
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Humano
PNUMA/UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POCs	Persistent Organic Chemicals
Pop. Urbana	População Urbana
Pop.Total	População Total
Pop.Total	População Total
P-Q	Evapotranspiração Real
Pr	Precipitação
PRAS	Programa de Reforma Agrária Solidária
PSIR	Pressão–Estado–Impacto–Resposta
PSR	Pressão-Estado-Resposta
$P_t$	População no Ano final
$P_{t_0}$	População no Ano inicial
Q	Escoamento
Q	Vazão Média Anual
Qd	Demanda Hídrica

Qd	Índice de Demanda
Qd/Qo	Índice de Uso da Oferta Disponível
Qd/Qo	Índice de Uso da Oferta Disponível
Qes	Coeficiente de Escoamento Superficial
Qesp.	Vazão Específica
Q <sub>média histórica</sub>	Vazão Média Histórica
Qmin/Qmáx	Relação entre as Vazões Mínimas e Máximas
Qo	Índice de Oferta Disponível
Qo	Oferta Hídrica
Qo/Qp	Índice de Disponibilidade da Oferta Potencial de Água
Qo-Qd	Saldo entre Estoque Disponível e Demanda
Qp	Índice de Oferta Potencial
RHBIG	Região Hidrográfica da Bacia de Ilha Grande
Ripsa	Rede Interagencial de Informações para a Saúde
S/Q	Relação entre a capacidade de Acumulação e o Suprimento Renovável
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SESA	Secretaria da Saúde do Estado do Ceará
SIG's	Sistemas de Informações Geográficas
SLdren	Soma dos Comprimentos dos Cursos D'água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNIU	Sistema Nacional de Indicadores Urbanos

SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
Sopac	Comissão de Geociência Aplicada do Pacífico Sul
SR	Sensoriamento Remoto
SSDACO	Sistema de Suporte e Decisão para Análise e Controle de Outorgas
SUS	Sistema Único de Saúde
$T_{cp}$	Taxa de Crescimento Anual da População % ao Ano
TIN	Triangulated Irregular Network
$T_{mi}$	Taxa de Mortalidade Infantil
$T_o$	Taxa de Ocupação
UCs	Unidades de Conservação
UESPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UNDP	United Nations Development Programme
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VOCs/COV	Volatile Organic Compounds/Compostos Orgânicos Voláteis
WWF	World Wide Fund for Nature (em português: Fundo Mundial para a Natureza)

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 Contribuição Científica</b> .....	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Índices e Indicadores</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.1 Bases Conceituais</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.2 Indicadores e Índices</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.3 Estrutura Conceitual de Indicadores</b> .....	<b>35</b>
<b>2.1.4 Tipos de Índices e Indicadores</b> .....	<b>43</b>
<b>2.2 Unidades de Conservação</b> .....	<b>86</b>
<b>2.3 Geotecnologias</b> .....	<b>93</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</b> .....	<b>102</b>
<b>3.1 Meio Físico</b> .....	<b>105</b>
<b>3.1.1 Aspectos Climáticos</b> .....	<b>105</b>
<b>3.1.2 Precipitações</b> .....	<b>106</b>
<b>3.1.3 Temperatura</b> .....	<b>107</b>
<b>3.1.4 Evaporação</b> .....	<b>108</b>
<b>3.1.5 Relevo</b> .....	<b>109</b>
<b>3.1.6 Solos</b> .....	<b>111</b>

3.1.7	<i>Recursos Hídricos</i> .....	111
3.2	Meio Biótico .....	119
3.2.1	<i>Cobertura Vegetal</i> .....	120
3.2.2	<i>Uso e ocupação do solo</i> .....	121
3.3	Meio Sócio-econômico.....	124
3.3.1	<i>Economia</i> .....	125
3.3.2	<i>Aspectos Demográficos e Sociais</i> .....	127
3.3.3	<i>Educação</i> .....	129
3.3.4	<i>Saúde</i> .....	130
3.3.5	<i>Infraestrutura e Saneamento Básico</i> .....	131
4	METODOLOGIA .....	133
4.1	Definição do Objeto de Estudo e Levantamento das Informações .....	134
4.2	CrITÉrios de Escolha de Índices e Indicadores.....	136
4.3	Seleção dos Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópicos.....	139
4.4	Seleção de Índices e Indicadores.....	141
4.5	Geração do Modelo PSR .....	150
4.6	Geração do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) .....	156
4.7	Uso de Geotecnologias .....	162
4.8	Mapeamentos Temáticos .....	171
4.8.1	<i>Declividade</i> .....	172
4.8.2	<i>Áreas de Preservação Permanente (APP's)</i> .....	176
4.8.3	<i>Uso e Ocupação dos Solos/Cobertura Vegetal</i> .....	180
4.9	Análise Espaço-Temporal do ISHA .....	187
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	188
5.1	Índices e Indicadores .....	188
5.2	Índices Intermediários.....	192
5.3	ISHA .....	212

<b>5.4</b>	<b>Análises Comparativas do ISHA .....</b>	<b>216</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>221</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>226</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental e dos recursos hídricos causados, principalmente, por atividades antrópicas presentes nos processos de urbanização e no uso e ocupação das terras, resultam na diminuição da produtividade da biomassa e da biodiversidade, afetam a qualidade e disponibilidade da água e se refletem na atividade econômica. Sem o uso racional dos recursos hídricos, o solo, a água e a cobertura vegetal sofrem sérios problemas nos seus aspectos quantitativos e qualitativos, podendo atingir um alto grau de severidade, muitas vezes irreversíveis.

Assim, é imprescindível a aplicação de ferramentas capazes de medir o desempenho dos sistemas hídricos e ambientais. Vários parâmetros e variáveis têm sido apontados na literatura para inferir o desempenho de sistemas hídricos e ambientais – são os chamados ‘indicadores’. A dificuldade, na verdade, não parece estar em apontar indicadores, mas em agregá-los em um único parâmetro – o ‘índice’ - capaz de traduzir numericamente uma situação e apontar, ao tomador de decisão, o sentido da sustentabilidade da região.

O presente trabalho propõe uma metodologia de desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental – ISHA, aplicando um modelo estrutural baseado na abordagem de causa efeito PSR (Pressão-Estado-Resposta). Trata-se de uma análise multidisciplinar, abordando vários aspectos de inter-relacionamento entre parâmetros hídricos, ambientais e socioeconômicos, e, tendo como base, alguns critérios importantes, tais como disponibilidade hídrica, qualidade e uso da água, acesso aos mesmos e impactos no meio ambiente. O ISHA é capaz de traduzir informações de caráter pontual, localizadas no tempo e no espaço, permitindo o acompanhamento dinâmico da realidade e otimizando os atributos das informações existentes no auxílio do monitoramento e do processo decisório.

Para a sua aplicação, foi escolhida uma área representativa de ambientes serranos no Ceará - a APA do Maciço Baturité. Localizada a 90 km da capital Fortaleza, a APA tem áreas remanescentes da Mata Atlântica, sendo a primeira e a

mais extensa Área de Proteção Ambiental implantada pelo Estado, decorrente da necessidade de controle e regulamentação da ocupação desordenada da terra.

Apesar de todo o esforço institucional para garantir-se a realização plena dos objetivos da APA, na prática, assim não acontece. É grande a pressão das populações locais, empresas de comercialização de água mineral, cerâmicas, pousadas e casas de veraneio sobre os recursos naturais. Muitos problemas envolvendo a diversidade biológica e formas de uso da terra persistem até os dias atuais.

A escolha da APA de Baturité, além das razões acima descritas, foi feita em função da riqueza de dados e informações existentes, tanto hídricas quanto ambientais, podendo demonstrar o potencial de aplicação do ISHA, o qual pode ser utilizado em outras áreas onde a variável hídrica tenha relevância no desenvolvimento sustentável.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental, de ampla aplicação, baseado na abordagem PSR (Pressão-Estado-Resposta), inter-relacionando parâmetros hídricos, ambientais e socioeconômicos, e que possa traduzir alterações temporais e espaciais no ambiente analisado.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Contribuir para o entendimento dos processos de degradação ambiental, através da identificação dos parâmetros e indicadores relevantes para sua análise;
- Avaliar a sustentabilidade hidroambiental dos municípios pertencentes à APA da Serra de Baturité, entre os períodos de 2005 a 2013, com a utilização do ISHA desenvolvido;

- Propiciar informações objetivas com vistas à evolução temporal da sustentabilidade ambiental e elaboração de planos e programas corretivos e desenvolvimentistas.

## **1.2 Contribuição Científica**

Os índices e indicadores atualmente são utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento, especialmente quando se trata da integração de grandezas diferenciadas não comensuráveis. Isto vem ocorrendo com frequência nas áreas econômicas, social e ambiental.

O ineditismo do presente trabalho decorre da composição da estreita integração entre a caracterização hidrológica e a dimensão ambiental em áreas com problemas de eficiência hídrica. Os parâmetros e indicadores escolhidos refletem essa preocupação, de forma que o ISHA traduz a realidade Hidroambiental da região analisada, assim como sua evolução ao longo do tempo, de forma a viabilizar análises objetivas e dar suporte aos processos de planejamento e gestão. A sua variabilidade no tempo e no espaço pode indicar a necessidade de mudanças de políticas públicas adequadas à região estudada, assim como à de estudos comparativos de regiões semelhantes.

Cabe destacar ainda que, o caráter inovador do trabalho também se traduz nos procedimentos metodológicos propostos para a obtenção do ISHA, onde cabe destacar a aplicação do modelo estrutural baseado na abordagem de causa efeito PSR (Pressão-Estado-Resposta). Este modelo, consagrado e comumente utilizado no desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, no presente trabalho, se diferencia largamente de outras aplicações, em função da abordagem hidroambiental, dando ênfase especial aos aspectos hídricos. A abordagem PSR permite integrar várias dimensões e agregar, simultaneamente, diversos indicadores com diferentes escalas espaciais e temporais.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A degradação ambiental, assim como os processos de urbanização, principalmente causado por atividades antrópicas podem ser vistos como um dos resultados da pressão excessiva do uso e ocupação das terras, resultando na redução da produtividade da biomassa e da biodiversidade, em mudanças na qualidade e disponibilidade da água e na diminuição da atividade econômica. Sem o uso racional dos recursos naturais, principalmente o solo, a água e a cobertura vegetal sofrem sérios problemas nos seus aspectos quantitativos e qualitativos, podendo atingir um alto grau de severidade inclusive de forma irreversível. (FERNANDES et al., 2005).

O crescimento dos níveis de consumo e a conseqüente demanda dos recursos naturais refletem diretamente no uso e cobertura da terra. A atividade agrícola em grande escala é considerada uma das principais atividades econômicas responsáveis por alterações nos padrões de uso e cobertura do solo. Turetta et al.,(2006) ressaltam que estas atividades, quando não realizadas de forma sustentável, trazem grandes danos ao meio ambiente e à sociedade.

Na definição de desenvolvimento sustentável a relação entre desenvolvimento e meio ambiente é considerada fundamental para o entendimento dos problemas de ordem ambiental. Segundo Bellen (2005) “o conceito de Desenvolvimento Sustentável trata especificamente de uma nova maneira de a sociedade se relacionar com seu ambiente de forma a garantir a sua própria continuidade e de seu meio externo”. Coelho e Hardt (2004) destacam que o Desenvolvimento Sustentável se baseia na defesa dos recursos naturais de forma a garantir o equilíbrio ambiental para gerações futuras. Este conceito deve ser analisado não apenas pela dimensão ambiental, mas também pelas dimensões culturais, sociais, políticas e tecnológicas.

Ao longo das últimas décadas a temática ambiental vem ganhando muito destaque onde o conhecimento da ocupação do espaço geográfico é importante para compreender as transformações do uso e ocupação da terra e identificar os

impactos socioambientais provocados por estas transformações (TÁVORA E TURETTA, 2011).

As regiões semiáridas, onde o Estado do Ceará está inserido na sua totalidade, são castigadas por problemas de ordem ambiental caracterizada por condições climáticas bastante adversas, com elevada variabilidade espacial e temporal das chuvas, escassez dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e um embasamento geológico predominantemente cristalino, com solos rasos.

Mendes e Cirilo (2001) apontam que o impacto decorrente destas características físico-climáticas reflete em diversos componentes ambientais tais como: cobertura vegetal, ciclo hidrológico, escoamento superficial, aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos, solos, entre outros.

A conservação dos recursos naturais como água e solos e a preservação da cobertura vegetal são de fundamental importância para a conservação da biodiversidade e para a qualidade de vida das populações. Assim, a política de conservação da biodiversidade e a estratégia de proteção de recursos naturais no mundo e no Brasil, tem sido a criação e a demarcação de Unidades de Conservação. As unidades de conservação são exemplos de como é possível compatibilizar o desenvolvimento econômico com preservação ambiental.

A criação do modelo de unidade de conservação, como um tipo de área protegida, incumbiu ao poder público a tarefa de planejar, criar e gerir tais espaços. Por isso, as unidades de conservação são uma forma de resguardar os recursos naturais relevantes, sob um regime especial de administração ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção e dotadas de responsabilidade e gestão própria dos seus administradores, tanto no âmbito federal, estadual ou municipal (BRASIL, 2000).

As Unidades de Conservação (UC's) são espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as áreas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo poder público, com objetivos de conservação

e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam as garantias de proteção.

As Áreas de Proteção Ambiental (APA's), que constituem uma importante categoria das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, são em geral áreas extensas, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas.

Tebaldi (2012) sustenta que uma política pública que fortaleça a capacidade de planejar, implementar e manejar apropriadamente as unidades de conservação, com a sociedade civil e representantes dos governos em todas as esferas, representa um passo importante nos esforços para proteção do patrimônio natural.

A partir da década de 80, a preocupação em avaliar, monitorar e aprimorar a gestão dos recursos naturais, principalmente em áreas protegidas, tomou força. Fernandes et al.,(2004) salientam que um dos grandes desafios na gestão dos recursos naturais é a aquisição, a estruturação e a organização de dados e informações que possam ser utilizadas para dar suporte às atividades de análise, monitoramento e planejamento ambiental.

Chiavenato (2003) cita que o termo gestão indica a tarefa de administrar, transformando os objetivos propostos em ferramentas para o planejamento, organização, direção e controle. Já o termo monitoramento pode ser definido como um processo de obtenção de informações e de realização de medições sistemáticas, geralmente ao longo de um ciclo, com o propósito de poder analisar periodicamente as mudanças, tendências ou resultados que vão sendo alcançados (PRODHAM, 2005).

Para que o planejamento, o monitoramento e a gestão ambiental possam ser exercidos de forma racional e dinâmica, é imprescindível a obtenção sistemática de informações precisas, de forma eficiente e com o controle espacial e temporal da região de interesse (RIBEIRO et al., 2001).

Tendo em vista que estes fenômenos se processam a uma velocidade muito grande e principalmente em função da necessidade de dinamizar o processo de gestão se faz necessário o emprego de ferramentas tecnológicas capazes de detectar as alterações ambientais ocorridas no menor tempo possível, como o emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, e desenvolver mecanismos de análise que permitam mensurar de forma sistemática as mudanças ocorridas no meio ambiente, onde cabe destacar a aplicação de índices e indicadores.

O desenvolvimento de indicadores no planejamento e na gestão ambiental necessita da aquisição de um grande número de variáveis do meio físico, biológico, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de uso. Nesse contexto ferramentas de análise que permitam reunir variáveis, atribuir pesos, e valores às mesmas, dando prioridade às diferentes alternativas.

No monitoramento da dinâmica do uso e ocupação da terra para a gestão ambiental é fundamental a utilização de geotecnologias que permitem grande acessibilidade de recursos, alta capacidade de análise e tratamento de informações e baixo custo como é caso do Sensoriamento Remoto (SR) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's).

Os SIG's têm importante papel, pois além de facilitar o gerenciamento das informações, permite a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando a tomada de decisões.

O Sensoriamento Remoto, por sua vez, em virtude da velocidade de captação de dados primários da superfície da terra, é muito eficiente no monitoramento e gestão ambiental em escalas locais e globais (SOARES et al., 2007). A alta resolução espacial, espectral e temporal dos atuais sensores permite, com o tratamento e processamento adequado das imagens, análises precisas de qualquer fenômeno ocorrido na superfície da terra com possibilidades de acompanhamento sistemático destes fenômenos (SOUZA et al., 2011).

Uma unidade de análise relevante para aplicar as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são as Unidades de Conservação onde estes recursos tecnológicos passaram a ser usados com bastante frequência.

Silva (1992) argumenta que uma maneira de estudar e monitorar o uso da terra das Unidades de Conservação é através de técnicas de geoprocessamento, agregando um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, desenvolvimento e uso de informações georreferenciadas.

Em se tratando de análise da ocupação territorial o sensoriamento remoto se mostra mais eficiente, permitindo analisar informações sobre materiais, objetos ou fenômenos da superfície terrestre a partir de dispositivos situados no espaço (COSTA E SOUZA, 1997).

Miranda (2005) defende que estes recursos tecnológicos também podem ser aplicados em conjunto com os indicadores permitindo uma análise espacial no planejamento do uso sustentável dos recursos naturais, no suporte às atividades de monitoramento e gerenciamento assim como na melhoria dos processos de tomada de decisão.

O desenvolvimento de um índice de sustentabilidade Hidroambiental, objetivo do presente estudo, corresponde a uma análise multidisciplinar tratando de vários aspectos de inter-relacionamento entre indicadores hídricos, físicos, bióticos e antrópicos.

Mediante a disponibilização e análise das informações levantadas e dos resultados produzidos poder-se-á ter, um diagnóstico hidroambiental dos municípios que integram a APA do Maciço de Baturité e uma análise comparativa entre dois períodos distintos.

## 2.1 Índices e Indicadores

### 2.1.1 Bases Conceituais

A mensuração sistemática e rigorosa dos fenômenos sociais e econômicos no mundo data da primeira metade do século XX. No decorrer desse período e até meados dos anos oitenta a quantificação desses fenômenos passou a ter uma forte contribuição nas políticas públicas, especialmente o PIB, que ganhou destaque no âmbito econômico e foi publicado nos relatórios do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). A partir dos anos 90 novas formas de mensurar o crescimento surgiram e as realidades ambientais também passaram a ser tratadas abrindo uma nova frente de debate para a tomada de decisões em busca do desenvolvimento. Alguns fatos importantes marcaram a trajetória dessa evolução.

A Conferência de Estocolmo, em 1972, é considerada um evento de referência uma vez que colocou o meio ambiente no foco das preocupações internacionais. A Conferência reuniu tanto países desenvolvidos quanto em desenvolvimento e produziu-se a Declaração de Estocolmo sobre o Meio Ambiente onde, pela primeira vez, chamou-se a atenção para além da dimensão econômica, tomando-se consciência de outras dimensões que impactam no processo de desenvolvimento, como as dimensões sociais e ambientais.

Ainda em 1972, por recomendação da Conferência, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA/ UNEP) para ação e coordenação de questões ambientais no âmbito da ONU. A missão do PNUMA é “prover liderança e encorajar parcerias no cuidado com o ambiente, inspirando, informando e capacitando nações e povos a aumentar sua qualidade de vida sem comprometer a das futuras gerações” (IBAMA, 2002).

A reflexão acerca do tema desenvolvimento levantou questões de extrema importância relacionadas a problemas ambientais gerados pelo crescimento econômico. Estas questões fizeram com que surgisse um debate de grande

relevância que passou a ser discutido intensamente nos meios acadêmicos, científicos e governamentais, o conceito de “Desenvolvimento Sustentável”.

Este conceito foi inicialmente abordado pelo WORLD CONSERVATION UNION (IUCN, 1980) que afirmou que para haver desenvolvimento sustentável seria necessário considerar tanto os aspectos sociais e ecológicos assim como fatores econômicos e seus respectivos impactos de curto e longo prazo.

O desenvolvimento sustentável, de acordo com a Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente (WCED, 1987), foi definido como “O desenvolvimento que alcança as necessidades do presente sem comprometer as habilidades de gerações futuras para atingir suas próprias necessidades”. Isto implicaria numa mudança nas relações econômicas, político-sociais, culturais e ecológicas por meio da sustentabilidade do desenvolvimento. Este conceito, resultado de um relatório produzido pela Assembleia Geral das Nações Unidas traduziu preocupações com o meio ambiente que outrora já se instalavam na sociedade.

A União Europeia, atenta a estas questões, criou o programa EUROSTAT, que inclui o Sistema Europeu de Índices de Pressão sobre o Meio Ambiente e Contabilidade Verde Nacional, propondo o desenvolvimento de uma série de índices ambientais de pressão e sua relação com dados econômicos. O projeto expandiu-se e, posteriormente, evoluiu rumo à construção de indicadores de desenvolvimento sustentável. Nos anos 90 a ONU se empenhou em atingir indicadores mais consistentes e passou a publicar o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) para cada país.

Também nos anos noventa, em virtude do agravamento da pobreza e da fome no mundo, realizou-se a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida como “Cúpula da Terra” ou “Rio-92”, realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992 e considerada como a maior reunião do gênero já realizada. Esta conferência reuniu chefes de Estado e representantes oficiais de 179 países, e, ainda, organizações não governamentais

de todo o mundo em um evento paralelo - o Fórum Internacional de ONGs e daria nascimento à Agenda 21.

A Agenda 21 (MMA, 2005) foi o documento mais abrangente que resultou dessa conferência e selou um compromisso entre as nações participantes. Apresenta-se, tanto para o poder público como para a sociedade civil e os setores econômicos, como um grande guia para a promoção de ações que estimulem a integração entre o crescimento econômico, a justiça social e a proteção ao meio ambiente. Sua principal estratégia é propor soluções e alternativas em favor do desenvolvimento sustentável e deve ser compreendida como um instrumento que conjuga participação e transformação social.

Guimarães (2009) reforça que a CNUMAD Rio – 92 promoveu mudanças de comportamento no relacionamento do homem com o meio ambiente, como também na forma de formular, avaliar e implementar políticas públicas de desenvolvimento.

O conceito de desenvolvimento sustentável tem evoluído desde então a partir de discussões que tratam das relações entre desenvolvimento e sustentabilidade abrangendo três dimensões importantes:

- Dimensão ecológica – sustentabilidade da quantidade, qualidade e diversidade biológica;
- Dimensão econômica – sustentabilidade econômica da provisão de recursos em quantidade e qualidade;
- Dimensão ética – equidade social e transparência na gestão da apropriação social.

FENZL (1998) definiu o desenvolvimento sustentável levando em consideração que a taxa de consumo de recursos renováveis não deve ultrapassar a capacidade de renovação dos mesmos assim como a quantidade de rejeitos produzidos não deve ultrapassar a capacidade de absorção dos ecossistemas.

Segundo a SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS - ASCE (2001), o desenvolvimento sustentável não pode ser quantificado apenas baseado em linguagem técnica ou matemática isoladamente pois envolve aspectos que merecem uma discussão mais profunda e vão além dos procedimentos de mensuração ou quantificação.

Para Sachs (1997) e Rodrigues (2004) o conceito de desenvolvimento sustentável tem evoluído a partir de discussões que tratam das relações entre desenvolvimento e sustentabilidade e podem ser mais bem entendidos a partir de cinco dimensões importantes: social, econômica, ecológica, geográfica e cultural.

Carvalho et al.,(2011) ressaltam que um dos grandes desafios encontrados está na adoção de metodologias que garantam avaliar a sustentabilidade, quantitativamente e qualitativamente, levando em conta as realidades locais e regionais e peculiaridades no âmbito social, econômico, ambiental, cultural e institucional.

A busca do conhecimento dos níveis de sustentabilidade, segundo Vasconcelos et.al. (2010), disponibiliza aos agentes públicos uma gama de dados e informações que subsidiam o processo de tomada de decisão em todos os âmbitos da sociedade. Políticas sustentáveis de longo prazo são imprescindíveis para uma região onde a identificação das potencialidades e fragilidades podem contribuir de forma efetiva para o alcance de um desenvolvimento sustentável.

É importante ressaltar que esta nova visão de desenvolvimento sustentável, segundo Guimarães e Feichas (2009), está relacionada tanto ao comportamento da população quanto aos processos sociais identificados num determinado território e ao tempo que os ambientes levam para se recuperar e conservar a integridade de seus ciclos vitais. A partir dessa premissa pode-se afirmar que existe um compromisso de responsabilidade das gerações atuais com as gerações futuras.

Outro conceito que deve ser abordado no intuito de facilitar o entendimento sobre a utilização de instrumentos de mensuração da sustentabilidade

está relacionado aos processos de obtenção de dados e informações, os sistemas de monitoramento.

No processo de monitoramento existem alguns elementos básicos de suma importância onde cabe destacar: a existência de objetivos bem definidos e usos finais da informação produzida; o uso de índices, indicadores ou padrões de informação/medição que servirão de base; a adoção metodologias e de frequências adequadas para a coleta da informação; e a atualização e a sistematização regulares das informações.

Os sistemas de monitoramento são, portanto, baseados em uma série de índices e indicadores. As abordagens dos sistemas de monitoramento são de ordem participativa, especialmente em ações de desenvolvimento que têm como foco a interface da questão ambiental e da questão socioeconômica.

O estabelecimento de índices/indicadores ou padrões básicos de informação/medição (informação/medição sobre tendências, mudanças, impactos ou resultados), devidamente articulados com objetivos claros de monitoramento (e do uso final da informação coletada/sistematizada), constitui a espinha dorsal de qualquer sistema de monitoramento. Assim como existem dois tipos de monitoramento, há também dois tipos de indicadores, são os indicadores de status (tendências, pressão, estado, impacto e resposta) e os indicadores de desempenho (entrada, processo, saída, resultado) (UNITED NATIONS, 2004).

Para uma melhor compreensão do significado dos conceitos dos sistemas de monitoramento e de desenvolvimento sustentável se faz necessário levar em conta a necessidade de compatibilizar desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais e melhoria das condições sociais. Para tanto o uso dos índices e indicadores se apresenta como um instrumento adequado agregando diversas informações referentes à situação econômica, social e ambiental de um determinado espaço geográfico em um período de tempo.

O desenvolvimento de índices/indicadores não é uma tarefa fácil e envolve uma coleta sistemática de dados e informações. A necessidade de

informações transparentes e de fácil entendimento significa que os indicadores condensam um grande volume de dados reduzindo a complexidade dos fenômenos naturais em simples expressões.

A aplicação de índices/indicadores funciona como uma ferramenta de avaliação que procura mensurar a sustentabilidade através de um conjunto de informações que buscam a avaliação do progresso de uma determinada região na busca pelo desenvolvimento sustentável.

É importante que os índices/indicadores possuam uma base científica confiável e façam uma leitura da realidade simplificando os dados e minimizando as perdas das conexões com o mundo real ou interdependências que o governam.

### **2.1.2 Indicadores e Índices**

O termo indicador tem origem no latim, da palavra *Indicare*, que significa apontar, estimar, descobrir. A definição de indicadores proposta pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento (OCDE, 1993) é a seguinte: “indicador ou valor calculado a partir de parâmetros dando indicações ou descrevendo o estado de um fenômeno do meio ambiente ou de uma zona geográfica, que tenha alcance superior à informação diretamente dada pelo valor do parâmetro”.

Segundo Guimarães (1998) os índices e indicadores são ferramentas de acompanhamento de decisões e ações a serem implementadas ao longo de um tempo específico que permitem medir a distância entre a situação atual de uma sociedade e seus objetivos de desenvolvimento.

Machado et al.,(2002) sustentam que os índices e indicadores podem ser considerados instrumentos que permitem mensurar e avaliar as modificações nas características de um sistema ao longo de um determinado período de tempo.

Para Bellen (2005) os indicadores podem ser definidos como informações de cunho quantitativo que estabelecem relações entre duas ou mais variáveis.

Marzall (1999) estabelece algumas características importantes na definição dos indicadores, a saber:

- 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;
- Permitir enfoque integrador;
- Ser de fácil mensuração;
- Permitir ampla participação dos atores envolvidos na sua definição;
- Permitir a relação com outros indicadores, facilitando a interação entre

eles.

Carvalho (2013) sustenta que os indicadores possibilitam agregar um grande volume de informações, definindo suas prioridades, estado atual e tendências, identificando problemas, estabelecendo metas e objetivos e divulgando informações.

O objetivo dos indicadores é fornecer informações sobre um sistema ou um processo de forma clara e de fácil compreensão, pois sintetizam uma grande quantidade de informações. Tunstall (1994) defende que o objetivo do indicador é identificar a existência de riscos, potencialidades e tendências no processo de desenvolvimento para que possam ser tomadas decisões de forma racional. Gallopin (1996) cita que um indicador tem a finalidade de auxiliar na tomada de decisões através do fornecimento de informações.

Para Carvalho et al.,(2011) o objetivo principal do uso de indicadores é o de agregar e quantificar informações simplificadas sobre fenômenos complexos considerados importantes para a sociedade e que devem ser monitorados e controlados facilitando assim o processo de tomada de decisão e o planejamento de suas ações.

Hammond et al.,(1995) definiram cinco objetivos importantes para a utilização de indicadores e índices, são eles:

- Monitorar a sustentabilidade de uma realidade;
- Facilitar o processo de tomada de decisão;
- Evidenciar em tempo hábil modificação significativa em um dado sistema;
- Caracterizar uma realidade, permitindo a regulação de sistemas integrados;
- Medir o progresso em direção a sustentabilidade.

É de extrema importância reconhecer as limitações dos indicadores. Nem sempre a utilização dos indicadores permite quantificar recursos, fenômenos ou processos sem considerar os aspectos subjetivos da realidade. Outras limitações referem-se à análise dos indicadores isoladamente, interpretados de forma fragmentada, pois fornecem falsas leituras da realidade. HÁK et al.,(2009) afirmaram que o grande desafio no uso de indicadores é a habilidade para escolher adequadamente o indicador para a tomada de decisão no tempo correto.

Os indicadores integram as informações e permitem uma comparação de diferentes aspectos ou regiões (UNITED NATIONS, 2001). Dentre as principais atribuições cabe destacar:

- Fornecer informações dos sistemas ou do processo em uma forma compreensiva, estabelecendo um canal de comunicação com o público e os tomadores de decisão;
- Avaliar o efeito de política de planejamento adotada e estabelecer ações futuras;
- Traduzir a necessidade de informação que deve ser coletada e traduzir a informação coletiva em informação politicamente relevante.

Segundo Magalhães (2003) as principais características que influem na escolha dos indicadores são: simplicidade; acessibilidade; objetividade, flexibilidade,

relevância, base técnico-científica, condições analíticas, mensurabilidade, qualidade dos dados e comparabilidade com outros indicadores. Todas estas características têm o propósito de demonstrar:

- O passado, estado atual e tendências em curto, médio e longo prazo;
- Os níveis de aceitação social em relação às ações, programas e políticas;
- A relevância espacial em função dos objetivos;
- Caráter do indicador em relação aos objetivos;
- Nível de satisfação, aceitabilidade e atração do indicador.

Os indicadores podem ser descritivos ou normativos, podendo indicar informações qualitativas e quantitativas e com aplicações em dimensões temporais e espaciais. Segundo Tunstall (1994) as principais funções dos indicadores são:

- Descrição: explica o estado de um recurso dentro de um contexto;
- Tendências: fornece medidas regulares que possibilitem prover informações para o sistema em funcionamento ou respostas ao gerenciamento;
- Comunicação: aponta políticas objetivas com resultados para o público e auxiliando a promover a ação;
- Avaliação: o valor de um indicador pode ser uma análise de referência que representa algum estado desejado;
- Prognóstico: a vinculação de modelos a indicadores em séries temporais podem ser estimados para prognósticos futuros.

Januzzi (2010) estabelece diversas propriedades que são utilizadas como critério para a seleção de indicadores:

- Relevância;
- Base conceitual e validade científica;
- Acessibilidade e confiabilidade dos dados;
- Tempestividade e sensibilidade;
- Agregabilidade e desagregabilidade;

- Viabilidade/custo-efetividade;
- Robustez;
- Abrangência espacial e temporal;
- Inteligibilidade/comunicabilidade;
- Suficiência;
- Rastreabilidade.

O uso de indicadores depende da necessidade de seus usuários. Dessa forma um conjunto de indicadores a ser empregado em um determinado plano está relacionado com seus objetivos ou necessidades. Segundo Maranhão (2007), quatro categorias de usos são predominantes:

- Medição de desempenho de políticas públicas, programas e projetos;
- Integração de interesses e preocupações externos a políticas setoriais;
- Determinação do estado do meio ambiente ou dos recursos hídricos de uma dada região como uma bacia hidrográfica, município, estado ou um país;
- Integração do processo decisório ambiental e econômico.

A pirâmide de informações (Figura 2.1) mostra a relação entre dados primários e índices a partir do nível de agregação entre variáveis individuais ou variáveis que são função de outras variáveis. Portanto, uma informação pode ser simples, descrevendo apenas um valor qualitativo ou complexo, como uma resposta a um modelo de simulação (HAMMOND et al., 1995).

Figura 2.1 – Pirâmide de informações.



Fonte: HAMMOND (2005)

Para Hammond et al.,(1995) a pirâmide hierarquizada o nível de informação partindo de dados primários até alcançar o índice onde os indicadores agregam um ou mais dados e os índices sintetizam uma combinação de indicadores através de valores numéricos. Os indicadores podem ser usados para:

- Medições diretas – dados ou informações básicas;
- Medições relativas – dados ou informações comparadas a outros parâmetros;
- Medições indexadas – dados ou informações descritas convertidas para unidades ou para um padrão estabelecido;
- Medições ponderadas – dados ou informações descritas modificadas pela aplicação de um fator relacionado à sua insignificância.

Van Bellen (2006) afirmou que os indicadores devem ser construídos por metodologia coerente e de fácil mensuração. Os indicadores que têm o propósito de quantificar são mais abrangentes, assim como há indicadores com a finalidade de sintetizar as informações, simplificando a comunicação.

Vieira e Studart (2009) citam que os parâmetros e variáveis utilizados para inferir o desempenho dos sistemas ambientais podem ser denominados de indicadores. A agregação de vários indicadores em um único parâmetro pode ser tratada como um índice, que traduz numericamente uma determinada situação e aponta para o sentido da sustentabilidade.

Índices e indicadores integram as informações e permitem uma comparação de diferentes aspectos ou regiões (UNITED NATIONS, 2003). Dentre as suas principais atribuições cabe destacar:

- Fornecer informações dos sistemas ou do processo em uma forma compreensiva, estabelecendo um canal de comunicação com o público e os tomadores de decisão;
- Avaliar o efeito de política de planejamento adotada e estabelecer ações futuras;

- Traduzir a necessidade de informação que deve ser coletada e traduzir a informação coletiva em informação politicamente relevante.

De acordo com Pinheiro et al.,(2006), para os tomadores de decisão, as intervenções a serem realizadas dentro de um processo de gestão envolve uma priorização de atividades de forma a garantir o desenvolvimento e o progresso. Os índices e indicadores são ferramentas que melhor indicam tendências e fornecem uma resposta eficiente às ações executadas.

Para Guimarães e Feichas (2009) a construção de índices e indicadores ainda apresentam muitos desafios a serem superados uma vez que existe a necessidade de agregar, concomitantemente, aspectos importantes relacionados a promoção de mudanças na sociedade assim como subsidiar decisões de políticas públicas.

### **2.1.3 Estrutura Conceitual de Indicadores**

Uma análise sobre a lógica e a estrutura dos indicadores servirá como base para a determinação da metodologia a ser adotada no presente trabalho. Esta análise busca propor um modelo conceitual de desenvolvimento de indicadores considerando, os ajustes dos referentes graus de importância, as especificidades da região adotada assim como os níveis de escalas espaciais e temporais.

Os indicadores são informações obtidas através de fenômenos e eventos ocorridos e mensurados a partir da realidade. A quantificação dessas informações tem o intuito de tornar o seu significado mais claro e facilitar a comunicação. Segundo Magalhães (2003) “os indicadores não são informações explicativas ou descritivas, mas pontuais, no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permitem o acompanhamento dinâmico da realidade”.

Na escolha de índices e indicadores é fundamental alguns cuidados importantes principalmente no que se refere a sua aplicação, à utilização de escalas adequadas, que devem estar apropriadas ao seu uso podendo perder o sentido quando utilizadas inadequadamente, além de outras características importantes.

Para Hamilton (1996) a escolha dos indicadores dentro de um processo deve levar em consideração qualidades importantes tais como: relevância, condições analíticas, mensurabilidade, qualidade dos dados e comparabilidade.

Van Bellen (2006) destacou que, no que diz respeito a dimensão temporal, os indicadores podem ser de natureza escalares ou vetoriais, no processo de escolha implícitos ou explícitos, além de outras características tais como: ponderação, contexto geográfico, econômico, cultural, compreensibilidade, mensurabilidade, disponibilidade de informações, tratamento das informações, viabilidade financeira, humana, técnica e política.

Os indicadores de natureza escalares são considerados números simples gerados a partir da agregação de dois ou mais valores e os indicadores vetoriais são gerados a partir de uma variável com magnitude e direção de característica bidimensional. No processo de escolha, os indicadores são explícitos quando são facilmente observáveis, ou implícitos quando não são facilmente observáveis e por vezes inconsistentes, isto é, quando estão relacionados a características pessoais de uma determinada sociedade.

Desse modo, os indicadores devem possuir qualidades que justifiquem sua escolha, como relevância, condições analíticas (embasamento técnico-científico), mensurabilidade (dados facilmente disponíveis e a custos aceitáveis), qualidade dos dados, e comparabilidade, a qual é especialmente importante na busca de níveis referenciais para a determinação de metas.

Esta escolha também exige uma diferenciação com relação aos seus níveis de prioridade visando sinalizar seus graus de importância para os objetivos estabelecidos. O estabelecimento de pesos ou grau de importância deve ocorrer seguindo diferentes critérios e técnicas estatísticas a nível local e regional e podem ser distribuídos de forma crescente ou decrescente dependendo do universo estudado.

A OCDE (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT), nos últimos vinte anos, vem participando ativamente no desenvolvimento e divulgação da informação de natureza ambiental trazendo publicações periódicas sobre dados relacionados a este tema para diversos países. Mais recentemente houve uma melhoria na qualidade da informação com a adoção de novas ferramentas de avaliação tais como: indicadores ambientais, medidas de desempenho ambiental, modelos conceituais e lógica estrutural de indicadores.

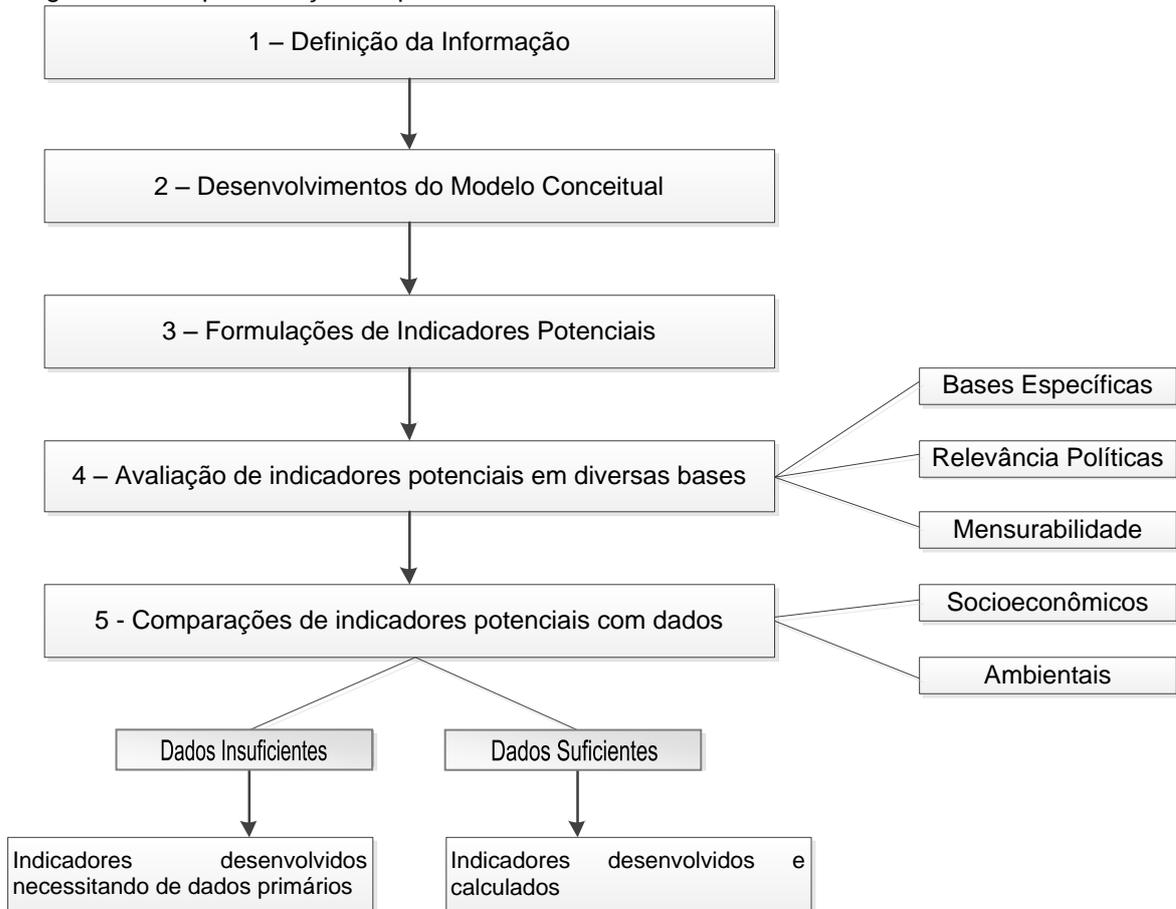
O desenvolvimento de indicadores se baseia no profundo entendimento do sistema ou processo em análise e preferencialmente em alguns modelos conceituais e suas respectivas estruturas lógicas. Considerando este enfoque sistêmico Taira e Ribeiro (2006) afirmaram que o objetivo desses sistemas é a construção de um conjunto de indicadores que demonstrem tendências sinérgicas contando com variáveis que podem ser analisadas em conjunto e indicar causas e problemas relacionados à sustentabilidade ambiental.

Os principais modelos conceituais de desenvolvimento de sistemas de indicadores possuem quatro tipos de abordagem, segundo a UNITED NATIONS (2003):

- Abordagem de baixo para cima: fluxo lógico (dados – parâmetros – indicadores);
- Abordagem de cima para baixo: visão lógica (visão – tema – ação – indicadores);
- Abordagem de sistemas: fluxo de sistema;
- Abordagem de causa-efeito: 1) pressão – estado – resposta; 2) tendências – pressão – estado – impacto – recurso; e 3) tendências – pressão – estado – exposição – efeito – ação

O esquema disposto na Figura 2.2 ilustra uma representação esquemática de procedimento de desenvolvimento de indicadores, apresentado no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Água (UNITED NATIONS, 2003).

Figura 2.2 - Representação Esquemática de Procedimento de Desenvolvimento de Indicadores.



United Nations, 2003

Estruturas conceituais são importantes para organizar e apresentar as informações e definir o leque de temas a ser considerado. Em qualquer projeto a definição da estrutura conceitual permite um melhor direcionamento do que deve ser medido, o que esperar da medição e quais indicadores utilizar. Essas estruturas conceituais, segundo Maranhão (2007), são modelos que dão suporte na seleção, organização e interpretação das informações relativas ao monitoramento e como os diversos temas se inter-relacionam. Diferentes estruturas podem ser utilizadas, dependendo dos objetivos e do nível de conhecimento, no entanto, o importante é que todos os aspectos relevantes envolvidos no problema sejam analisados. Existem vários tipos de estruturas conceituais: físicas, temáticas, econômicas ou sociais.

As estruturas conceituais físicas são as mais utilizadas e têm como base a relação do homem com o meio ambiente e seus respectivos impactos assegurando que os aspectos ambientais, sociais e econômicos sejam

considerados. As estruturas conceituais físicas mais conhecidas são as Matrizes Indicadoras e o Modelo PSR (Pressão – Estado – Resposta).

A estrutura Matrizes Indicadoras estabelece um conjunto de indicadores envolvidos com os objetivos de um plano ou programa e se classificam em indicadores de recursos, de produtos e de resultados, onde:

- Indicadores de Recursos: representam os recursos humanos físicos e financeiros envolvidos em um determinado projeto;
- Indicadores de Produtos: dizem respeito aos bens, materiais e serviços resultantes da implantação de um determinado projeto;
- Indicadores de Resultado: tratam dos resultados alcançados com a implementação de um projeto, plano ou política.

Outro conceito importante envolvendo o Modelo Matrizes Indicadores é realizado através da aplicação de indicadores de Eficiência, Eficácia e Efetividade e trata da relação entre os meios mobilizados frente aos resultados obtidos.

Segundo OECD (1994) uma das mais conhecidas e estudadas estruturas físicas conceituais de sistemas de indicadores é o Modelo Pressão-Estado-Resposta (PSR), que vem sendo utilizado em larga escala e leva em conta o inter-relacionamento entre a problemática ambiental, a dimensão econômica e o desenvolvimento sustentável fornecendo uma visão geral do sistema e criando-se a necessidade em atender os tomadores de decisão no processo de implementação de políticas públicas.

Este modelo é comumente utilizado para a aplicação de indicadores ambientais e se baseia no conceito de causalidade onde as atividades humanas exercem pressão sobre meio ambiente e provocam mudanças no estado quantitativo e qualitativo dos recursos naturais. A sociedade reage a estas mudanças através de respostas ambientais, econômicas e setoriais (OECD, 2003).

Ribeiro et al.,(2012) aplicaram o modelo pressão-estado-resposta de forma quantitativa e descritiva com o objetivo de auxiliar a gestão dos parques

urbanos, especificamente o parque da Água Vermelha “João Cândio Pereira”, localizado em Sorocaba – SP, com a finalidade de analisar os diferentes indicadores de degradação ambiental e o grau de significância de cada um dentro de suas atribuições. Foram elencados um conjunto de indicadores de pressão e, para cada um deles, descreveu-se seu estado e a resposta administrativa ao problema.

Carvalho et al.,(2007), através de modelagem estatística e aplicação do modelo estrutural PSR (Pressão - Estado – Resposta), procuraram explicar as razões pelas quais os municípios da região Semiárida adotam políticas ambientais reativas. Para a construção do modelo PSR foram selecionadas variáveis constantes do Suplemento de Meio Ambiente da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) de 2002 do IBGE e de características gerais dos municípios.

Em outro trabalho Carvalho et al.,(2008) utilizaram novamente o modelo PSR para analisar problemas ambientais tais como assoreamento de corpo d’água, poluição do recurso água, contaminação do solo e poluição do ar, suas causas e ações mitigadoras segundo o porte populacional municipal. Esse modelo permitiu relacionar cada problema ambiental às suas causas e às respectivas políticas/medidas utilizadas para combatê-los. Com base nele foram construídos índices sintéticos de pressão e resposta por classe populacional dos municípios.

Para BELL e MORE (2006), o sistema PSR assume a existência de causa efeito entre os elementos que compõem o sistema. Estes modelos, conforme citado acima, possuem três tipos de indicadores: de Pressão, de Estado e de Resposta.

Os indicadores de Pressão (P) tratam do grau de pressão ou de tensão que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente. Os indicadores de Estado (S) refletem as alterações ou tendências no estado físico ou biológico do ambiente natural frente às pressões e respostas exercidas pela sociedade. Os indicadores de Resposta (R) representam as ações da sociedade em resposta às modificações de estado na forma de decisões políticas e adoção de programas e ações.

Paula Jr. e Pompermayer (2007) desenvolveram indicadores de sustentabilidade ambiental para análise comparativa de bacias hidrográficas através da avaliação da situação dos recursos hídricos da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – UGRHI 5, do Estado de São Paulo. Os indicadores foram desenvolvidos utilizando a estrutura conceitual do modelo PSR (Pressão- Estado-Resposta) que foram mensurados no intuito de realizar um diagnóstico da situação de cada bacia e uma análise comparativa entre as bacias quanto às condições ambientais e de recursos hídricos.

Bragatto et al.,(2012) elaboraram um estudo direcionado a avaliação da sustentabilidade ambiental da microbacia Hidrográfica do Rio Passo da Pedra do município de Pato Branco-PR por meio de indicadores de sustentabilidade atrelados ao modelo estrutural PSR (Pressão-Estado-Resposta). Foram selecionados parâmetros por meio de metodologia apropriada e estabelecidos 15 indicadores para enquadramento no modelo PSR que permitiram avaliar programas e políticas públicas com ações voltadas para a sustentabilidade.

Alves e Azevedo (2013) fizeram uso de indicadores de sustentabilidade e do modelo estrutural PSR (Pressão-Estado-Resposta) para fazer uma classificação da seca em quatro categorias diferentes, de acordo com seus efeitos: Meteorológica, Agrícola, Hidrológica e Socioeconômica. O estudo objetivou a caracterização dos efeitos das secas no semiárido paraibano, evidenciando a eficácia dos indicadores que compõem o item Resposta (R) para o município de Caraúbas–PB.

Existem diversas variantes da estrutura conceitual PSR onde cabe destacar: Pressão – Estado – Impacto – Resposta (PSIR); Força Propulsora – Estado – Resposta (DSR); Força Propulsora – Pressão – Estado – Impacto – Resposta (DPSIR); e Condição – Pressão – Resposta (CPR).

Na estrutura DSR a Força Propulsora entra como um substituto da Pressão permitindo quantificar os impactos positivos e negativos do desenvolvimento sustentável. Na estrutura PSIR é acrescentado o componente Impacto descrevendo os efeitos finais das mudanças de Estado e na estrutura DPSIR acrescenta-se tanto o componente da Força Propulsora quanto de Impacto.

Finalmente, na estrutura CPR é incluída a componente Condição, que indica a condição do ambiente no momento da coleta de dados, substituindo a componente de Estado.

Fernandes e Barbosa (2011), a partir de dados censitários de diversas instituições, fizeram uma análise dos principais indicadores socioeconômicos e ambientais utilizando o modelo estrutural DPSIR (Força motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta) no intuito de identificar a influência dos processos de desertificação em áreas de risco nos municípios Araripina-PE, Crato e Barbalha-CE e Marcolândia-PI.

Da Silva, Cândido e Ramalho (2012) aplicaram o modelo estrutural PSIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta) para analisar as condições ambientais resultantes dos resíduos sólidos urbanos no Município de Cuité-PB. Foram coletados dados primários junto à órgãos municipais e produzidos informações secundárias que foram analisadas revelando um elevado nível de insustentabilidade quanto aos problemas de resíduos sólidos.

Já Braga e Ferreira (2011), através do uso do modelo estrutural DPSIR (Força Motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta), estruturaram uma metodologia para demarcação de áreas de preservação no perímetro de alagamento da Lagoa Feia objetivando avaliar os conflitos de uso de suas margens assim como a preservação e a qualidade ambiental da paisagem.

As Estruturas Conceituais Temáticas tratam da identificação de temas relacionados à sustentabilidade de uma determinada área de interesse de um respectivo estudo. Estas estruturas podem ser classificadas em:

- Temáticas: os indicadores são reunidos em temas e subtemas que se encontram em uma base de dados e são consultados por tópico ou categoria;
- Impacto-probabilidade: existência de grupos de indicadores com probabilidade de se manifestarem como problema quantificando a intensidade de seu impacto. Podem ser de três tipos: tema ativo, tema emergente e tema latente.

As Estruturas Conceituais Econômicas fazem a ligação entre meio ambiente e a economia e tem o propósito de fixar valores financeiros para os recursos naturais. A principal estrutura pertencente a esta categoria é a baseada no capital e possui quatro tipos distintos: capital construído, capital social, capital humano e capital natural.

A identificação ou adoção dos modelos estruturais e a aplicação de indicadores de uma ação ou de um sistema requer uma avaliação criteriosa, principalmente quando existem inúmeras possibilidades.

Alguns critérios podem ser aplicados para se fazer uma escolha adequada tais como: saber se o indicador permite a mensuração do que efetivamente se quer medir; estimar a facilidade do seu uso; e estimar uma boa relação custo-benefício. A elaboração e utilização correta desses indicadores dependem do entendimento de como essas ferramentas são construídas.

#### ***2.1.4 Tipos de Índices e Indicadores***

Os índices e indicadores são considerados instrumentos potenciais de auxílio no processo decisório e na gestão participativa uma vez que favorecem a compreensão da realidade através do monitoramento e do gerenciamento dos recursos naturais no tempo e no espaço. A seguir uma breve descrição de alguns índices e indicadores importantes na gestão da sustentabilidade ambiental.

##### ***2.1.4.1 Indicadores Ambientais***

A preservação do meio ambiente e a utilização dos recursos naturais de forma sustentável é, hoje, um objetivo concreto que permeia todas as políticas públicas e atuam como norteadores para o desenvolvimento. Os indicadores Ambientais atuam para avaliar o grau de degradação do ambiente e sua influência no desenvolvimento sustentável.

A OCDE (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT) foi um dos pioneiros no desenvolvimento de indicadores

ambientais no mundo e iniciou um programa específico em 1990 apontando para uma visão de trabalho que vincula os problemas e oportunidade ambientais aos processos econômicos. Segundo a OCDE (2003) este programa se baseou na condição de que não existe um grupo rígido de indicadores uma vez que a sua aplicabilidade depende do propósito de utilização. Os objetivos principais dos indicadores ambientais estabelecidos pela OCDE são:

- Avaliar o progresso ambiental;
- Melhor integrar as preocupações ambientais com as políticas setoriais;
- Integrar melhor as preocupações ambientais na política econômica.

Para o National Water Quality Monitoring Council (2005) os indicadores ambientais são medidas utilizadas para avaliar as condições ambientais do que diz respeito à situação e tendências. Este tipo de indicador pode ser caracterizado por medir a qualidade ambiental de um ecossistema ou sobre tendências de evolução dessa qualidade. Já a Environmental Protection Authority de New South Wales (2003) considera os indicadores ambientais como variáveis que traduzem qualitativamente e quantitativamente os recursos naturais, que descrevem as pressões sofridas pelas atividades antrópicas e as respostas dadas pela sociedade em virtude dessas pressões.

Segundo Motta (1996) a produção de indicadores ambientais se dá em virtude da necessidade de se incorporar a dinâmica ecológica no desenvolvimento econômico e social dentro do planejamento e da ação governamental. Portanto a importância dos indicadores ambientais está intimamente associada à sua utilização no planejamento e gestão dos espaços urbanos e rurais servindo para o melhor aproveitamento dos recursos naturais e mitigação dos processos de degradação ambiental e consequentes prejuízos econômicos.

O objetivo dos indicadores ambientais é produzir dados e informações que expressem objetivamente as condições físico-ambientais dos ecossistemas em diversos níveis além de permitir a análise de situações complexas através de índices simplificados, quantificáveis e de fácil comunicação (BESSA E MULLER, 2000).

Para Moura et al.,(2005) o uso de indicadores ambientais aponta para uma avaliação do comportamento ambiental bem como funciona como um instrumento para a gestão ambiental, uma vez que esclarece fenômenos facilitando assim seu monitoramento. Rogers et al.,(2006) afirmam que a importância dos indicadores ambientais se dá em função da necessidade de se conhecer como o ambiente é afetado pelo desenvolvimento, o que pode ser feito e o quanto se investirá para mitigar os danos.

Carvalho (2013) afirma que os indicadores ambientais traduzem a situação dos recursos ambientais através dos meios físico, biótico e antrópico enquanto que os indicadores de desenvolvimento sustentável possuem uma abordagem mais ampla, importando-se também com os aspectos sociais e econômicos.

Segundo Lima (2004) o que difere, conceitualmente, indicadores ambientais de indicadores de desenvolvimento sustentável e de indicadores de desempenho é o seguinte:

- Indicadores ambientais: traduzem dados relativos a um determinado componente ou conjunto de componente de um ou vários ecossistemas;
- Indicadores de desenvolvimento sustentável: compreendem informações relativas á várias dimensões do desenvolvimento sustentável (econômicas, sociais, ambientais e institucionais);
- Indicadores de desempenho ambiental: preocupa-se em refletir os efeitos sobre o meio ambiente dos processos e técnicas adotados para realizar tarefas de uma organização.

Quiroga (2007) também destaca algumas diferenças conceituais referentes a indicadores de natureza ambiental, a saber:

- Indicadores ambientais: traduzem o estado qualitativo e quantitativo do ambiente, sem necessariamente incorporar a questão da sustentabilidade;
- Indicadores de sustentabilidade: apontam para mudanças ao longo de um período avaliando a capacidade de se manter ou de evoluir;

- Indicadores de desenvolvimento sustentável: traduzem o progresso no que diz respeito ao desenvolvimento.

Bessa e Muller (2000) afirmaram que os indicadores ambientais podem ser desenvolvidos de duas maneiras, abordando diferentes enfoques. O primeiro trata as variáveis físico-ambientais e as pressões exercidas sobre o meio ambiente. Podem ser indicadores primários como cobertura vegetal, fauna, solos, qualidade da água, qualidade do ar, e indicadores compostos como degradação ou exaustão dos solos, áreas degradadas, áreas críticas, outros. O segundo diz respeito a indicadores ambientais que revelem a eficiência do uso dos recursos e a distribuição dos custos e o benefício do uso dos recursos das principais questões ambientais.

Existem várias categorias de indicadores ambientais, onde pode-se destacar: socioeconômicos e de qualidade de vida; ecológicos; estrutura política/legal/institucional; cobertura vegetal; desertificação; recuperação de áreas ou cursos d'água degradados; áreas de recarga de aquíferos; hidrológicos; demográficos; urbanos, entre outros. Os indicadores ambientais são modelos desenvolvidos para traduzirem os mecanismos de interação entre das atividades exercidas pelo homem e o meio ambiente (HERCULANO, 2000).

Baseado na estrutura conceitual PSR (Pressão – Estado – Resposta) os indicadores ambientais podem se referir ao sistema levando em conta os seguintes componentes: as pressões exercidas pelas atividades humanas que causam modificações; o estado físico ou biológico dos recursos naturais; e as medidas de políticas adotadas na busca da melhoria do meio ambiente e da mitigação da degradação ambiental (OCDE, 1993).

A matriz do Quadro 2.1, produzida pela OCDE/PNUMA, descreve diversos problemas e os respectivos indicadores ambientais que compõem o modelo estrutural PSR.

Quadro 2.1 – Matriz de indicadores ambientais.

<b>Problemas</b>	<b>Ind. de Pressão</b>	<b>Ind. de Estado</b>	<b>Ind. de Respostas</b>
Alterações climáticas	Emissões de GHG	Concentrações	Medidas ambientais; intensidade de energia
Buraco da camada de ozônio	Produção; emissões de halocarbonos	Concentrações de clorinos	Protocolos assinados; recuperação de CFC; contribuição para um fundo
Eutrofização	Emissões de N e P na água e solo	Concentrações de N, P, BOD	Tratamento; investimentos e custos
Acidificação	Emissões de SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>	Depósitos; concentrações	Investimentos; assinaturas de acordos
Contaminação tóxica	Emissões de metais pesados, POC	Concentrações de metais pesados, POC	Recuperação de rejeitos; investimentos/custos
Qualidade de vida urbana	Emissões de VOC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>	Concentrações de VOC, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub>	Gastos; política de transporte
Biodiversidade	Fragmentação da terra; conversão de uso	Abundância de espécies comparada à área virgem	Proteção de áreas
Lixo	Geração de lixo doméstico, industrial e agrícola	Qualidade do solo e das águas subterrâneas	Taxa de coleta; reciclagem investimentos e custos
Recursos hídricos	Intensidade de demanda/uso residencial industrial e agrícola	Razão oferta/demanda; qualidade	Gastos; preço da água; políticas de racionalização do consumo
Recursos florestais	Intensidade do uso	Áreas degradadas; razão entre crescimento sustentável	Áreas de proteção; manejo
Recursos pesqueiros	Pesca	Estoques sustentáveis	Política de quotas
Degradação do solo	Alterações de uso	Perda da camada superficial de proteção	Reabilitação/proteção
Zonas costeiras e oceanos	Emissões; derramamentos de óleo; depósitos	Qualidade da água	Gestão e manejo das zonas costeiras; proteção aos oceanos

Fonte: OCDE e PNUMA

Segundo o IBAMA (2002), as iniciativas de proteção ambiental ou de busca pelo desenvolvimento sustentável estão mais relacionadas com o homem do que com qualquer instrumento tecnológico que por ventura venham a ser utilizados. Alguns indicadores adotados pelos órgãos ambientais e de saneamento básico são: fiscalização ambiental; resíduos sólidos; saneamento básico; poluição difusa de origem agrícola ou urbana; cobertura vegetal; infraestrutura e bem-estar coletivo, saúde pública, outros.

Os indicadores ecológicos são utilizados para prever mudanças nos ecossistemas e ajudar a definir estratégias de recuperação de processos de degradação ambiental principalmente causado pelas atividades humanas. É importante ressaltar que a aplicação de indicadores para avaliar o estado ecológico é de difícil mensuração devido à complexidade e à dinâmica evolutiva dos ecossistemas. Segue abaixo alguns exemplos de indicadores de estado ecológico:

- Tempo de recomposição de um ecossistema perturbado;
- Carga poluente crítica;
- Capacidade máxima de assimilação de poluentes;
- Capacidade mínima suportável de biodiversidade.

Os indicadores de desempenho podem ser definidos como uma medida numérica do grau de processo no cumprimento de uma meta perseguida que podem ser expressos por meio de porcentagem, taxa, índice, ou outra forma e monitorada segundo intervalos regulares.

O Indicador de Condição Ambiental (ICA) fornece dados quanto à qualidade ambiental local, já os Indicadores de Desempenho de Gerencial (IDG) geram informações sobre práticas de gestão que tem influência no desempenho ambiental e os Indicadores de Desempenho Operacional (IDO) tratam das operações do processo produtivo que interferem no desempenho ambiental, conforme mostra o Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Indicadores de Desempenho.

<b>Categoria</b>	<b>Tipo</b>	<b>Exemplos de Indicadores</b>
Indicador de Desempenho Ambiental (IDA)	Indicador de Desempenho Operacional (IDO)	Consumo relativo de energia
		Consumo relativo de água
		Geração relativa de resíduos sólidos
		Consumo relativo de matéria-prima
	Indicador de Desempenho de Gestão (IDG)	Quantidade de ocorrências ambientais
		Percentual de matas atingidas
Indicador de Condição Ambiental (ICA)		Concentrações de um contaminante especificam na água, ar e solo
		Número total de espécies de fauna em uma área local definida

Fonte: ABNT NBR ISO 14031, 2004.

No Brasil, a Norma Brasileira ABNT NBR ISO 14031, validada em 2004, define o processo e a ferramenta da gestão interna, verificando se o desempenho ambiental de uma organização está de acordo com os critérios de administração.

Segundo Campos et al.,(2007) os indicadores de desempenho ambiental são práticas organizacionais geralmente aplicadas em Sistemas de Gestão ambiental - SGA de empresas com o propósito de avaliar e minimizar o impacto ao meio ambiente decorrente de atividades setoriais contribuindo efetivamente para a melhoria do desempenho ambiental.

Dentro de um contexto mais amplo Souza et al.,(2009) afirmaram que o índice de desempenho ambiental funciona como ferramenta de apoio à promoção de ações públicas no âmbito do meio ambiente e da qualidade de vida permitindo comparar dados ambientais entre municípios de uma mesma região.

O Índice de Vulnerabilidade Ambiental – EVI foi desenvolvido pela Comissão de Geociência Aplicada do Pacífico Sul (Sopac), pelo Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente (Pnuma) e seus parceiros e foi construído por meio de consultas e colaboração entre países, instituições e especialistas em todo o planeta. Segundo Villa e Mcleod (2002) este índice foi concebido para ser utilizado em conjunto com índices de vulnerabilidade econômica e social dentro do contexto dos três pilares da sustentabilidade. O EVI baseia-se em 50 indicadores para estimar a vulnerabilidade do meio ambiente de um país a choques futuros. Esses indicadores são combinados por média simples e apresentados simultaneamente como um único índice

Magalhães (2010) propôs a aplicação de diversos indicadores ambientais para serem utilizados na gestão dos recursos naturais onde cabe destacar: 07 indicadores relacionados à vegetação; 04 indicadores relacionados à capacidade de acumulação hídrica; 14 indicadores relacionados à demanda hídrica; 21 indicadores relacionados à qualidade de água; 13 indicadores relacionados a impactos sobre as águas; 15 indicadores relacionados à disponibilidade hídrica; 05 indicadores relacionados à pressão sobre a qualidade das águas; 25 indicadores relacionados ao sistema de gestão da água; e 11 indicadores relacionados aos aspectos legais, institucionais, financeiros e de fiscalização da gestão.

A aplicação de indicadores ambientais no planejamento local e regional deve estar integrada a uma política de gestão voltada à valorização de diversos atributos onde cabe destacar: manutenção da atividade biológica, diversidade paisagística, utilização sustentada dos recursos naturais, qualidade de vida das populações, e, principalmente, à conservação dos recursos hídricos, solo e atmosfera.

#### 2.1.4.2 *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*

Quando se trata de discutir a questão do conceito de sustentabilidade é imprescindível se levar em conta a necessidade de se compatibilizar o crescimento econômico com a preservação ambiental e justiça social.

Com a evolução desse conceito de desenvolvimento criou-se a necessidade de adaptar ferramentas existentes ou de se criar novas ferramentas capazes de avaliar todos os elementos constituintes do desenvolvimento sustentável. Também foi necessário desenvolver uma fundamentação teórica que pudesse embasar a criação dessas novas ferramentas (VEIGA, 2010).

Silva, Correia e Candido (2010) sustentam que estes indicadores funcionam como ferramentas capazes de subsidiar o monitoramento do desenvolvimento sustentável e facilitam a compreensão das informações sobre fenômenos complexos abrangendo diversas dimensões (econômicas, sociais, ambientais, outros) e verificando o impacto de ações antrópicas sobre o meio ambiente.

Melo e Souza (2003) consideram que o universo de abrangência do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade leva em conta as seguintes dimensões: ecológica, ambiental, social, política, econômica, demográfica, cultural, institucional e espacial.

Miranda e Teixeira (2004) definiram quatro dimensões de sustentabilidade para a adequação de indicadores a partir de suas características da seguinte forma:

- Dimensão Ambiental: garantir que a utilização dos recursos naturais não comprometa a qualidade ambiental;
- Dimensão Econômica: gerar oportunidades de trabalho e emprego, favorecendo uma distribuição mais equilibrada dos benefícios econômicos;
- Dimensão Social: garantir que todas as pessoas tenham condições iguais de acesso a bens e serviços de boa qualidade, necessários para uma vida digna;

- Dimensão Cultural: promover, preservar e divulgar a história, tradições e valores regionais, acompanhando suas transformações;
- Dimensão Política: garantir a participação efetiva e organizada da população nos processos de planejamento, execução e fiscalização de projetos que beneficiem a maioria das pessoas, promovendo a cidadania ativa.

Polaz e Teixeira (2007) definem, de forma bastante objetiva, o papel dos indicadores de sustentabilidade:

- Organizar e sistematizar informações;
- Facilitar a avaliação do grau de sustentabilidade das sociedades;
- Definir metas;
- Monitorar tendências;
- Detectar problemas;
- Auxiliar a elaboração de políticas públicas;
- Simplificar estudos e relatórios;
- Assegurar a compatibilidade entre as diferentes épocas e regiões.

Para Lira (2008) o uso de indicadores de desenvolvimento sustentável consiste de um instrumento adequado para se medir a sustentabilidade uma vez que disponibilizam informações referentes a situação económica, social e ambiental de um espaço geográfico para um determinado período de tempo.

Os indicadores de desenvolvimento sustentável podem ser definidos como “unidades ou elementos-chave que possam ser medidos e utilizados para a construção de estatísticas” (FURTADO, 2002). Por falta de informações e de dados estatísticos sistematizados os indicadores de sustentabilidade podem ser divididos em duas categorias:

- Indicadores disponíveis: a Implementação depende apenas do trabalho analítico;
- Indicadores não disponíveis: a implementação depende de dados estatísticos e de pesquisas científicas.

No entanto os indicadores de sustentabilidade não podem ser considerados simplesmente como indicadores de desempenho econômico ou qualidade ambiental. Em virtude de a sustentabilidade permitir uma leitura multidisciplinar e integrada, os índices e indicadores de sustentabilidade ambiental devem relacionar não só o meio ambiente e a economia, mas também os aspectos sociais de uma população (QUIROGA, 2001).

Os índices de sustentabilidade são utilizados como base para o processo de tomada de decisão procurando avaliar o grau de degradação do ambiente e o progresso rumo ao desenvolvimento sustentável. O índice de sustentabilidade ambiental mede a capacidade que as nações têm em proteger o meio ambiente fornecendo um perfil da gestão ambiental e abordando as seguintes questões básicas: dotação de recursos naturais; níveis de poluição presentes e futuros, esforços dedicados à gestão ambiental; e capacidade da sociedade em melhorar seu desempenho ambiental.

De acordo com Vargas (2005), o Índice de Sustentabilidade Ambiental é estimado através de cinco componentes, compostos por vários indicadores e variáveis, considerados fundamentais para a sustentabilidade ambiental: sistemas ambientais, stress ambiental, vulnerabilidade humana ao stress ambiental, capacidade da sociedade de responder a desafios ambientais e gestão global.

Vários indicadores de sustentabilidade surgiram, principalmente ao longo das últimas décadas, em escala regional e global, incluindo: Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI); Índice de Eficiência Ecológico-Econômica; Índice de Pressão do Consumo; Índice de Pegada Ecológica; Índice de Bem-estar Econômico Sustentável; Índice de Progresso Genuíno, outros.

No entanto, segundo Ban Bellen (2006), de todas as ferramentas desenvolvidas para avaliar a sustentabilidade do desenvolvimento, três merecem atenção especial, uma vez que são considerados os principais índices internacionais de sustentabilidade, são eles: a Pegada Ecológica, o Painel de Controle da Sustentabilidade e o Barômetro de Sustentabilidade.

A Pegada Ecológica (Footprint Method) foi desenvolvida por Warckernagel e Rees (1996) e é considerado o indicador de sustentabilidade mais citado pelos especialistas. Trata-se de um conceito simples, de cunho ecológico, relacionado a capacidade de suporte do sistema e explora a relação entre sociedade e meio ambiente. Este indicador considera que, para alcançar a sustentabilidade um sistema necessita levar em conta o tempo e a capacidade de regeneração dos ecossistemas.

O Painel de Controle da Sustentabilidade (Dashboard of Sustainability) surgiu a partir de dois importantes grupos ligados a sustentabilidade e ao desenvolvimento de indicadores, o Consultative on Sustainable Development Indicators e o Bellagio Forum for Sustainable Development. Este indicador é constituído a partir de medições realizadas em três dimensões (econômica, social e ambiental) onde é calculado uma média e estabelecido um Índice de Desenvolvimento Sustentável. A estrutura do Indicador, segundo Hardi e Jesinghaus (2002) abrange: dimensão social (saúde, segurança, educação, habitação e população); dimensão ambiental (solo, ar, água e biodiversidade); e econômica (estrutura e padrões de consumo e produção).

O Barômetro de Sustentabilidade (Barometer of Sustainability) foi uma ferramenta desenvolvida pelo The World Conservation Unit (IUCN) e o The International Development Research Center (IDCR). Esta ferramenta agrega vários indicadores e chega a seus resultados por meio de índices utilizando uma escala de desempenho para combinar os índices de cada dimensão.

Todos os três indicadores apresentados acima apresentam características semelhantes como: a agregação de índices para formar um indicador composto, a incorporação das dimensões de sustentabilidade, e a capacidade de interação e interpretação de informações diversas para mensurar a sustentabilidade de um sistema.

Quando se trata do desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, independentemente do método aplicado, o grande desafio é conseguir avaliar o

sistema, não somente de cada dimensão envolvida, mas da interação entre as dimensões para determinar a sustentabilidade do sistema.

A Comissão de Desenvolvimento Sustentável – CDS da ONU aprovou, em 1995, O Programa de Trabalho sobre Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - IDS com o objetivo de desenvolver um projeto de IDS acessíveis aos tomadores de decisão. Ao longo de vários anos foram desenvolvidos estudos e aplicadas metodologias que se adequassem à realidade dos países envolvidos.

Segundo Bourscheidt e Dalcomuni (2011) foram definidos 50 indicadores principais que fazem parte de um conjunto de 96 indicadores mais abrangentes com uma estrutura baseada em temas e subtemas. Estes indicadores principais atendem a três critérios fundamentais: abordam questões relevantes para o desenvolvimento sustentável da maioria dos países; fornecem indicadores não disponíveis a partir de outras fontes; e podem ser calculados pela maioria dos países com dados que já estão disponíveis ou a um baixo custo.

No Brasil, o trabalho de construção de indicadores de Desenvolvimento Sustentável ficou a cargo do IBGE que utilizou a estrutura que segue o marco ordenador proposto pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas – CDS conforme mostra o Quadro 2.3.

Baseados nessa estrutura o IBGE criou, em 2001, uma comissão com a participação de vários especialistas de diversas instituições brasileiras para construir o IDS (Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil) que consistiu, inicialmente, de 59 indicadores e fez sua primeira publicação no ano de 2002. Nessa publicação foram utilizados 50 indicadores contemplando quatro dimensões adotadas pela CDS: ambiental, econômica, social e institucional conforme mostra o Quadro 2.4.

Quadro 2.3 - Marco ordenador proposto pela CDS/ONU.

<b>Dimensão Social</b>	
Equidade	Pobreza: Igualdade de Gênero
Saúde	Estado Nutricional; Mortalidade; Saneamento; Água Potável; Cuidados com a saúde
Educação	Nível de Educação; Proficiência
Habituação	Condições de Habituação
Segurança	Crime
População	Mudança Populacional
<b>Dimensão Ambiental</b>	
Oceanos, Mares e Áreas Costeiras	Mudança Climática; Destruição da Camada de Ozônio; Qualidade do Ar
Água Doce	Quantidade de água; Qualidade da água
Biodiversidade	Ecosistema; Espécies
<b>Dimensão Econômica</b>	
Quadro Econômico	Desempenho Econômico; Comércio; Estágio Financeiro
Padrões de Produção e Consumo	Consumo Material; Uso de Energia; Geração e Gerenciamento da água; Transporte
Quadro Institucional	Implementação de estratégias de desenvolvimento sustentável; Cooperação Internacional
Capacidade Institucional	Acesso a Informação; Infraestrutura da comunicação; Ciência e Tecnologia; Preparo e Resposta para desastres

Fonte: CSD Theme Indicator Framework (2007)

Quadro 2.4 - Dimensões e temas dos IDS-Brasil 2002.

<b>Dimensões</b>	<b>Temas</b>
Social	População, equidade, saúde, educação, habitação e segurança
Ambiental	Atmosfera, terra, oceanos, mares e áreas costeiras, biodiversidade e saneamento
Econômica	Estrutura econômica, padrões de produção e consumo
Institucional	Estrutura institucional e capacidade institucional

Fonte: IBGE, 2002.

Ao longo dos anos o IBGE foi realizando ajustes na metodologia do IDS Brasil procurando manter a estrutura de classificação nas quatro dimensões preconizadas. Outras inovações também foram realizadas como: comentários sobre o vínculo dos indicadores, a inclusão de uma matriz de responsabilidade entre indicadores, e um resumo gráfico para facilitar a comparação dos mesmos (SOUTO, 2012). O Quadro 2.5 mostra os indicadores incluídos no IDS-Brasil de 2010.

Quadro 2.5 – Dimensões, temas e indicadores no IDS-Brasil de 2010.

<b>Dimensão</b>	<b>Tema</b>	<b>Indicador</b>
Ambiental	Atmosfera	Emissões de origem antrópica dos gases associados ao efeito estufa
		Consumo industrial de substâncias destruidoras da camada de ozônio
		Concentração de poluentes no ar em áreas
	Terra	Uso de fertilizantes
		Uso de agrotóxicos
		Terras em uso agrossilvipastoril
		Queimadas e incêndios florestais
		Desflorestamento da Amazônia-Legal
		Área remanescente e desflorestamento na Mata Atlântica e nas formações vegetais litorâneas
		Área remanescente e desmatamento no Cerrado
	Água doce	Qualidade de águas interiores
	Oceanos, mares e áreas costeiras	Balneabilidade
		Produção de pescado marítima e continental
		População residente em áreas costeiras
	Biodiversidade	Espécies extintas e ameaçadas de extinção
		Áreas protegidas
		Espécies invasoras
Saneamento	Acesso a serviço de coleta de lixo doméstico	
	Acesso a sistema de abastecimento de água	
	Acesso a esgotamento sanitário	

Fonte: Fonte: IBGE, 2002.

Quadro 2.5 – Dimensões, temas e indicadores no IDS-Brasil de 2010.

Quadro	Tema	Indicador
Social	População	Taxa de crescimento da população
		Taxa de fecundidade
		População e terras indígenas
	Trabalho e rendimento	Índice de Gini da distribuição do rendimento
		Taxa de desocupação
		Rendimento familiar per capita
		Rendimento médio mensal
	Saúde	Esperança de vida ao nascer
		Taxa de mortalidade infantil
		Prevalência de desnutrição total
		Imunização contra doenças infecciosas infantis
		Oferta de serviços básicos de saúde
		Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado
	Educação	Taxa de escolarização
		Taxa de alfabetização
		Escolaridade
	Habitação	Adequação de moradia
Segurança	Coeficiente de mortalidade por homicídios	
	Coeficiente de mortalidade por acidentes de transporte	
Econômica	Quadro econômico	Produto Interno Bruto per capita
		Taxa de investimento
		Balança comercial
		Grau de endividamento
		Consumo de energia per capita
		Intensidade energética
	Padrões de produção e consumo	Participação de fontes renováveis na oferta de
		Consumo mineral per capita
		Vida útil das reservas de petróleo e gás natural
		Reciclagem
		Rejeitos radioativos: geração e armazenamento
Institucional	Quadro institucional	Ratificação de acordos globais
		Existência de conselhos municipais de meio
	Capacidade institucional	Gastos com Pesquisa e Desenvolvimento - P&D
		Acesso aos serviços de telefonia
		Acesso à Internet

Fonte: Fonte: IBGE, 2002.

Segundo Ribeiro et al.,(2008) o IBGE, atualmente, lança publicações periódicas no intuito de disponibilizar um sistema de informações para o acompanhamento da sustentabilidade do padrão de desenvolvimento do país. Estas publicações apresentam 60 indicadores agrupados em quatro dimensões de sustentabilidade: ambiental, social, econômica e institucional.

A dimensão ambiental trata da degradação ambiental e do uso dos recursos naturais oferecendo indicadores de ar, terra, água, etc. A dimensão social trata do atendimento das necessidades humanas, qualidade de vida e justiça social e apresentam indicadores de saúde, população, educação, etc. A dimensão econômica está voltada para os aspectos da macroeconomia, finanças e recursos renováveis e a dimensão institucional lida com a capacidade e o esforço empenhado em medidas que garantam o desenvolvimento sustentável.

Guimarães (2008) desenvolveu um modelo de sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável para bacias hidrográficas agregando 08 indicadores de dimensão social, 20 de dimensão ambiental, 08 de dimensão econômica e 04 de dimensão institucional em um mesmo índice.

Machado (2012) utilizou como metodologia a ferramenta estatística da Análise Multicriterial à Decisão (AMD) que consiste de um conjunto de métodos de apoio à decisão em função de uma multiplicidade de critérios para elaborar uma matriz de sustentabilidade dos estados brasileiros. A proposta metodológica do trabalho é produzir o Indicador Multicriterial (IMC) para realizar um ordenamento dos estados brasileiros e sua hierarquização e apresentar uma visão agregada da situação dos estados em cada uma das temáticas selecionadas (Social, Econômica, Ambiental) sem, contudo, perder de vista a avaliação individual dos indicadores que conformam aquele quadro geral.

No Estado do Ceará foram empregados índices agregados de sustentabilidade em vários estudos. Folhes (2000) desenvolveu um Índice de Bem-estar Econômico Sustentável – IBES para o Estado, visando avaliar o desempenho econômico da população levando em conta a degradação ambiental e social.

Viana et al.,(2009) construíram um Índice Sintético de Desenvolvimento Sustentável – IDS para os municípios do Estado do Ceará no intuito de contribuir com o IBGE no Programa IDS – Brasil. Foi elaborado então um índice composto aplicando o modelo de Análise Fatorial Multivariada que resultou em seis níveis comparativos de desenvolvimento sustentável para os 184 municípios do Estado.

Clemente et al.,(2011), também para o Estado do Ceará, fizeram uma avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável com a finalidade de fornecer informações importantes para o planejamento das políticas públicas do Estado. Para tanto, foi utilizado o Método do Painel de Sustentabilidade em virtude da necessidade de integrar diferentes dimensões em sua análise e os resultados foram bastante satisfatórios. Para este trabalho foram levadas em conta quatro dimensões:

- Dimensão ambiental: área florestal, área protegida, aquicultura, desertificação, emissão de gases estufa, fontes de energia renovável, geração de resíduos sólidos, terras aráveis e uso de fertilizantes;
- Dimensão Social: acesso à saúde, acesso ao sistema de abastecimento de água, consumo comercial de energia, esperança de vida, taxa de alfabetização, taxa de crescimento populacional, taxa de desemprego aberto, taxa de mortalidade infantil e urbanização;
- Dimensão Econômica: balança comercial, dívida externa, índice de Gini, investimento no PIB e PIB per capita;
- Dimensão Institucional: acesso à internet; adultos que concluíram o ensino médio e linhas telefônicas.

Especificamente para a região da APA de Baturité, Estado do Ceará, foi desenvolvido um Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) para a cultura do café ecológico. Segundo Almeida (2002) foi realizado uma média aritmética de três índices (um índice de desenvolvimento ambiental, um índice de desenvolvimento econômico e um índice de desenvolvimento humano) e entrevistados agricultores da região classificando-os por meio de análises quantitativas e estruturalistas, desta forma foi medido o nível de desenvolvimento sustentável para as múltiplas dimensões. Trabalho semelhante também foi feito para o algodão orgânico no município de Tauá.

Outros estudos realizados no Estado do Ceará envolvendo a questão da sustentabilidade podem também ser citados:

- Índice composto de tendência à desertificação ou degradação ambiental (IPD): estimado para todos os municípios do Estado;
- Índice de qualidade de vida (IQV) com o intuito de avaliar a eficácia do Programa de Reforma Agrária Solidária (PRAS);
- Análise da sustentabilidade de assentamentos de reforma agrária no município de Caucaia;
- Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva do melão no polo de irrigação do Baixo Jaguaribe;
- Análise da sustentabilidade da agricultura familiar no “Assentamento 1º de Setembro” no município de Tauá.

Guimarães (1998) propôs indicadores de desenvolvimento sustentável em nove áreas distintas para avaliar o desenvolvimento regional e o progresso, são elas: existência de recursos naturais; existência de atores sociais organizados; existência de instituições locais para o desenvolvimento do território; tipos de procedimentos para o desenvolvimento regional; mudanças de culturas; fortalecimento da cultura de confiança entre os atores; capacidade de negociação dos atores locais; acumulação de capital endógeno; acumulação endógena de conhecimento e progresso técnico.

Os indicadores de sustentabilidade são, portanto, considerados uma importante ferramenta de mensuração, permitindo alertar sobre problemas existentes e potenciais, possibilitando à comunidade e aos atores institucionais a tomada de decisão de forma mais eficiente.

#### *2.1.4.3 Indicadores de Recursos Hídricos*

Os indicadores são considerados potenciais instrumentos de auxílio no processo decisório e na gestão participativa da água no sentido de favorecerem a comunicação e a compreensão da realidade.

No Brasil, a utilização de indicadores na gestão dos recursos hídricos, ao longo do Século XX foi amplamente dominada pelos índices de qualidade de água e pelos indicadores de disponibilidade hídrica. Atualmente, os temas relacionados ao aumento contínuo da oferta da disponibilidade da água e a expansão do atendimento dos sistemas de saneamento básico são considerados prioridades no desenvolvimento desses indicadores.

A utilização de indicadores na gestão integrada e participativa dos recursos hídricos tem evoluído à medida que os instrumentos de gestão, previstos nas legislações federal e estadual vão sendo implementados. Alguns exemplos de indicadores relacionados a esses instrumentos podem ser relacionados:

- Indicadores de desempenho de gestão participativa: nível de avanço nos Planos de Bacias; nível de avanço na operacionalização dos comitês de bacias; e nível de consenso social sobre as políticas públicas;
- Indicadores relativos à outorga: risco de não atendimento a usos; e risco de não atendimento a usos com certa duração;
- Indicadores relativos à cobrança: nível de participação das receitas da cobrança; nível de conformidade entre os valores aplicados e os valores ideais; nível de satisfação social; nível de variação da cobrança em relação aos volumes outorgados;
- Indicadores relativos ao enquadramento de corpos hídricos: falta de relação entre as exigências de concentração de efluentes e parâmetros de qualidade de água; falta de participação da sociedade no processo de enquadramento.
- Indicadores sobre balanços hídricos locais: volumes de água explorados para os usos múltiplos; volumes armazenados.

No planejamento e gestão dos recursos hídricos é fundamental a utilização de indicadores voltados para a gestão dos mananciais hídricos, suas transformações e as relações que guardam junto ao desenvolvimento sustentável. Esses indicadores não se restringem a ferramentas genéricas e devem ser selecionados para satisfazer necessidades específicas próprias do sistema de planejamento e gestão dos recursos hídricos, onde cabe destacar (Maranhão, 2007):

- Monitorar qualitativamente e quantitativamente a implementação de programas e seu progresso;
- Indicar, quando necessário, possíveis correções no andamento dos programas;
- Estabelecer metas e normas;
- Quantificar o impacto das ações dos programas;
- Medir e comparar a eficácia das ações.

O desenvolvimento e a sistematização de indicadores de planejamento e gestão dos recursos hídricos levam um determinado período de tempo até que se estabeleça um padrão metodológico bem definido e devidamente calibrado. Existem quatro vertentes importantes na construção desses indicadores:

- Qualidade de água;
- Disponibilidade hídrica;
- Grau de cobertura dos serviços de abastecimento de água potável;
- Desempenho.

Magalhães Jr. et al., (2003), a partir do Modelo PSR (pressão – estado – resposta), desenvolveram uma pesquisa contando com a participação de diversos especialistas para avaliar a importância de indicadores na gestão dos recursos hídricos e identificaram os seguintes indicadores:

- Densidade populacional;
- Índice de cobertura vegetal;
- Taxa de conformidade da água – OD (% de amostras);
- Índice de tratamento de esgotos coletados;
- Índice de captação de água para abastecimento urbano (m<sup>3</sup>/hab.);
- Índice de atendimento urbano de coleta de esgotos população;
- Índice de urbanização;
- Índice de população não atendida por coleta de lixo (%);
- Índice de consumo per capita de água (m<sup>3</sup>/hab.);

- Índice de captação de água para irrigação (m<sup>3</sup>/há);
- Índice de abastecimento urbano de água via rede (% população).

O Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável/Fundação Getúlio Vargas (2000) estudou a questão dos indicadores sobre a ótica da sustentabilidade para a gestão dos recursos hídricos utilizando a escala da bacia hidrográfica/regiões hidrográficas abrangendo seis categorias de uso: saneamento básico, agricultura, energia, indústrias, navegação e pesca. Alguns comentários importantes sobre o desenvolvimento dos indicadores merecem destaque:

- Os indicadores não se limitam a águas doces continentais, mas também às zonas costeiras;
- A lista de indicadores não se restringe a fatores diretamente envolvidos, mas também indicadores socioeconômicos;
- Existem indicadores com dupla entrada;

Foi utilizada a estrutura conceitual modelo PSIR (Pressão – Estado – Impacto - Resposta) com a distribuição de acordo do com a Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Indicadores de Sustentabilidade.

<b>Categoria de Uso</b>	<b>Pressão</b>	<b>Estado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Resposta</b>	<b>Total</b>
Saneamento Básico	14	17	11	08	50
Agricultura	28	12	18	23	81
Energia	26	25	20	24	95
Indústria	29	11	15	06	61
Navegação	12	15	10	08	45
Pesca	15	11	08	11	45
Outros temas	124	91	79	83	377

Fonte CIDS (2000)

De acordo com Simões (2005) o planejamento dos recursos hídricos, principalmente em face dos problemas relacionados ao semiárido, deve incluir indicadores hídricos que forneçam informações, tais como: a origem e a dinâmica; balanço hídrico; recarga e descarga de aquíferos e sua mistura com águas

superficiais; superexploração e risco de extinção de poços; qualidade da água e restrições de uso; vulnerabilidade de aquíferos a poluição; e aumento potencial da oferta de água.

O IWMI (2006), por sua vez, trata de indicadores relacionados aos usos consuntivos em bacias hidrográficas são, eles: Fator de Uso Real dos Recursos Hídricos e Fator de Uso Potencial de Bacias.

PAIXÃO (2002) utilizou quatro indicadores de performance (confiabilidade, resiliência, vulnerabilidade e magnitude) para estudar secas hidrológicas em quatro épocas distintas no Estado do Ceará no intuito de se analisar as consequências da construção de barragens.

O Projeto Áridas (Gondim, 1995), iniciativa concebida para apoiar o uso sustentável dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, propôs 3 indicadores principais e mais três secundários vinculados à caracterização da sustentabilidade e da demanda hídrica do semiárido. Os indicadores primários são:

- Índice de oferta potencial ( $Q_p$ )
- Índice de oferta disponível ( $Q_o$ )
- Índice de demanda ( $Q_d$ )

E os secundários derivados são:

- Índice de disponibilidade da oferta potencial de água ( $Q_o/Q_p$ )
- Índice de uso da oferta disponível ( $Q_d/Q_o$ )
- Saldo entre estoque disponível e demanda ( $Q_o - Q_d$ )

Já os índices de escassez hídrica podem ser diferenciados entre a escassez hídrica absoluta e relativa conforme descrito a seguir:

- Escassez Hídrica Absoluta: escassez real, seus estoques para atender a demanda;

- Escassez Hídrica Relativa: há disponibilidade de água, no entanto deve haver investimentos para o aumento da oferta.

Francisco e Oliveira (2009) avaliaram o nível de sustentabilidade hídrica da faixa continental da Região Hidrográfica da Bacia de Ilha Grande (RHBIG) – RJ considerando o balanço hídrico de oferta e demanda e a dinâmica populacional através da utilização de quatro indicadores em conjunto: disponibilidade hídrica, qualidade hídrica, demanda hídrica e áreas disponíveis para urbanização.

Teixeira e Correia (2011) apresentaram indicadores de sustentabilidade como uma ferramenta para dar suporte a gestão dos recursos hídricos. Foi feita uma seleção de indicadores a partir de sucessivas reuniões realizadas nos Comitês da Bacia Hidrográfica do Tietê – Jacaré onde foram identificados os principais problemas e aplicados indicadores para o monitoramento de cada um deles.

Durães e Mello (2014) desenvolveram um Índice de Perturbação Hidrossedimentológica (IPHS) para avaliação ambiental de bacias hidrográficas no Estado de Minas Gerais. O IPHS foi desenvolvido a partir de informações levantadas de qualidade de água, hidrologia e clima e utilizado ferramentas para determinação de pesos e confecção de mapeamentos temáticos que possibilitou uma análise espacial da distribuição do Índice na Bacia do Paraopeba. Este índice foi utilizado para dar suporte a tomadas de decisão no intuito de garantir a melhoria da gestão dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável.

O crescimento concentrado de atividades poluentes nas grandes cidades brasileiras, aliado a sistemas deficientes de saneamento básico, promovem a degradação de corpos hídricos (CAMPOS, 1995). Desta forma é importante que estes sistemas sejam avaliados quanto a sua vulnerabilidade.

O nível de atendimento em serviços de água e esgoto é um importante indicador de vulnerabilidade. É fato conhecido que esses níveis de atendimento são extremamente baixos nos estados do Nordeste.

No caso do Nordeste semiárido o desconhecimento das diversas formas de vulnerabilidade aliado a grande diversidade de ecossistemas tem dificultado o direcionamento das políticas e estratégias governamentais (MOTA, 2002).

As vulnerabilidades meteorológicas e climatológicas englobam principalmente a magnitude e duração das cheias (relacionadas aos extravasores das barragens e sistema de drenagem); e as frequências, durações e intensidades das secas (relacionadas aos colapsos no fornecimento de águas pelos sistemas hídricos). O Projeto Áridas (GONDIM, 1995) estabelece quatro categorias de vulnerabilidade: geoambientais; econômico-sociais; científico-tecnológicas; e político-administrativas.

GLEICK (1989) classifica a vulnerabilidade dos sistemas hídricos em três categorias: as vulnerabilidades meteorológicas e climatológicas; as vulnerabilidades sociais e geográficas; e as vulnerabilidades hidrológicas e de projeto.

De acordo com Vieira (2000) foram estimados indicadores para determinar a vulnerabilidade dos sistemas hídricos: insuficiente capacidade de acumulação; demanda crescente por água; alta variabilidade interanual dos deflúvios; e intermitência dos cursos d'água. Estes indicadores podem ser mensurados da seguinte forma:

- Relação entre a capacidade de acumulação e o suprimento renovável (S/Q);
- Relação entre o uso consuntivo e os recursos hídricos renováveis (D/Q);
- Variabilidade dos deflúvios anuais:  $CV^3$ ;
- Relação entre as vazões mínimas e máximas ( $Q_{min}/Q_{máx}$ ).

Os indicadores de pressão e de estado da água estão relacionados ao conceito de vulnerabilidade. Onde a pressão é a força atuante sobre um recurso, o estado, os efeitos resultantes e o recurso se manifesta através de seu grau de fragilidade. Os indicadores de resposta dos recursos hídricos avaliam os processos

de gestão e das políticas públicas relativas nos recursos hídricos e ao desempenho dos serviços de saneamento básico.

Nos reservatórios, por exemplo, podem-se identificar alguns parâmetros de vulnerabilidades relacionados a fatores de operação como sangria, evaporação e consumo onde se pode destacar:

- CV – Coeficiente de Variação dos Deflúvios Anuais;
- $f_e$  – Fator Adimensional de Evaporação;
- $f_k$  – Fator Adimensional de Capacidade;
- $P_E$  – Probabilidade de Esvaziamento.

Napoleão e Matos (2011), através do uso de geotecnologias, definiram classes de zoneamento referentes ao potencial de retenção hídrica e a vulnerabilidade aos processos erosivos das terras para a bacia hidrográfica do Rio Capivari, São Paulo, constituindo-se um instrumento de ordenamento territorial para o processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A UESPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (2001) considera que o grau de fragilidade de meio está relacionado às condutas de vulnerabilidade e define um índice para gestão de bacias.

No que diz respeito a qualidade de água pode-se fazer a combinação do Índice de Qualidade de Água (IQA) com indicadores de Estado e de vulnerabilidade e estabelecer várias categorias onde quanto melhor é a qualidade de água menor é o seu grau de vulnerabilidade.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) utilizado no Brasil é uma adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation (NSF), criado nos Estados Unidos.

Segundo Derísio (1992) este índice foi obtido a partir da realização de um grande painel de 142 especialistas de todas as partes dos Estados Unidos onde indicaram as variáveis de qualidade de água que deveriam ser medidas, o peso

relativo das mesmas e a condição em que se apresentava cada uma delas, seguindo uma escala de valores.

De acordo com Mota (1997) no Brasil o IQA é calculado através da determinação de nove parâmetros indicadores de qualidade de água (OD, DBO, Coliformes Fecais, Temperatura, pH, Nitrogênio e Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez), onde, para cada parâmetro é estabelecido um grau de magnitude e atribuído um peso relativo. O IQA é calculado pelo produtório ponderado dos valores determinados para os nove parâmetros e varia de Zero a 100, sendo que, quanto mais elevado o seu valor, melhor a qualidade da água.

Prado et al.,(2005) utilizaram indicadores de qualidade de água e solo para a avaliação da dinâmica de nutrientes na gestão de bacias hidrográficas. Foi feito um estudo de caso em uma área de cabeceira de micro bacia na região serrana do Rio de Janeiro a partir da geração de um modelo digital de elevação que permitiu a análise dos dados de qualidade do solo e da água e sua relação ao uso da terra.

Assireu et al.,(2009) propuseram um índice dinâmico de criticalidade da qualidade da água em reservatórios analisando características físico-químicas da água em função da morfometria, da altimetria e da força do vento do entorno do reservatório verificando quais as regiões do lago que apresentam características importantes quanto ao padrão morfométrico para um determinado cenário de vento.

Courseil et al.,(2009) correlacionaram o índice de Qualidade de Água – IQA com o uso e ocupação do solo com principais rios da bacia hidrográfica do Rio Ratonés, localizada no município de Florianópolis. Primeiramente foram delimitadas as sub-bacias dos rios e avaliado o uso dos solos dessas bacias para, em seguida, realizar uma distribuição espacial do IQA, relacionando os valores desse índice com o uso e ocupação do solo.

Na análise da qualidade de águas interiores também se faz uso dos bioindicadores tais como: Índice de Comunidade Zooplanctônica; Índice de Comunidade Fitoplantônica; e Índice de Comunidade Bentônica.

O indicador de acesso à água tem sido muito valorizado no Brasil, principalmente no que se refere à população atendida por serviços de rede pública, e que possui relação direta com níveis de pobreza e de qualidade de vida.

O IPA – Índice de Pobreza da Água leva em conta aspectos físicos e socioeconômicos e sua relação com a escassez de água. Especificamente expressa à relação entre gerenciamento dos recursos hídricos e a pobreza de uma comunidade em vários níveis e dotam os tomadores de decisão de ferramentas de avaliação de pobreza em relação à disponibilidade de água.

Segundo Luna (2006), o Índice de Pobreza de Água – IPA pode ser definido como “uma ferramenta que expressa uma medida interdisciplinar a qual conecta o bem-estar doméstico com a disponibilidade de água e indica o grau de escassez que a água impacta para a população humana”.

O Índice de Pobreza Hídrica é produto da combinação de cinco componentes onde cada um pode conter várias subcomponentes: disponibilidade hídrica, acesso à água, capacidade de organização social, usos e meio ambiente. Cada componente resulta de um indicador ou de uma função que agrega vários indicadores.

O índice de Pobreza Hídrica, de acordo com Sullivan (2002), faz uma relação entre pobreza, privação social, integridade ambiental, disponibilidade hídrica e saúde. Este índice leva em conta aspectos físicos e socioeconômicos e sua relação com a escassez de água.

Segundo Silva (2002) cada indicador tem seu respectivo conjunto de dados ajustados (normalizados) para evitar que o mesmo tenha valor maior do que 01. Ao final as cinco componentes terão seus valores somados para compor o IPH, que variará de 0 a 100. No Quadro 2.6 estão descritos os componentes utilizados no cálculo do índice e seus respectivos indicadores (SULLIVAN et al., 2005):

Quadro 2.6 - Componente do Índice de Pobreza Hídrica.

<b>Componentes</b>	<b>Dados</b>
Recursos	Disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; Vazão regularizada; Dados de população;
Acesso	População abastecida com água tratada; População com coleta de esgoto;
Capacidade	Educação – taxa de alfabetização de pessoas acima de 15 anos e taxa bruta de frequência a escola; Longevidade – esperança de vida ao nascer; Renda – renda municipal per capita;
Uso	Uso doméstico; Uso agrícola; Uso industrial;
<i>Meio Ambiente</i>	Desmatamento; Queimadas; Mineração; Erosão do solo; Desertificação/salinização dos solos; Poluição difusa devido a agrotóxicos; Assoreamento na calha dos rios;

Fonte: Sullivan (2005)

Os recursos hídricos, parte fundamental e integrante do conjunto de recursos naturais, fazem parte do meio ambiente e, por isso, sua gestão deve ser articulada com a gestão ambiental. Em função da sua importância para a sobrevivência das populações o planejamento e a gestão integrada dos recursos hídricos demandam o emprego de indicadores desenvolvidos especificamente para o tema.

A expectativa de sua aplicação, em função do nível de complexidade, tem o intuito de traduzir as condições de diversas propriedades e relação com os corpos hídricos de uma bacia ou unidade geopolítica e o dinamismo das transformações

sofridas ao longo do tempo, tanto pelos recursos hídricos quanto pela sua gestão, assim como às relações que guardam com o desenvolvimento sustentável.

#### *2.1.4.4 Indicadores de Desenvolvimento*

À medida que o conceito de desenvolvimento sustentável se consolidou foi constatado que indicadores de natureza demográfica e econômica não permitiam avaliar isoladamente a sustentabilidade, principalmente no que se refere à qualidade de vida. A evolução de ferramentas de mensuração e o desenvolvimento de modelos estruturais de índices e indicadores abriu uma nova perspectiva na mensuração do desenvolvimento sustentável.

No entanto os índices e indicadores demográficos e econômicos compõem um importante componente das estruturas metodológicas multidimensionais adotadas na construção desses instrumentos de mensuração utilizados largamente na sociedade.

Veiga (2010) ressalta que existe uma grande distância entre medir o desempenho econômico, mensurar qualidade de vida e medir a sustentabilidade do desenvolvimento. É importante entender que a qualidade de vida só pode ser medida através de índices compostos assim como a sustentabilidade exige a aplicação conjunta de indicadores ambientais, sociais e econômicas.

Para Lima (2012) os indicadores socioeconômicos possuem uma relação muito próxima com os temas relacionados à saúde e saneamento, por exemplo, onde se podem identificar diversas interfaces entre a gestão dos recursos naturais e a promoção da saúde pública.

Os indicadores demográficos são usualmente obtidos através de estatísticas resultantes do estudo de populações humanas e suas dinâmicas tais como tamanho, densidade, distribuição, natalidade, mortalidade, fertilidade e migração. Estes indicadores são levantados através de censos e utilizados para planejamento de serviços públicos e das necessidades de infraestrutura. A seguir alguns exemplos:

- Taxa de crescimento populacional;
- Densidade demográfica;
- Taxa de natalidade;
- Taxa de mortalidade;
- Taxa de fertilidade;
- População urbana;
- População rural;

Já os indicadores econômicos são obtidos no intuito de monitorar o estado da economia ao longo do tempo, as pressões por ela sofridas e a efetividade das medidas de ajustes adotadas.

Para Maranhão (2007) os indicadores econômicos são um conjunto de dados medidas e estatísticas estimadas para realizar o diagnóstico de condições atuais e projetar prognósticos futuros sobre a economia de um país ou região. Estas ferramentas traduzem os níveis de expansão ou contração de uma economia, as taxas de crescimento e as tendências identificadas.

Os indicadores econômicos são expressões numéricas de natureza econômica onde suas principais utilidades são:

- Aferição dos níveis de desenvolvimento de países, regiões, empresas;
- Compreender, informar e prever o comportamento de uma economia;
- Ajuizar a política econômica do governo.

Com o crescimento da economia surgiram inúmeros indicadores econômicos que passaram a ser utilizados no cotidiano da sociedade e podem ser subdivididos em três grupos: os que mudam antes que a economia mude; os que apresentam mudanças somente depois que a economia mude e os que se movem simultaneamente com as mudanças econômicas. Dentre os mais importantes cabe destacar:

- Índice de Preços ao Consumidor (IPC);
- Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC);
- Índice de Custo de Vida (ICV);
- PIB per capita;
- Renda per capita.

De acordo com Mateus e Duarte (2007) a atividade econômica pode ser medida de várias formas onde os três principais conceitos são: Produto Interno Bruto (PIB); Produto Nacional Bruto (PNB) e o Produto Nacional Líquido (PNL) onde:

- PIB: valor total de bens e serviços produzidos na econômica de um país num determinado período de tempo;
- PNB: quantidade de bens e serviços produzidos pelos residentes do país em causa, num dado período de tempo;
- PNL: é o produto nacional bruto, em que se subtrai o montante destinado a reposição da depreciação do sistema.

O Índice de Gini é um indicador que é utilizado para medir o grau de concentração de renda de uma comunidade. Este índice varia de zero a um onde quanto mais próximo de zero melhor é a distribuição de renda. Numa pesquisa realizada pelo IBGE em 2009/2011 para as regiões do Brasil houve um crescimento médio mensal domiciliar em todas as classes.

O INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) e o IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo) são indicadores econômicos utilizados para analisar a evolução dos preços adquiridos pelo consumidor. Segundo o IBGE (2012) o INPC avalia a média dos preços de um conjunto de bens e serviços adquiridos pelo consumidor, enquanto que o IPCA trata de uma aproximação da flutuação de preços a nível pessoal e sua evolução no tempo.

Os indicadores sociais podem ser considerados medidas estatísticas que propiciam informações objetivas sobre as condições dos principais aspectos de uma sociedade ou de bem estar social, bem como sua evolução no tempo.

Estes indicadores permitem para dar suporte às atividades de planejamento público e políticas sociais nas diferentes esferas governamentais possibilitando o monitoramento das condições de vida e do bem estar dos diversos segmentos que fazem parte da população. Moore et al.,(2003) enumeram cinco finalidades dos indicadores sociais:

- Descrição, informar e acompanhar tendências;
- Monitoramento para rastrear resultados;
- Estabelecimento de metas;
- Aumento de responsabilização para obter resultados;
- Prática reflexiva para informar sobre práticas desenvolvidas.

Os indicadores sociais podem ser objetivos quando representam fatos independentemente de avaliações pessoais, ou subjetivos, quando se baseiam nas percepções dos indivíduos. Segue a seguir alguns exemplos:

O consumo de energia elétrica, níveis de alfabetização, emprego, assim como os serviços de saneamento básico (distribuição de água tratada, esgotamento sanitário e serviços de coleta de lixo) são utilizados como indicadores do bem-estar da população uma vez que estão diretamente relacionados com a qualidade de vida. Seguem alguns exemplos de índices de bem-estar social.

- Taxa de pobreza;
- Taxa de Alfabetização
- Número de empregos formais;
- Taxa de Abastecimento de Água Tratada per capita;
- Taxa de Lixo Coletado per capita;
- Taxa de Esgotamento Sanitário per capita;
- Taxa de Energia Elétrica per capita.

O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb) foi criado pelo Inep/MEC - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

em 2007 e tem o propósito de reunir em um só indicador dois conceitos igualmente importantes para a qualidade da educação: fluxo escolar e médias de desempenho nas avaliações.

Segundo Fernandes (2007), o Ideb foi desenvolvido para ser um indicador que sintetiza informações de desempenho em exames padronizados com informações sobre rendimento escolar (taxa média de aprovação dos estudantes na etapa de ensino) no intuito de detectar escolas e/ou redes de ensino cujos alunos apresentem baixa *performance* e monitorar a evolução temporal do desempenho dos alunos dessas escolas e/ ou redes de ensino.

Os sistemas urbanos de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana), estão intimamente ligados ao conceito da sustentabilidade em todas as suas dimensões. A avaliação da sustentabilidade, a partir do monitoramento de indicadores para os sistemas urbanos de saneamento básico, é de extrema importância para promover o aumento da qualidade de vida da população, garantindo saúde, acesso aos serviços, melhorias no sistema, entre outros fatores.

A informação tem um papel fundamental no planejamento e controle do processo de gestão desses sistemas, principalmente quando se trata de serviços públicos. Quando apresentada adequadamente, com a correta obtenção, tratada e organizada, a informação colabora diretamente com a elaboração de programas e metas, assim como contribui para o monitoramento e o gerenciamento dos serviços. Também é possível auxiliar na condução de políticas públicas e na prestação de serviços e de controle.

Para executar essas funções torna-se imperioso a utilização dos sistemas de informação por se tratar de uma ferramenta de uso constante por parte de instituições públicas e privadas e que demonstram constante preocupação com a eficiência e a eficácia, com a qualidade dos produtos e com a satisfação dos usuários. Dentre os principais sistemas de informação de publicação de informações de saneamento básico cabe destacar:

- O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS;
- O Sistema Nacional de Indicadores Urbanos – SNIU;
- Os Indicadores da Rede Interagencial de Informações para a Saúde –

Ripsa.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, criado em 1996 pelo Governo Federal por meio do Programa de Modernização do Setor Saneamento e atualmente no âmbito do Ministério das Cidades, tem como foco disponibilizar informações de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade relativas à oferta de serviços públicos sobre a prestação de serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos urbanos.

Segundo Galvão e Junior (2007) o SNIS tem como objetivos contribuir para:

- O planejamento e execução de políticas públicas;
- A orientação da aplicação de recursos;
- A avaliação de desempenho dos serviços;
- O aperfeiçoamento da gestão, elevando os níveis de eficiência e

eficácia;

- A orientação de atividades regulatórias;
- O *benchmarking* e guia de referência para medição de desempenho.

Existem dois componentes prioritários no SNIS, água e esgoto e resíduos sólidos, onde os indicadores são agrupados a partir de dados primários e organizados por famílias de mesma natureza, a saber:

- Indicadores econômico-financeiros e administrativos;
- Indicadores operacionais - água;
- Indicadores operacionais - esgoto;
- Indicadores de balanço contábil;
- Indicadores sobre qualidade dos serviços;
- Indicadores sobre o manejo de resíduos sólidos urbanos;

- Indicadores sobre os serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares e públicos;
- Indicadores sobre os serviços de coleta seletiva de resíduos domiciliares;
- Indicadores sobre os serviços de coleta de resíduos de serviços de atenção à saúde;
- Indicadores sobre os serviços de varrição de logradouros públicos;
- Indicadores sobre os serviços de capina e roçada.

O Sistema Nacional de Indicadores Urbanos – SNIU, criado em 2005 pelo Programa de Gestão da Política de Desenvolvimento Urbano, tem como objetivo disponibilizar informações sobre a oferta de serviços públicos nos espaços urbanos.

O trabalho conta com parcerias com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o escritório do Habitat e o programa da ONU de Desenvolvimento Urbano para a América Latina e Caribe. As fontes de informação utilizadas no Sistema são os dados do IBGE, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), do Tesouro Nacional, da Fundação João Ribeiro (do Governo de Minas Gerais), do Ministério da Educação e da Fundação Nacional de Saúde.

O SNIU (GALVÃO E JUNIOR, 2007) traz indicadores de 5507 municípios, separados por temas para sua caracterização: demografia, perfil socioeconômico da população, atividades econômicas, habitação, saneamento básico, transporte e gestão urbana conforme mostra o Quadro 2.7.

Os indicadores de resíduos sólidos têm o propósito de oferecer uma resposta sobre mudanças nos padrões de consumo e de produção sempre alinhados aos princípios do desenvolvimento sustentável. Campos (2012) entende que os resíduos sólidos podem ser considerados um importante indicador socioeconômico baseado em informações sobre a produção per capita de resíduos sólidos ou por tipos de resíduos sólidos gerados.

Quadro 2.7 - Exemplos de indicadores do SNIU com interface para os serviços de água e esgoto.

TEMAS	SUBTEMAS	INDICADORES
Demografia	Dinâmica Populacional	População por situação de domicílio
Saneamento Básico	Abastecimento de Água	% de municípios com acesso à água de poço ou nascente
		% de municípios com outra forma de acesso à água
		Poço ou nascente sem canalização
		% de domicílio com banheiro ou sanitário ligado a uma vala
		% de domicílios com banheiro ou sanitário e fossa séptica
Demografia	Dinâmica Populacional	População por situação de domicílio
	Coleta de Lixo	% de domicílios nos quais é enterrado
		% de domicílios nos quais é jogado em rio, lago ou mar
		% de domicílios onde é depositado em caçamba
Gestão Urbana	Política habitacional	Existência de loteamentos irregulares
		Existência de favelas
		Programa de regularização fundiária
	Política de meio ambiente	Nº de unidades de conservação
	Planejamento do desenvolvimento urbano	Grau de atualização da lei de zoneamento

Fonte: Galvão e Junior (2007)

A Rede Interagencial de Informações para a Saúde – Ripsa foi criada em 1996, por Portaria do Ministério da Saúde e por acordo de cooperação com a Organização Pan-Americana der Saúde - OPAS, com o objetivo de fornecer dados básicos, indicadores e análises sobre as condições da saúde e suas tendências, a fim de subsidiar a formulação, gestão e a avaliação de políticas públicas.

A escolha dos indicadores (RIPSA, 2002) foi baseada em critérios importantes para avaliação da situação de saúde, para direcionar e apoiar o controle social do SUS. O Quadro 2.8 a seguir mostra alguns exemplos de indicadores com interface nos serviços de água e esgoto.

Quadro 2.8 - Exemplo de indicadores do RIPSA com interface para os serviços de água e esgoto.

<b>Indicadores</b>	<b>Indicadores Disponíveis com Interface</b>
Demográficos	Grau de urbanização; proporção de menores de cinco anos na população; esperança de vida ao nascer;
Socioeconômicos	Proporção de pobres
Mortalidade	Mortalidade proporcional por doença diarreica aguda em menores de cinco anos de idade
Morbidade e fatores de risco	Incidência de cólera; taxa de incidência de dengue; índice cpo-d aos 12 anos de idade
Recursos	Gasto público com saneamento
Cobertura	Cobertura de coleta de lixo; cobertura de redes de abastecimento de água; cobertura de esgotamento sanitário

Fonte: Galvão e Junior (2007)

No Brasil os indicadores de serviços básicos propostos pelo IBGE e pelo Ministério das Cidades através do Programa de Modernização do Setor de Saneamento – PMSS são utilizados para o diagnóstico dos serviços de saneamento básico do país.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico PNSB, também realizada pelo IBGE, e com o apoio de outras instituições federais faz uma radiografia das condições de saneamento básico dos municípios brasileiros levando em conta temas como abastecimento de água (AA), esgotamento sanitário (ES), limpeza urbana, coleta de lixo (CL) e drenagem urbana (DU) com o intuito de avaliar a qualidade dos serviços prestados, analisar as condições ambientais e os impactos na qualidade de vida e saúde da população.

A PNSB disponibiliza uma gama de dados e informações que permite a confecção de indicadores que traduzem a situação vigente do saneamento (qualitativa e quantitativamente, isto é, natureza do serviço prestado ou do problema e produção alcançada na prestação do serviço ou dimensão do problema) em todos os municípios do Brasil, organizados por regiões e Estados e subdivididos em três áreas de investigação:

- Identificação das entidades prestadoras de serviços, sua constituição jurídica e áreas de atuação.
- Natureza dos serviços prestados e o controle de qualidade exercido pelas entidades em: AA, ES, DU e CL;
- Relação entre as entidades prestadoras de serviços e as comunidades.

Miranda e Teixeira (2004) definiram indicadores para aplicação nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário a partir de critérios de sustentabilidade previamente escolhidos e estabeleceram uma matriz com propostas de avaliação. Foram definidos princípios específicos de sustentabilidade da seguinte forma:

- Equidade (universalização dos serviços): todas as pessoas têm direito ao acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário;
- Respeito às Condições Locais: as soluções apresentadas devem considerar e adequar-se às condições locais (sociedade, economia, cultura, meio físico e biológico);
- Desempenho Econômico: todos os projetos e serviços devem ser elaborados e oferecidos com viabilidade econômica;
- Geração de Trabalho e Renda: deve-se dar prioridade àquelas intensivas em mão de obra, proporcionando um ambiente seguro e salubre ao trabalhador.
- Gestão Solidária e Participativa: as decisões aplicadas aos SAA e SES devem ser tomadas de maneira participativa;
- Informação e Sensibilização: a sociedade deve ter pleno acesso à informação para que possa se conscientizar dos problemas e participar das soluções;
- Uso Responsável dos Recursos Naturais: a utilização dos recursos naturais tanto para fornecimento de matéria-prima quanto para o recebimento de resíduos deve ocorrer de acordo com a sua capacidade regenerativa ou de estoque, avaliando-se os impactos e aplicando soluções que possam minimizar, prevenir e corrigir os mesmos;

- **Prevenção, Compensação e Mitigação de Danos Causados:** os custos de remediação, medidas compensatórias e de prevenção de danos gerados precisam ser devidamente considerados, sendo assumidos pelos seus causadores.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) foi proposto em 1990 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Humano (PNUD) e surgiu como uma contrapartida para o Produto Interno Bruto (PIB) uma vez que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento.

O IDH parte do princípio de que para se medir o desenvolvimento de uma população se faz necessário levar em consideração também aspectos políticos, culturais e sociais. De acordo com Guimarães e Feichas (2009), o IDH incorpora outras variáveis além da econômica agregando o PIB per capita, longevidade, educação e riqueza.

Segundo o IPECE (2012) O IDH é uma medida comparativa que envolve vários componentes: riqueza, alfabetização, educação, expectativa de vida e natalidade e avalia o bem estar de uma população. Para calcular o IDH de uma localidade, faz-se uma média aritmética dos seguintes indicadores para uma determinada localidade ou região. Os critérios de avaliação utilizados estão descritos a seguir:

- **Educação:** Para dimensionar este componente são levados em conta a taxa de alfabetização e escolarização, considerando o percentual de pessoas acima de 15 anos de idade e o somatório das pessoas, independentemente da idade, que frequentam algum curso, seja ele fundamental, médio ou superior, dividido pelo total de pessoas entre 7 e 22 anos da localidade incluindo os supletivos e pós-graduação universitária;

- **Longevidade:** A longevidade é avaliada considerando a esperança de vida ao nascer, que é válido tanto para o IDH municipal quanto para o IDH de países. Esse indicador mostra a quantidade de anos que uma pessoa nascida em uma localidade, em um ano de referência, deve viver;

- **Renda:** A renda é calculada tendo como base o PIB per capita do país ou município.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) tem sido objeto de importantes estudos ao longo dos anos desde 1990, quando a United Nations Development Programme (UNDP) iniciou a publicação dos Relatórios Anuais de Desenvolvimento (HDR), contendo a divulgação de índices para vários países com destaque para o IDH.

De acordo como UNPD (1997) o HDR considera que o desenvolvimento humano leva em consideração três dimensões distintas, a saber: longevidade e saúde da população, adquirir conhecimento e tecnologia e acesso a recursos para obter um padrão de vida decente.

Sagar e Najan (1997) citam que a construção do IDH para um país leva em conta o desenvolvimento humano para as três dimensões acima citadas. Para cada dimensão é identificado um indicador para representar e captar a essência da respectiva dimensão. De modo geral, o IDH é determinado através da média aritmética desses três índices. Portanto, para cada componente (i) do IDH são estabelecidos índices individuais, dependendo do País, que podem ser computados através da seguinte fórmula:

$$\text{IDH} = (\text{Valor atual } xi - \text{Mínimo valor } xi) / (\text{Máximo valor } xi - \text{Mínimo valor } xi);$$

Costa et al.,(2007) desenvolveram um trabalho utilizando o software de geoprocessamento TerraView (INPE) para espacializar o IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal no Rio Grande do Norte em três dimensões distintas: educação, longevidade e renda per capita e verificou-se tendências ou padrões de desenvolvimento de pobreza no Estado.

Vale ressaltar que o IDH apresenta uma visão distorcida do mundo assim como ignora a dimensão ambiental do desenvolvimento, especialmente a relação entre a performance do país na dimensão do desenvolvimento humano e ambiental. O IDH é utilizado principalmente como uma importante alternativa de medida de performance de cada país, no entanto não demonstra uma preocupação com o desenvolvimento sob uma perspectiva global.

O Governo do Estado, através do IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará utiliza alguns índices para monitorar os impactos socioeconômicos e ambientais e os níveis de desenvolvimento para os municípios do Estado no intuito de direcionar as ações governamentais, onde cabe destacar a IMA (Índice Municipal de Alerta), e o IDM (Índice de Desenvolvimento Municipal) e o IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal).

Segundo o IPECE (2012) o IMA orienta, principalmente, a área de agropecuária e o IDM faz uma hierarquização dos municípios em termos de desenvolvimento. O IMA é calculado a partir de 12 indicadores que refletem a vulnerabilidade dos municípios no que diz respeito aos aspectos agrícolas e climatológicos, pertinentes às áreas de meteorologia, recursos hídricos e produção agrícola, discriminados a seguir:

- Produtividade agrícola por hectare;
- Produção agrícola por habitante;
- Utilização da área colhida com culturas de subsistência;
- Perda de safra;
- Proporção de famílias beneficiadas com bolsa família;
- Nº de vagas do Seguro Safra por 100 habitantes rurais;
- Climatologia;
- Desvio normalizado das chuvas;
- Escoamento superficial;
- Índice de distribuição de chuvas;
- Índice de aridez;
- Taxa de cobertura de abastecimento urbano de água.

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) tem o propósito de medir o nível de desenvolvimento de um município a partir de um conjunto de trinta indicadores sociais, demográficos econômicos e de infraestrutura de apoio, conforme descrito a seguir:

- Grupo 1 - Indicadores Fisiográficos, Fundiários e Agrícolas: Precipitação pluviométrica; Percentual de área explorável utilizada; Percentual do valor da produção vegetal; Percentual do valor da produção animal; Salinidade média da água; Quociente locacional de energia rural; Índice de distribuição de chuvas;

- Grupo 2 - Indicadores Demográficos e Econômicos: Densidade demográfica; Taxa de urbanização; Produto interno bruto *per capita*; Receita orçamentária *per capita*; Percentual do consumo de energia elétrica da indústria e comércio; Percentual do produto interno bruto do setor industrial; Percentual de trabalhadores do emprego formal com nível de rendimento superior a dois salários mínimos;

- Grupo 3 - Indicadores de Infraestrutura de Apoio: Agências de correio por dez mil habitantes; Agências bancárias por dez mil habitantes; Veículos de carga por cem habitantes; Coeficiente de proximidade: medida do grau de proximidade do município em relação a Fortaleza; Coeficiente proximidade =  $[(X_{\text{máx.}} - X_m)/(X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}})] \times 10$ ; Percentual de domicílios com energia elétrica; Rede rodoviária pavimentada relativa à área do município; Emissoras de radiodifusão;

- Grupo 4 - Indicadores Sociais: Taxa de escolarização no ensino médio; Taxa de aprovação no ensino fundamental; Bibliotecas, salas de leitura e laboratórios de informática por escola; Equipamentos de informática por escola; Percentual de função docente no ensino fundamental com grau de formação superior; Médicos por mil habitantes; Leitos por mil habitantes; Taxa de mortalidade infantil; Taxa de cobertura de abastecimento de água.

Estes índices podem ser calculados de forma Normalizada, que representa outra análise possível que leva em consideração as relações entre o valor de cada indicador de um determinado município e o valor do mesmo indicador para o melhor município cearense.

Os valores das relações calculadas estão contidos no intervalo entre 0 e 100%, sendo o melhor valor sempre igual a 100%, que será considerado como a referência em todos os casos analisados. Assim, para cada indicador é verificado o percentual dos municípios em relação à situação de referência. E, com base nesses

resultados, é possível calcular os índices normalizados para cada município, que é a média aritmética dos percentuais dos indicadores.

Sendo assim os indicadores de desenvolvimento constituem informações condensadas, simplificadas, e quantificadas que facilitam a comunicação, possibilitam comparações e auxiliam no processo de tomada de decisão. Estes indicadores levam em consideração, principalmente o bem-estar e a qualidade de vida da população dentro da perspectiva do desenvolvimento sustentável. O caráter multidimensional do conceito de sustentabilidade requer que se estabeleça um equilíbrio justo envolvendo três elementos básicos interdependentes que são as preservações ecológica, sociocultural e econômica.

## **2.2 Unidades de Conservação**

Desde o início da civilização, os povos em todo o mundo reconheceram a existência de sítios geográficos com características especiais relevantes, tanto como fatos históricos marcantes ou como forma de proteger fontes de água, caça, plantas medicinais e outros atributos naturais, tomando assim medidas para resguardá-los (DIEGUES, 2004).

A biodiversidade em todo o planeta tem sido extremamente afetada pelas atividades humanas e ultimamente tornou-se imperativo que esta seja protegida, de forma a evitar que uma grande parte das espécies, muitas delas ainda desconhecidas, desapareçam do planeta ou de determinados ecossistemas levando a desequilíbrios ambientais maiores.

Nos últimos anos, no Brasil, o poder público estabeleceu um conjunto de medidas a serem adotadas para conservar a diversidade biológica, conferindo especial destaque a proteção da biodiversidade no próprio local de ocorrência natural. Uma das formas de garantir a conservação da diversidade biológica de um país é o estabelecimento de um sistema de áreas protegidas.

De acordo com o art. 225, da Constituição Federal fica estabelecido que, compete ao poder público o dever de definir, em todas as Unidades da Federação,

espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a modificação e a extinção somente permitida por Lei. Assim as áreas protegidas podem se localizar em áreas públicas ou privadas e uma vez declaradas áreas protegidas são sujeitas ao regime jurídico de interesse público.

Ao se protegerem áreas, uma parte da biodiversidade fica “confinada” e outra parte continua sem proteção, sendo destruída e os ecossistemas descaracterizados. Desta forma, há uma necessidade urgente de se conhecer a biodiversidade presente nos diferentes ecossistemas visando à melhor gestão e proteção.

No Brasil, as áreas protegidas incluem as áreas de proteção permanente, as reservas legais, as reservas indígenas e as unidades de conservação. A criação e a manutenção dessas áreas protegidas é uma das estratégias mais efetivas para conservação dos recursos naturais. De acordo com PNAP (2006), áreas protegidas são áreas geograficamente definidas, regulamentadas, administradas e/ou gerenciadas com objetivos de conservação e uso sustentável da biodiversidade.

A criação do modelo de unidade de conservação, como um tipo de área protegida, incumbiu ao poder público a tarefa de planejar, criar e gerir tais espaços. Por isso, as unidades de conservação são uma forma de resguardar os recursos naturais relevantes, sob um regime especial de administração ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção e dotadas de responsabilidade e gestão própria dos seus administradores, tanto no âmbito federal, estadual ou municipal (BRASIL, 2002).

Nesse sentido, as unidades de conservação são os principais instrumentos administrativos para preservar ou conservar o que existe da biodiversidade brasileira, principalmente no que diz respeito à vulnerabilidade dos ecossistemas. (BRUNER et al., 2001).

No Brasil, a Lei Federal 9.985/2000 e o seu Decreto de regulamentação nº 4.340, de 22 de agosto de 2002 (BRASIL, 2000, 2002) tratam das áreas protegidas denominadas Unidades de Conservação (UCs) compondo o Sistema

Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, que disciplina a criação e gestão das Unidades de Conservação do País. Esses instrumentos legais contemplam orientações sobre os aspectos conceituais, dominiais, fundiários e de manejo, das Unidades de Conservação, sejam elas Federais, Estaduais ou Municipais, e são definidas como: “espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo poder público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”.

As unidades de conservação podem ser classificadas em dois grupos: Proteção Integral e Uso Sustentável. Ainda segundo o SNUC, o grupo Proteção Integral são aquelas destinadas à preservação da biodiversidade, sendo permitidas pesquisas científicas, e em alguns casos, turismo e atividades de educação ambiental. Nestas áreas não é permitido populações tradicionais ou não tradicionais; já o grupo de Uso Sustentável visa conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais.

O SNUC também define cinco categorias de manejo de proteção integral dos recursos naturais quais sejam: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque, Monumento Natural e Refugio de Vida Silvestre. As categorias de uso sustentável são sete: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Jamel et al.,(2007), através da técnica de avaliação multicritério, realizaram um zoneamento na Unidade de Conservação do Parque Estadual do Desengano – RJ, onde se estabeleceu variáveis para determinação de três objetivos: conservação, visitação e recuperação. Este estudo foi importante para a determinação das áreas prioritárias para cada uso e contribuiu diretamente para a gestão do Parque assim como para o Plano de Manejo preconizado pelo SNUC (BRASIL, 2002).

É importante ressaltar que as Unidades de Conservação, além de existirem em quantidade insuficiente para a efetiva conservação da diversidade biológica brasileira, ainda não atingiram plenamente seus objetivos de criação, conforme apontam diversos autores (FARIA 2004; IBAMA, 2007).

Craveiro (2008) afirma que as unidades de conservação possuem um papel vital para a preservação dos recursos naturais onde cabe destacar a preservação de amostras representativas de regiões naturais e de sua diversidade biológica, a manutenção da estabilidade ecológica de zonas que as circundam e os valores culturais das populações circunvizinhas.

Geledete et al.,(2011) descreveram o planejamento e a metodologia aplicada para a demarcação de 24 Unidades de Conservação na área de influência da BR-319, que liga Manaus e Porto Velho, que contou com o apoio e logística da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército).

As UC's sofrem ameaças de diversas naturezas tais como invasões, incêndios, ou exploração inadequada de seus recursos naturais. No processo de criação e implementação de uma UC são necessários investimentos relacionados à pessoal, administração, equipamentos, planos de manejo, programas de gestão, desapropriação de terras, entre outros (MUANIS *et al.*, 2009).

Fushita et al.,(2011) realizaram um estudo de uso e ocupação da terra no entorno do Parque Ecológico de Guarapiranga no intuito de subsidiar estudos futuros sobre a área. Foi identificada uma grande pressão urbana sobre o ecossistema terrestre e aquático, a conseqüente diminuição da permeabilidade interferindo na qualidade da água e nos remanescentes florestais.

Ludka e Medeiros (2012) fizeram uma análise da forma com que as avaliações de manejo das Unidades de Conservação foram empreendidas no Brasil até 2011 e como elas contribuíram para a melhoria da gestão dessas unidades. Nesse estudo foram considerados os processos de avaliação envolvidos e se essas avaliações foram feitas de forma sistemática permitindo a correção de ações, a identificação de deficiências e os benefícios trazidos.

Tebaldi (2012), ao desenvolver um estudo para determinar as condições de uma gestão interligada aos incêndios florestais das Unidades de Conservação do Estado do Espírito Santo, aprofundou questões relacionadas à gestão e infraestrutura e as principais ameaças aos ecossistemas atingidos dentro das UC's e propôs a utilização dos resultados como subsídio para o planejamento e a gestão das áreas protegidas do Estado.

Levando em consideração o alto grau de degradação da biodiversidade em virtude da ocupação desordenada do espaço no bioma Cerrado do Parque Nacional Chapada das Mesas – Maranhão, Moraes (2007) utilizou um SIG para subsidiar os trabalhos de gestão ambiental facilitando assim o planejamento de ações e dando suporte no monitoramento e fiscalização do Parque.

Atualmente o Estado do Ceará possui 12 Unidades de Conservação de administração federal, 23 de administração estadual, 13 de administração municipal e 22 particulares. Das 23 Unidades de Conservação Estaduais 08 são de Proteção Integral e 14 de Uso Sustentável, sendo 13 APAS, 05 Parques Estaduais, 02 Monumentos Naturais, 01 Estação Ecológica, 01 ARIE e 01 Corredor Ecológico. Essas Unidades foram criadas com o intuito de valorizar, proteger e promover a biodiversidade do Estado assim como o ecoturismo nos biomas cearenses.

De acordo com Brasil (2002) as Áreas de Proteção Ambiental (APA's), que constituem uma importante categoria das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, são definidas da seguinte forma: “são em geral áreas extensas, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade de uso dos recursos naturais”.

O objetivo primordial de uma APA é a conservação de processos naturais e da biodiversidade, orientando o desenvolvimento, adequando às várias atividades humanas às características ambientais da área. As APA's podem ser estabelecidas

em áreas de domínio público e/ou privado, pela União, estados ou municípios, não sendo necessária a desapropriação das terras. No entanto, as atividades e usos desenvolvidos estão sujeitos a um disciplinamento específico.

Soares et al.,(2007), no intuito de apoiar ações de planejamento e ocupação do uso da terra, estudou a dinâmica de uso do solo da APA de Encontro das Águas, no município de Indaratuba, fazendo uma análise cruzada das classes de uso e as diferentes tipologias vegetais e classe de solos.

As APA's podem se tornar importantes instrumentos de planejamento regional, integrando as populações e as técnicas adequadas de manejo, independentemente de limites geográficos dos municípios, promovendo um novo estilo de desenvolvimento.

A Área a ser estudada, a Unidade de Conservação de Uso Sustentável denominada APA (Área de Proteção Ambiental) da Serra de Baturité, localizada na porção Nordeste do Estado do Ceará, na região serrana do Maciço de Baturité, foi a primeira e a mais extensa área de Proteção Ambiental criada pelo Governo do Estado do Ceará.

A utilização de ferramentas de sensoriamento remoto vem auxiliando na investigação do ordenamento territorial e da adequação do uso do solo em áreas de preservação permanente (APA's) com especial destaque na representação do espaço físico territorial e no gerenciamento do uso e ocupação da terra.

De Assis (2012) sustenta que, no que diz respeito ao Planejamento dessas áreas, o emprego de recursos geotecnológicos estão sendo aplicados numa escala quase que obrigatória principalmente no atendimento de algumas prioridades tais como: a proteção de ecossistemas; a conservação da biodiversidade; o manejo de bacias hidrográficas, e o combate à desertificação.

Reis et al.,(2009) fizeram a caracterização do uso e cobertura vegetal da região do Rio São João no intuito de estabelecer procedimentos de mapeamentos

de áreas de preservação permanente APP dentro da APA obedecendo a legislação federal pertinente (Lei federal n. 4471 e Resolução CONAMA n. 303).

Oliveira et al.,(2007) fizeram uso de imagens de satélites e SIG para delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APP's) no município de São Leopoldo contribuindo diretamente com os gestores públicos nos processos de gestão ambiental e tomada de decisão.

Cardoso e Souza (2012) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para identificar feições de degradação florestal e tipificar os possíveis ilícitos ambientais em uma Estação Ecológica e um Parque Nacional localizadas na Serra do Prado no bioma Amazônico no intuito de subsidiar ações de fiscalização do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO.

Turner et al.,(2003) e Gross et al., (2006) destacaram que o uso de geotecnologias vem sendo um importante recurso na extração de informações e são extremamente úteis e amplamente empregadas na investigação e monitoramento de áreas protegidas, principalmente em Unidades de Conservação.

A análise conjunta dessas informações tais como relevo, malha viária, altitude, hidrografia, geram informações valiosas para o planejamento e o gerenciamento dessas áreas (Ribeiro et al., 2006).

Vários trabalhos foram desenvolvidos, através de uso de imagens de satélites e SIG's para realizar análises comparativas multitemporais do uso e ocupação da terra em Unidades de Conservação. Fortes et al.,(2007) mostraram a tendência da degradação do uso da terra e da vegetação pela ocupação irregular de áreas urbanas e da agricultura na APA de Cafuringa, Distrito Federal.

Nascimento et al.,(2009), por sua vez, para os anos de 1985 a 2002, identificaram, mapearam e quantificaram os impactos ambientais positivos e negativos da APA de Santa Rita – Alagoas, em especial sobre a cobertura vegetal, em função da ocupação desordenada e da utilização predatória de seus recursos naturais.

Uma análise temporal das alterações do uso da terra na Área de Proteção Ambiental das Ilhas Várzeas do rio Paraná durante a década de 2000 foi realizada por Moraes e Bernardes (2011) onde foram identificados os tipos, a extensão e localização das mudanças nas características dos alvos adotados no estudo.

Kinouchi (2012), a partir de informações extraídas do Método Rappam (IBAMA e WWF-Brasil, 2007) aplicado para Unidades de Conservação Federais em 2010 avaliou indicadores relativos ao nível de estruturação da unidade, ao grau de consolidação da sua implementação, sua efetividade de gestão e o estado de conservação da área para 64 Parques Nacionais.

Pagani et al.,(2012) elaboraram um protocolo de indicadores ambientais, através da definição de três grupos de indicadores (ambientais, da paisagem e de biodiversidade) para serem utilizados na categoria de Unidades de Conservação Estação Ecológica.

### **2.3 Geotecnologias**

Em virtude da deficiência de meios e materiais, tem sido um grande desafio do ponto de vista técnico e econômico, monitorar e quantificar, de forma espacial e temporal, o uso da terra de maneira mais efetiva, a um baixo custo, garantindo uma melhor investigação e colaborando de forma expressiva nas ocorrências de agressões ao meio ambiente (SANTOS et al., 2011).

Recentes avanços em tecnologias de aquisição, manuseio e aplicação dos dados, o aumento da capacidade de processamento de informações e a facilidade de acesso a computadores são fatores que impulsionam e contribuíram de forma decisiva para o avanço de tecnologias modernas como o uso do sensoriamento remoto, do geoprocessamento e do desenvolvimento de sistemas de informações geográficas na gestão dos recursos naturais (ALVES et al., 2006).

A análise e avaliação do uso da terra, a partir de informações geradas através dessas tecnologias, demonstram sua grande utilidade no planejamento e

administração da ocupação ordenada e racional do meio físico. É nesse contexto que se inserem o Geoprocessamento, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e o Sensoriamento Remoto, que podem ser utilizados como ferramenta de apoio e análise fornecendo respostas de forma ágil e confiável no planejamento e gestão e no processo de tomada de decisão (LEITE E ROSA, 2009).

Fonseca et al.,(2009) definiram o geoprocessamento como uma ferramenta científica e tecnológica utilizado no tratamento da informação geográfica fazendo sua ligação técnica e conceitual. Dentro do conjunto de tecnologias que compõe o geoprocessamento cabe destacar o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR).

O surgimento dos SIG's causou grande impacto em função de sua capacidade de manipular dados volumosos, com grande velocidade, possibilitando a realização de análises complexas de espaços geográficos e permitindo a modelagem da superfície terrestre (VERMA et al., 1998).

Mendes (1996) afirma que o SIG pode ser entendido como um conjunto de programas aplicado a uma base de dados georreferenciados com o intuito de capturar, armazenar, modelar, manipular e apresentar diversos tipos de informações com referência espacial. Na definição de Moreno e Tejada (2004) o SIG é um modelo capaz de transformar e visualizar dados a partir do mundo real.

Os métodos e estudos que se utilizam das ferramentas dos SIG's vem apresentando vantagens em relação aos métodos manuais convencionais em virtude de sua capacidade de produzir resultados mais objetivos, de maior precisão e com menor tempo de elaboração (NASCIMENTO et al., 2005).

Os métodos convencionais implicam em grande mobilização de mão de obra, incluindo interpretação visual em campo, o que é considerada subjetiva e sujeita a contestações (COURA et al., 2011).

Os SIG's são utilizados na produção e visualização de dados espaciais e geração de mapas, na análise espacial, na modelagem, na simulação e no

monitoramento ambiental e na estruturação de base de dados geográficos (INPE 2004). Sendo assim estes sistemas se destinam ao tratamento de dados com referência espacial e aplicações importantes no manuseio de informações ambientais e no reconhecimento de problemas de ordem espacial. (ROCHA e HADICH, 2011).

Para melhor compreensão da evolução da utilização dessas ferramentas cabe destacar alguns trabalhos de aplicação de SIG's no monitoramento, mapeamento, gestão e avaliação dos recursos naturais desenvolvidos ao longo dos últimos vinte anos.

Alves (1990) apresentou uma metodologia para integração de um Sistema de Informação Geográfica desenvolvido pelo INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), o SIG-INPE, com as bases de dados hidrológicos do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica). Filgueiras et al.,(1990) destacaram a importância das características dos SIG's, tais como: formato dos dados de entrada, os tipos de conversão entre formatos, maneiras de integração e manipulação desses dados.

O Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco UFPE, juntamente com a Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco, em 1999, implementaram o Sistema de Suporte e Decisão para Análise e Controle de Outorgas – SSDACO (PAIVA et al., 1999).

O Laboratório da COPPE/UFRJ desenvolveu um sistema de informações de recursos hídricos para o Vale do Paraíba do Sul, integrando numa base de dados, vários planos de dados espaciais referentes à rede pluviométrica e fluviométrica, mapa do uso de solo, relevo, rede de drenagem, vazões, zonas urbanas e delimitação de bacias.

Na Universidade Federal de Minas Gerais foi desenvolvido o Sistema SIAGER (EUCLYDES et al., 1999), que permite o confronto da oferta x demanda para a concessão de outorgas. Aqui foi utilizado um modelo de regionalização

hidrológica permitindo identificar espacialmente os pontos de retirada de água e estimar as disponibilidades hídricas em qualquer ponto da bacia hidrográfica.

No Estado do Ceará foi desenvolvido um Sistema de Suporte à Alocação de Volumes em Reservatórios (SOUZA FILHO, 1999) composta por três estruturas básicas: um banco de dados; um banco de modelos e uma interface gráfica (SIG). Este sistema tinha o intuito de melhorar no nível de informação ao processo de decisão de outorga e alocação dos recursos hídricos.

O uso de protocolos de avaliação ambiental associado a ferramentas de geoprocessamento e modelos estatísticos tem sido utilizado no desenvolvimento do projeto “Monitoramento das Alterações no Uso e Ocupação do Solo e da Dinâmica Demográfica na Área de Influência do Trecho Sul do Rodoanel” (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO 2011).

Com um enorme potencial de utilização, o SIG, também permite o uso de informações produzidas por sensores remotos para a realização de análises espaciais oferecendo ferramentas operacionais para planejamento, gerenciamento, monitoramento, auxílio à tomada de decisão e apoio à política (CÂMARA E MEDEIROS 1996).

Sensoriamento remoto, na definição de Rosa (2007), é uma técnica de utilização de sensores, ativos ou passivos, acoplados a equipamentos de transmissão de dados e, posteriormente processados, das informações captadas através da energia refletida ou emitida por alvos localizados na superfície terrestre, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre.

O mapeamento temático é considerado uma das formas para analisar e estudar mudanças que ocorrem na superfície da terra em um determinado período de tempo. Andrade e Pirolli (2011) consideram o sensoriamento remoto um instrumento essencial para o monitoramento ambiental através da elaboração de mapeamentos temáticos, diagnósticos, prognósticos e zoneamentos identificando as principais problemáticas ambientais identificadas no espaço geográfico.

Contrastando com os métodos convencionais de topografia e cartografia, considerados obsoletos, o uso de sensores remotos para mapeamentos atendem à necessidade de planejamento e informação de forma muito mais dinâmica e eficiente (GASPAR et al., 2011).

Ono et al.,(2005) comentaram que os mapas temáticos são armazenados nos SIG`s através de camadas georreferenciadas, onde cada camada ou plano de informação contém os dados de um respectivo atributo, como por exemplo, tipo de solo, cobertura vegetal ou rede de drenagem.

Paz (2005) propôs uma metodologia capaz de produzir um mapeamento da degradação físico, químico e biológico dos solos através de combinação de dados de levantados em campo com informações obtidas pela interpretação das imagens de satélites, em Valência na Espanha.

No zoneamento ambiental da Unidade de Conservação do Parque Nacional do Desengano – RJ foi feito uma superposição de várias camadas de mapas temáticos e, através de análise booleana, foram demarcadas áreas com diferentes magnitudes de impacto e indicadas áreas com melhor adequação e maior potencialidade de uso (JAMEL, 2009).

Eckhardt et al.,(2009) elaboraram uma base cartográfica digital e mapeamentos temáticos (estradas, uso do solo, cobertura vegetal, declividade, outros) das APP`s (Áreas de Preservação Permanente) do Vale do Taquari – RS com o intuito de realizar um diagnóstico ambiental a partir da delimitação, análise e diagnóstico do padrão de uso e cobertura dos solos.

Figueirêdo e Rossete (2009) caracterizaram o uso do solo da micro bacia hidrográfica do Córrego Capim Branco, a partir da confecção de mapas temáticos de uso de cobertura da terra, no auxílio ao processo de tomada de decisão visando à proteção e o uso sustentável dos recursos naturais.

Santos et al.,(2007) mostraram o processo de elaboração de mapa de aptidão do uso do solo através do uso combinado de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

A tecnologia SIG, de forma geral, fornece uma melhor condição na organização, interpretação e integração de variáveis temporais e espaciais que necessitam de métodos de planejamento.

Ribeiro et al.,(2001) fizeram uma análise temporal, através de uso de imagens de satélite, para identificar e avaliar alterações ocorridas no uso e cobertura do solo nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu e Sapucaí, Rio de Janeiro. Felipe et al.,(2009) verificaram o processo da dinâmica morfológica na foz do Rio São Francisco nas últimas três décadas em função da dinâmica deposicional de sedimentos.

Martins et al.,(2011) realizaram uma análise multitemporal da antropização anual e acumulada ao longo dos anos de 2005-2010 na Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro e identificaram um processo contínuo de antropização da cobertura florestal.

A aplicação dos SIG's nos recursos hídricos também vem ganhando força ao longo dos anos em virtude da necessidade de dinamizar o processo de gestão integrada. Silva e Rosa (2009) adotaram a bacia hidrográfica como unidade espacial de estudo e avaliaram as variáveis ambientais do Bioma Cerrado da Bacia do Rio São Francisco no intuito de melhor entender o ecossistema estudado e auxiliar no processo de tomada de decisão.

Cavichiolo (2003) espacializou os dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais da Bacia do Ribeira, estado do Paraná, utilizando diversas variáveis para analisar informações georreferenciadas tais como: OD, DBO, sólidos dissolvidos totais, turbidez, nitrogênio e fósforo total, coliformes fecais e metais pesados.

Souza et al.,(2004) apresentaram um SIG desenvolvido para apoiar as atividades de gerenciamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, no Paraná. Este sistema disseminou a cultura do uso da geotecnologia na Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná.

Malveira et al.,(2005) utilizaram aplicações de geoprocessamento para levantar informações no processo de gestão de recursos hídricos como a disposição espacial de reservatórios e a localização das disponibilidades no intuito de mostrar a evolução da implantação da infraestrutura de açudagem no período de 1901 a 2004 no Estado do Ceará.

Zamprogno e Porto (2005) fizeram uso de uma metodologia de sensoriamento remoto, através de análises multiespectrais, para avaliar a escolha de locais mais apropriados para a implantação de reservatórios.

Costa et al.,(2009) realizaram a caracterização de uma bacia hidrográfica quanto à suscetibilidade a erosão aplicando técnicas de geoprocessamento através da análise dos elementos físicos como declividade, solos e uso e ocupação relacionados aos processos de erosão hídrica da bacia.

Umbelino et al.,(2009) mapearam áreas urbanizadas e não urbanizadas na Bacia Hidrográfica do Córrego da Onça, identificando os locais de maior vulnerabilidade ambiental e social, e propondo o reenquadramento dos cursos d'água e caracterizando a população que não possui acesso a rede de distribuição de água e coleta de esgoto na bacia hidrográfica.

Na análise morfométrica de bacias hidrográficas Slovinski, Souza e Dornelas (2009) empregaram técnicas de processamento digital de imagens e SIG em três bacias que compõe a bacia hidrográfica de São João para quantificar parâmetros morfométricos relevo, declividade e uso do solo necessário aos estudos hidrológicos e geomorfológicos.

Napoleão e Mattos (2011) elaboraram um zoneamento através da definição de classes, utilizando como critério informações referentes ao potencial de retenção hídrica dos solos e da vulnerabilidade aos processos erosivos da terra. Foi feito um cruzamento das classes de zoneamento com o uso da cobertura vegetal e estabelecido faixas de vulnerabilidade.

Gondim et al.,(2011) utilizaram um SIG para analisar os impactos de mudanças climáticas na temperatura, precipitação e evapotranspiração na bacia hidrográfica do Jaguaribe, estado do Ceará no trecho compreendido entre as barragens do Castanhão e Itaiçaba.

Nos estudos das Unidades de Conservação, Áreas de Proteção Ambiental (APA's) e Áreas de Preservação Permanente (APP's) a utilização dos SIG's também se tornaram ferramentas importantes em função das facilidades de manipulação das informações.

Mota e Pons (2011) fizeram um estudo para análise de uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente no município de Itajubá, com o intuito de dar subsídios ao planejamento urbano do município no que diz respeito à ocupação dessas áreas provocadas pelo crescimento de áreas urbanas.

Trevisan e Adami (2009) fizeram uma avaliação do uso e cobertura do solo em áreas de preservação permanente ao longo de rios para delimitar nascentes, encostas e topos de morros presentes no município de Cornélio Procópio, no estado do Paraná, e verificaram o cumprimento do Código Florestal Brasileiro nessas áreas.

Através do emprego de imagens de satélites foi realizado um estudo geoambiental numa área de proteção ambiental do sistema lagunar-estuarino Nísia Floresta-Papeba-Guarairas, no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte onde foi gerado o mapeamento do uso do solo e suas potencialidades demarcando áreas de uso, conservação e preservação e o mapa de unidades geoambientais contribuindo para o ordenamento da região e seu entorno (FERNANDES et al., 2007).

Abdala et al.,(2011) fizeram uso de geotecnologias e produziram um zoneamento ambiental na APA (Área de Proteção Ambiental) da bacia do Rio Uberaba para melhor avaliar as paisagens naturais e as áreas que necessitam de preservação e de intervenção em face dos danos causados pela problemática de escassez de água que afeta a região num determinado período do ano.

A aplicação de índices e indicadores e aliados ao emprego de geotecnologias se tornaram um poderoso mecanismo de quantificação da evolução de processos relacionados a dinâmica ambiental.

Kazmierzak e Seabra (2009), através da seleção de indicadores de uso do solo, padrões de precipitação, IVDN (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada) e erosão potencial, aplicaram um Índice de Suscetibilidade de Degradação Ambiental (ISDA) em áreas do cerrado de São Paulo para avaliar o nível de degradação das áreas onde foram constatados estágios avançados de degradação.

Vasconcelos, Landau e Miranda (2011) fizeram uma análise multitemporal da cobertura do solo da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim em virtude da alta sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo nos ambientes litorâneos, em especial nos manguezais, ecossistemas mais complexos e abrigados, protegidos de ondas e sob forte influência das marés. Foi desenvolvido um Índice de Sensibilidade Ambiental e realizado um mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo.

Rodrigues e Souza Filho (2011) desenvolveram um Índice de Sensibilidade Ambiental a partir do mapeamento geológico e geomorfológico produzidos por imagens de satélites com o objetivo de reconhecer ambientes costeiros ao longo da Baía de Caruçá e fornecer um diagnóstico das condições de uso e ocupação em áreas de preservação tais como estuários, mangues, lagoas e dunas.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Maciço de Baturité é formado por 13 municípios: Palmácia, Pacoti, Guaramiranga, Mulungu, Redenção, Acarape, Barreira, Baturité, Aratuba, Aracoiaba, Ocara, Capistrano e Itaipúna, conforme mostra a Figura 3.1. A região está situada a 90 km de Fortaleza e encontra-se delimitada entre as latitudes S 04°08'06"/04°30'57" e longitudes W 38°50'42"/39°05'54.

Figura 3.1 - Municípios inseridos na APA de Baturité.



Município	% inserido na APA
Aratuba	56,70%
Baturité	6,99%
Canindé	0,02%
Capistrano	0,60%
Caridade	0,06%
Guaramiranga	93,43%
Mulungu	79,89%
Pacoti	56,20%
Palmácia	0,76%
Redenção	0,93%

Fonte: SEMACE (2013)

O Território sobressai-se na paisagem do Estado do Ceará por apresentar formações vegetais remanescentes de Mata Atlântica, em especial nas altitudes superiores a 200 metros. Demarcada como composição vegetal de relevância botânica e ecológica, as formações remanescentes são consideradas Patrimônio da Humanidade, pela UNESCO. Sua manutenção em termos de solos, bem como de recursos hídricos da Vertente Oriental Úmida, faz-se fundamental, para garantir a não desertificação em um futuro não tão distante.

A região apresenta cotas altimétricas de aproximadamente 900 m de altitude, e em algumas áreas essas cotas são superiores a 1.000 m. As áreas mais elevadas, com vegetação característica de mata úmida, são consideradas oásis em pleno semiárido. Em decorrência da necessidade de proteção desse patrimônio, criou-se a Área de Preservação Ambiental (APA) do Maciço de Baturité. A APA é

a primeira e mais extensa Área de Proteção Ambiental implantada pelo Governo do Estado do Ceará e foi criada em 18 de setembro de 1990, pelo decreto estadual 20.956, ocupando uma área de 32.690 hectares.

A APA está delimitada pela cota 600 (seiscentos) metros onde predomina o ambiente de serras úmidas. Este ambiente de exceção do semiárido nordestino possui fundamental importância ecológica por abrigar diversas fontes hídricas e por sua função como “habitat” para diferentes grupos de espécies da fauna local. Mesmo com a implantação da referida APA, no entanto, muitos problemas envolvendo a diversidade biológica e formas de uso da terra persistem até os dias atuais.

A APA da Serra de Baturité tem como objetivo a conservação e melhoria das condições ecológicas regionais, assegurando o bem estar das populações humanas, sendo, portanto, uma unidade de conservação de uso direto, além de possibilitar melhor controle sobre o ecossistema do Maciço. Apresenta como objetivos específicos: proteger as comunidades bióticas nativas, as nascentes dos rios, as vertentes e os solos; proporcionar à população regional métodos e técnicas apropriadas ao uso do solo, de maneira a não interferir no funcionamento dos refúgios ecológicos e desenvolver na população regional uma consciência ecológica e conservacionista (SEMACE, 2013).

De acordo com o decreto 27.290, foram proibidos nos municípios que integram a APA, as seguintes atividades: - utilização das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal para outros fins diferentes dos propósitos conservacionistas; - supressão da cobertura vegetal em encostas com inclinação entre 25 a 45 graus; - as atividades que possam poluir ou degradar os recursos hídricos; - a destruição do patrimônio histórico, cultural e paisagístico; - as atividades capazes de provocar acelerada erosão do solo e/ou acentuado assoreamento dos corpos d'água; - o uso de agrotóxico, em desacordo com as normas ou recomendações técnicas e a retirada da flora nativa sem autorização da SEMACE.

Pelo mesmo decreto ficou estabelecido que a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos, obras e

atividades utilizadoras de recursos ambientais, bem como as capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental na APA dependerá de prévio licenciamento da SEMACE. Também foi estabelecido que fosse exigido um estudo ambiental para construção e ampliação de unidades familiares e demais obras complementares, cujo projeto apresente uma área total superior a 200m<sup>2</sup>. As normas reguladoras da implantação da APA foram estabelecidas pela Instrução Normativa (IN) 01/90, de 22 de março de 1991.

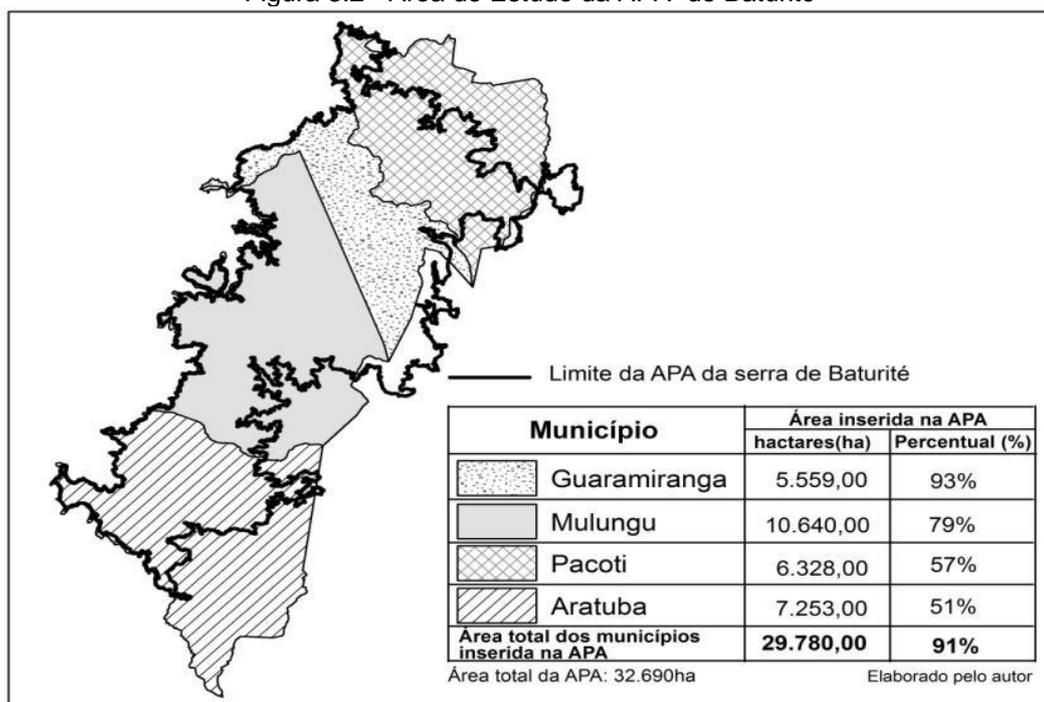
Ao longo dos cursos d'água, naturais ou artificiais, encontram-se as Áreas de Preservação Permanente, APP's, definidas pelo Art. 2º da Lei Federal 4.771 (de 15/09/65 – Novo Código Florestal), modificadas pela Lei Federal 7.803 (de 18/07/89), que estabelece APP's em faixas marginais aos cursos d'água.

O zoneamento, também, é um instrumento para o planejamento e gestão de unidades de conservação (UCs), onde propicia o ordenamento do espaço com o estabelecimento de normas e padrões disciplinadores das atividades antrópicas. Normalmente, compõe o plano de manejo das UCs. No caso da APA (Área de Proteção Ambiental) - unidade de conservação de categoria de uso sustentável, ele é mais complexo, devido à diversidade do uso dos recursos naturais.

Mesmo com todo o esforço institucional para garantir-se a realização plena dos objetivos da APA, na prática, assim não acontece. É grande a pressão das populações locais, empresas de comercialização de água mineral, cerâmicas, pousadas e casas de veraneio sobre os recursos naturais.

Apesar de a APA ser formada por 13 municípios, para o presente estudo, serão considerados apenas os municípios de Aratuba, Mulungu, Guaramiranga e Pacoti por possuírem áreas acima de 50% de seu território inserido na APA e por terem representatividade no ambiente de serras úmidas, conforme mostra a Figura 3.2. Estes quatro municípios representam 91 % da área da APA totalizando 29.780 há. Nos demais municípios as porções territoriais pertencentes à APA são muito pequenas e, nas demais áreas, possuem características distintas do ambiente de serras úmidas proposto no estudo.

Figura 3.2 - Área de Estudo da APA de Baturité



Fonte: IPECE, 2008

As serras úmidas do Ceará se caracterizam como áreas de grande importância devido à sua elevada produção agrícola e ao seu denso contingente populacional, já que apresentam melhores condições ambientais, no que diz respeito à produtividade, que as encontradas na semiaridez das depressões sertanejas.

### 3.1 Meio Físico

Entre os aspectos cuja consideração ou detalhamento serão necessários, incluem-se a caracterização do clima e condições meteorológicas; aspectos geológicos e geomorfológicos, meio biótico e o meio antrópico, caracterizando, assim, a região da APA de Baturité.

#### 3.1.1 Aspectos Climáticos

Segundo a classificação climática de Köppen, no Atlas Climatológico do Brasil, editado em 1969, a região da APA de Baturité faz parte da interface de contato entre os climas Aw' e BSw'h', que representam respectivamente: clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas no verão e precipitação máxima no

outono; e clima muito quente, semiárido, com estação chuvosa no verão conforme mostra o Quadro 3.1:

Quadro 3.1 - Classificação do clima da área de estudo.

<b>Município</b>	<b>Tipo de Clima</b>
Aratuba	Tropical Subquente Úmido
Guaramiranga	Tropical Subquente Úmido e Tropical Quente Úmido
Mulungu	Tropical Subquente úmido
Pacoti	Tropical Subquente Úmido e Tropical Quente Úmido

Fonte: Perfil Básico Municipal - Ipece (2012)

### **3.1.2 Precipitações**

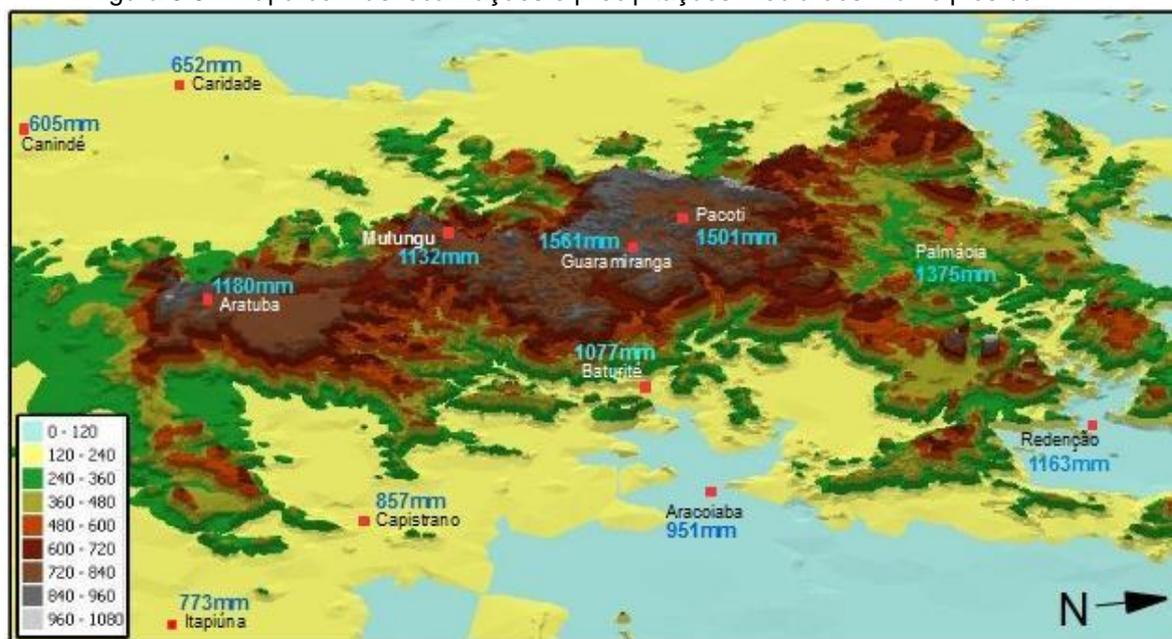
Levando-se em conta o ciclo hidrológico em suas várias fases, pode-se considerar a precipitação como a fonte de alimentação dos mananciais. Assim sendo, a precipitação média anual sobre determinada região corresponderia ao recurso hídrico renovável máximo de que se poderia dispor.

Refletindo a ação conjugada dos sistemas de circulação e dos fatores geográficos, o estado do Ceará apresenta regime pluviométrico do tipo tropical, caracterizando-se pela marcante irregularidade das chuvas no tempo e no espaço. No tempo, pela concentração de chuvas num curto tempo, determinando a ocorrência de dois períodos distintos: um chuvoso e outro seco ou de estiagem. E no espaço, não apenas pela irregular distribuição das chuvas de um ano para o outro em áreas diferentes, mas, sobretudo, num mesmo ano e numa mesma área.

A distribuição temporal-espacial das chuvas na APA de Baturité, conforme dados contidos na tabela a seguir, evidencia a nitidez dessas duas estações: chuvosa (verão-outono) e seca (inverno-primavera). A partir do mês de dezembro inicia-se o período chuvoso na região e por volta da segunda quinzena de fevereiro é possível observar uma consolidação dos dados pluviométricos. As maiores precipitações, por sua vez, ocorrem geralmente entre os meses de fevereiro a maio e o período mais seco a partir do mês de setembro indo até o mês de novembro, conforme mostra a Figura 3.3 a seguir. De acordo com a FUNCEME, entre os anos de 1974 e 2013, a precipitação média anual na APA de Baturité foi da ordem de

1.368,85 mm. O período de maior precipitação ocorre entre os meses de março a maio, representando um índice de 48,5%.

Figura 3.3 - Mapa com as localizações e precipitações média dos municípios da APA.



Fonte: Freitas, 2011

A Tabela 3.1 traz os dados de precipitação média anual, segundo a FUNCEME, para os municípios estudados da APA. Os municípios que estão inseridos dentro da APA possuem os mais elevados índices pluviométricos do Estado comparados a outros municípios

Tabela 3.1 - Precipitação (mm) média anual dos municípios estudados.

	Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
Média anual (mm):	1180	1561	1132	1501

Fonte: FUNCEME, 2013

### 3.1.3 Temperatura

A Temperatura é um fator básico de monitoramento, facilmente tomada com instrumentos simples de medição. Em virtude da baixa latitude e conseqüente proximidade com a linha do equador, o território cearense apresenta regime térmico bastante uniforme, constituindo-se numa característica térmica típica das regiões equatoriais. O regime térmico do Estado do Ceará caracteriza-se por temperaturas

elevadas e baixas amplitudes térmicas anuais (5°C), modificados por fatores geográficos de topografia, altitude, proximidade do mar e dinâmica atmosférica.

As variações térmicas provocadas pelas diferentes combinações desses fatores possibilitam a identificação e delimitação de diferentes características térmicas. A APA de Baturité, encontra-se sob influência direta da altitude e do relevo, concentrando as mais baixas temperaturas médias anuais do estado, situadas entre 22° e 26°C. A Tabela 3.2 mostra os valores de temperatura para os Municípios da APA de Baturité.

Tabela 3.2 - Dados de temperatura dos municípios da área em estudo.

	<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
Máxima anual:	26°	26°	24°	26°
Média anual:	25°	25°	23°	25°
Mínima anual:	24°	24°	22°	24°

Fonte: Perfil Básico Municipal - Ipece (2012)

### **3.1.4 Evaporação**

Grande parte dessa água precipitada é consumida no processo de evapotranspiração restando, pois, uma fração relativamente pequena para compor o escoamento superficial direto, a infiltração e, em seguida, o escoamento subterrâneo. As taxas de evaporação no Ceará são tão altas que, enquanto chovem 800 mm/ano a evaporação chega a 2.100mm anual.

Na APA de Baturité as taxas de evaporação nem são tão elevadas, como no sertão semiárido, nem são tão baixas, mesmo estando numa localidade serrana, devendo, portanto atingir uma média entre os dois. Os dados da FUNCEME apontam para uma evaporação anual de 562 mm/ano coletado no Tanque Classe A localizado no Município de Guaramiranga o que vem a ser uma taxa muito inferior à precipitação, conforme mostra o Quadro 3.2. Os valores apresentados, ao serem comparados diretamente com a precipitação, indicam um superávit mensurável, apresentado na ordem de 1.019,5 mm anuais.

Quadro 3.2 - Evaporação (Tanque Classe A, Guaramiranga): Média anual: 562 mm/ano.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
51	35	25	25	26	29	40	58	67	70	70	66

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010

### 3.1.5 Relevô

A geomorfologia regional exhibe forma de relevô de serras, com características comuns a litologias cristalinas. Especificamente tem-se a unidade geomorfológica de planaltos residuais da região nordestina conhecida como maciço de Baturité.

A constituição litológica da Serra de Baturité representa o fator básico de explicação de sua expressão topográfica, com níveis altimétricos superiores a 600 metros. Em algumas partes pode-se atingir cotas acima de mil metros como no Pico Alto (1.114 metros). Trata-se de um maciço residual derivado da ação seletiva da erosão diferencial. A topografia exhibe feições dissecadas em colinas, lombas, cristas e interflúvios tabulares de diferentes dimensões.

Sob o aspecto das feições geomorfológicas, todo esse conjunto de fatores determinantes tem de ser considerado, embora se ressaltando o significado da morfodinâmica atual. Trata-se de um enclave de floresta serrana inserido no domínio morfoclimático semiárido. Como tal, a área é submetida aos processos engendrados por climas úmidos. Assim, pode-se setorizar o relevô da APA da Serra de Baturité identificando as seguintes feições geomórficas, conforme mostra a seguir:

- Platô úmido: Correspondem à superfície cimeira regional – feições dissecadas em colinas e interflúvios tabulares estreitos separados por vales em V e, eventualmente, com fundos planos (alvéolos);
- Vertente oriental: níveis dissecados em colinas e lombas alongadas com largura dos interflúvios de até 500m, separados por vales em V e com intensificação dos processos morfodinâmicos por ação antrópica;

- Vertente meridional: formas erosivas dissecadas em cristas estreitas que apresentam controle estrutural, associadas a colinas que se intercalam com vales em V e alvéolos de fundos planos;
- Vertente ocidental: níveis suspensos de pedimentação dissecados em colinas rasas e estreitas, separadas por vales pedimentados;
- Vertente setentrional: níveis suspensos de pedimentação moderadamente dissecados em lombas, cristas e colinas intercaladas por vales pedimentados.

Assim o maciço de Baturité pode ser compreendido como um planalto residual, circundado pela superfície sertaneja e recortado pelo domínio fluvial. Nesse conjunto se observam, dentre outros: escarpas, frentes de erosão e depósitos de talus. O Quadro 3.3 descreve sucintamente o relevo para cada município.

Quadro 3.3 - Descrição do Relevo dos Municípios da Área de Estudo.

Município	Descrição do Relevo
Aratuba	O relevo local é acidentado, com feições de cristas e colinas, correspondendo ao compartimento geomorfológico dos maciços residuais; as altitudes variam dos 500 aos 900 m. O substrato geológico local é constituído por gnaisses e migmatitos do Pré-Cambriano indiviso.
Guaramiranga	A paisagem local tem formas em cristas e colinas, por se tratar de um maciço residual dissecado. As altitudes são variáveis entre 500 e 900 metros. O município de Guaramiranga apresenta um quadro geológico simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por gnaisses e migmatitos. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.
Mulungu	O relevo é de cristas e colinas de maciços residuais, típico das serras cristalinas com altitude variando entre 500 e 900 metros. O município de Mulungu apresenta um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por gnaisses e migmatitos diversos. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.
Pacoti	A paisagem é montanhosa, mostrando cristas e colinas de um maciço residual (Serra de Baturité), com altitudes entre 200 e 700 metros. O município de Pacoti apresenta um quadro geológico simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por gnaisses e migmatitos. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.

Fonte: Perfil Básico Municipal - Ipece (2012)

### 3.1.6 Solos

O solo pode ser definido como produto direto da alteração das rochas, sendo localizado imediatamente sobre estas, ou transportado e depositado em outros locais, individualmente ou misturado com outros materiais. Tecnicamente, o solo é a superfície inconsolidada que recobre as rochas, sendo composto de elementos minerais e orgânicos.

As classes de solos são constituídas por grupo de solos que apresentam uma variação definida em determinadas propriedades e que se distinguem de quaisquer outras classes por diferenças nessas propriedades. A classe taxonômica é formada, considerando-se muitas propriedades simultaneamente. O Quadro 3.4 descreve os tipos de solos encontrados nos municípios da área de estudo.

Quadro 3.4 - Classificação do solo dos municípios em estudo.

<b>Município</b>	<b>Tipos de Solos</b>
Aratuba	Podzólico Vermelho Amarelo e Planossolo Solódico
Guaramiranga	Podzólico Vermelho Amarelo
Mulungu	Podzólico Vermelho Amarelo
Pacoti	Podzólico Vermelho Amarelo

Fonte: Perfil Básico Municipal - Ipece (2012)

### 3.1.7 Recursos Hídricos

A Serra de Baturité, quanto aos recursos hídricos, representa o mais importante dispensor de drenagem do setor norte ocidental do Ceará. Três sistemas fluviais têm suas nascentes na área serrana, sendo o mais importante o formado pelo rio Pacoti que tem sua nascente na área do platô úmido, drenando as vertentes oriental e setentrional, além dos sertões e pés-de-serra subúmidos.

Na vertente oriental úmida, a superfície é drenada pelo subsistema do rio Aracoiaba, integrante da bacia do rio Choró. Nas vertentes ocidentais a drenagem integra – através dos riachos Seriema e Bom Jardim – a sub-bacia do rio Canindé, que compõe o sistema da bacia do rio Curu.

A hidrologia de superfície, no que diz respeito ao escoamento fluvial, depende da influência conjugada de fatores variados, nos quais se incluem: as condições climáticas, a natureza dos terrenos, os condicionamentos geomorfológicos e os aspectos da cobertura vegetal.

Os municípios da região do estudo (Guaramiranga, Pacoti, Aratuba e Mulungu) estão inseridos na região administrativa hidrográfica da bacia Metropolitana de Fortaleza e Bacia do Curu e juntos recobrem aproximadamente 91% da área de estudo conforme mostram a Figura 3.4 e a Tabela 3.3.

Figura 3.4 - Municípios da região do estudo inserido na bacia do Curu e Metropolitana.



Fonte: Atlas da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (2011)

Tabela 3.3 - Representação dos municípios do estudo na bacia do Curu e Metropolitana.

MUNICÍPIO	BACIA			
	METROPOLITANA		CURU	
	%	KM <sup>2</sup>	%	KM <sup>2</sup>
ARATUBA	83,40	118,88	16,60	23,66
GUARAMIRANGA	82,24	48,85	17,76	10,55
PACOTI	100,00	111,95	0,00	0,00
MULUNGU	65,04	87,54	34,96	47,05

Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico (2011).

### 3.1.7.1 Oferta e Demanda Hídrica

No Ceará, há um descompasso entre oferta e demanda de água, agravado pela má utilização de alguns setores, com alto desperdício. É importante considerar que o equacionamento do problema relativo ao desequilíbrio entre demanda e oferta de água tem passado, invariavelmente, pelo aumento do suprimento de água através da exploração de novos recursos, em ações relacionadas à Gestão da Oferta.

Atualmente, a capacidade de regularização plurianual em algumas bacias hidrográficas cearenses encontra-se próxima de seu limite máximo onde podemos destacar as Bacias Metropolitanas e Curu.

Este fato, associado à variabilidade espacial dos regimes de chuva e vazão, conduz à necessidade de ampliação das infraestruturas de oferta e também por meio de transferência hídrica entre diferentes regiões do território, principalmente através de adutoras e canais.

A Tabela 3.4 fornece dados de vazão específica, coeficiente de escoamento superficial e vazão média histórica para os municípios da região do estudo.

Tabela 3.4 - Vazão Específica e Coeficiente de Escoamento Superficial

	<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
<b>Vazão média histórica (l/s)</b>	729,32	443,94	2124,56	63,42
<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	143	59	135	112
<b>Vazão Específica (vazão média/área - l/s. km<sup>2</sup>)</b>	5,10	7,52	15,74	0,57
<b>Coeficiente de Escoamento Superficial (Vol. escoado/Vol. precipitado)</b>	0,17	0,15	0,69	0,01

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

De acordo com as tabelas se percebe que o município de Mulungu possui a menor demanda hídrica e o maior volume escoado. Os demais municípios possuem baixo volume escoado, dificultando ainda mais a reserva hídrica dos municípios.

A Tabela 3.5 fornece dados de oferta e demanda hídrica, déficit hídrico e índice de disponibilidade para os municípios da região do estudo.

Tabela 3.5 - Oferta hídrica dos Municípios da área de estudo.

	<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
<b>Oferta Hídrica</b>	0,003 m <sup>3</sup> /s	0,005m <sup>3</sup> /s	0,009 m <sup>3</sup> /s	0,010m <sup>3</sup> /s
<b>Deflúvio médio anual</b>	116 mm	238 mm	238 mm	208 mm
<b>Demanda Hídrica</b>	0,004m <sup>3</sup> /s	0,002m <sup>3</sup> /s	0,007 m <sup>3</sup> /s	0,005m <sup>3</sup> /s
<b>Déficit hídrico</b>	0,001m <sup>3</sup> /s	0,314m <sup>3</sup> /s	0,315m <sup>3</sup> /s	0,315m <sup>3</sup> /s
<b>Índice de Utilização de Disponibilidade – IUD (demanda/oferta – Qd/Qo)</b>	1,33	0,4	0,78	0,5
<b>Volume Escoado Médio Anual:</b>	23 hm <sup>3</sup>	14 hm <sup>3</sup>	67 hm <sup>3</sup>	2 hm <sup>3</sup>

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

O Ceará, em função de sua escassez hídrica, caracteriza-se pela distribuição irregular das chuvas no espaço e no tempo. Desta forma, grande parte dos impactos socioeconômicos incidem diretamente em áreas como as margens dos rios, açudes, lagoas e nascentes, onde ocorre maior disponibilidade de água durante o ano, propiciando o desenvolvimento de várias atividades econômicas e acarretando uma elevada demanda dos recursos hídricos.

Para a região da APA do Maciço de Baturité a realidade não poderia ser diferente. Da Tabela 3.6 a Tabela 3.10, é apresentado as demandas para o consumo humano urbano e rural, bovino, animal e a consolidação das demandas hídricas total por município da região estudada com projeção para o ano de 2020.

Tabela 3.6 - Demanda Hídrica para Consumo Urbano dos Municípios.

Município	População	Demanda Hídrica Urbana (l/s)		
		Ano	1996	2000
Aratuba	1.836	3,5	4,3	5,9
Guaramiranga	1.654	2,9	2,6	2,6
Mulungu	3.618	6,9	6,8	7,0
Pacoti	2.859	5,5	5,5	6,3
<b>Demanda Total</b>	<b>9.967</b>	<b>18,8</b>	<b>19,2</b>	<b>21,8</b>

Fonte: Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

Tabela 3.7 - Demanda Hídrica para Consumo Humano Rural.

Município	Demanda Hídrica Urbana (l/s)		
	2000	2010	2020
Aratuba	6,4	6,9	7,0
Guaramiranga	3,1	3,2	3,2
Mulungu	3,9	3,8	3,8
Pacoti	9,7	11,7	12,3
<b>Demanda Total</b>	<b>23,1</b>	<b>25,6</b>	<b>26,3</b>

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

Tabela 3.8 - Valores de BEDA (Bovino Equivalente p/ Demanda D'água) por Município.

Município	BEDA			
	1995	2000	2010	2020
Aratuba	735	832	1.065	1.363
Guaramiranga	268	303	388	497
Mulungu	999	1.130	1.446	1.851
Pacoti	1.862	2.106	2.696	3.451
<b>Total</b>	<b>3.864</b>	<b>4.371</b>	<b>5.595</b>	<b>7.162</b>

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

Tabela 3.9 - Demanda Animal por Município.

Município	Demanda (l/s)			
	1995	2000	2010	2020
Aratuba	0,43	0,48	0,62	0,79
Baturité	4,77	5,40	6,91	8,85
Guaramiranga	0,16	0,18	0,22	0,29
Mulungu	0,58	0,65	0,84	1,07
Pacoti	1,08	1,22	1,56	2,00
<b>Total</b>	<b>2,25</b>	<b>2,53</b>	<b>3,24</b>	<b>4,15</b>

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010.

Tabela 3.10 - Consolidação das Demandas Hídricas dos Municípios.

MUNICÍPIO	2000					2010					2020				
	DHUC	DHR	DI	DA	Total	DHUC	DHR	DI	DA	Total	DHUC	DHR	DI	DA	Total
Aratuba	3,5	6,36	0,0	0,48	11,35	4,30	6,86	0,0	0,62	11,78	5,90	6,97	0,00	0,79	13,66
Guaramiranga	2,9	3,09	0,0	0,18	6,17	2,60	3,20	0,0	0,22	6,02	2,60	3,21	0,00	0,29	6,10
Mulungu	6,9	3,85	0,0	0,65	12,41	6,80	3,81	0,0	0,84	11,45	7,00	3,76	0,00	1,07	11,83
Pacoti	5,5	9,68	0,0	1,22	16,41	5,50	11,70	0,0	1,56	18,76	6,20	12,30	0,00	2,00	20,50

Fonte: CPRM, 2011.

### 3.1.7.2 Águas Subterrâneas

As características das águas subterrâneas (volume e qualidade) refletem o comportamento integrado dos fatores ambientais, interferentes na trajetória da água através do seu ciclo hidrológico, destacando-se entre estes fatores a litologia, a estratigrafia, o solo, a vegetação, a taxa de infiltração, a taxa de escoamento superficial, a pluviometria e o excedente hídrico.

As rochas cristalinas predominam totalmente no maciço de Baturité e representam o que é denominado comumente de “aquífero fissural”. Essas condições atribuem um potencial hidro geológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

Outra forma de armazenamento subterrâneo das águas é em depósitos aluvionares que são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região. Este tipo de aquífero livre apresenta, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidro geológico. A Tabela 3.11 ilustra as disponibilidades hídricas subterrâneas urbanas por Município na região estudada.

Tabela 3.11 - Disponibilidades Subterrâneas Urbanas nos Municípios da Região estudada..

<b>Município</b>	<b>Disponibilidade Subterrânea Urbana (l/s)</b>
Aratuba	2,78
Guaramiranga	5,00
Mulungu	9,37
Pacoti	10,00

Fonte: CPRM, 2011

### 3.1.7.3 Balanço Hídrico

No platô e na vertente oriental úmida da APA de Baturité constata-se que o balanço hídrico tem suas médias térmicas relativamente mais baixas do que nos demais setores. Além disso, eles são beneficiados por um período chuvoso de maior duração, que se estende de janeiro a junho. Por consequência, maiores teores de umidade são assegurados durante uma parte significativa do ano. Nos municípios de Guaramiranga, Pacoti, Mulungu e Aratuba, por exemplo, as deficiências hídricas só tendem a um acréscimo a partir de setembro.

Em ternos anuais, as deficiências variam de 101 mm em Guaramiranga para 257 mm em Mulungu. Nas demais localidades, as deficiências hídricas ficam próximas de 150 mm. O excedente hídrico anual é sempre superior a 600 mm. As máximas correspondem aos extremos de precipitações, especialmente no trimestre março-abril-maio, em que atinge valores superiores a 200 mm. A Tabela 3.13 mostra o balanço hídrico e projeção dos balanços hídricos para os municípios da área de estudo.

A partir do balanço hídrico é possível se estimar vários índices como o Índice de Umidade, o Índice de Aridez e o Índice Hídrico. Para o presente trabalho utilizaremos apenas o Índice de Aridez. O índice de aridez corresponde a deficiência percentual da evapotranspiração potencial. A Tabela 3.12 apresenta o índice de Aridez Médio para cada município.

Tabela 3.12 - Índice de Aridez Médio para cada Município.

<b>Índice de Aridez</b>	<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
<i>IA</i>	<i>90,40</i>	<i>92,93</i>	<i>56,57</i>	<i>77,27</i>

Fonte: Plano estratégico de recursos hídricos do Ceará, 2010

Onde:

$IA = 100 \times Pr/Eto$  ; Onde,

Pr = precipitação;

Eto = evapotranspiração potencial.

Tabela 3.13 - Projeção de Balanços hídricos.

Município	Oferta Hídrica (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Global			Déficit (m <sup>3</sup> /s)
		Humana (m <sup>3</sup> /s)	Industrial (m <sup>3</sup> /s)	Total (m <sup>3</sup> /s)	
Aratuba	0,003	0,004	0,000	0,004	0,001
Guaramiranga	0,005	0,002	0,000	0,002	-
Mulungu	0,009	0,007	0,000	0,007	-
Pacoti	0,010	0,005	0,000	0,005	-
Município	Oferta Hídrica (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Global			Déficit (m <sup>3</sup> /s)
		Humana (m <sup>3</sup> /s)	Industrial (m <sup>3</sup> /s)	Total (m <sup>3</sup> /s)	
Aratuba	0,003	0,004	0,000	0,004	0,002
Guaramiranga	0,005	0,001	0,000	0,001	-
Mulungu	0,009	0,007	0,000	0,007	-
Pacoti	0,010	0,005	0,000	0,005	-
Município	Oferta Hídrica (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Global			Déficit (m <sup>3</sup> /s)
		Humana (m <sup>3</sup> /s)	Industrial (m <sup>3</sup> /s)	Total (m <sup>3</sup> /s)	
Aratuba	0,003	0,006	0,000	0,006	0,003
Guaramiranga	0,005	0,001	0,000	0,001	-
Mulungu	0,009	0,007	0,000	0,007	-
Pacoti	0,010	0,005	0,000	0,005	-

Fonte: Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH

### 3.2 Meio Biótico

A APA de Baturité apresenta como biomas as áreas remanescentes da Mata Atlântica, a Floresta Tropical Úmida e a Caatinga. Os padrões de cobertura vegetal existentes na APA de Baturité, a partir da cota 600 m de altitude, conjugadas com a orientação da Serra de Baturité e o direcionamento de ventos provenientes do mar, constituem-se nos principais condicionantes da diversidade fisionômica e taxonômica dos padrões florestais existentes na região. Além destes fatores associam-se também feições de relevo, tipos de solo e condições hidro climáticas.

### 3.2.1 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal do Território Maciço de Baturité apresenta variações que incluem desde formações florestais plúvio-nebulares às formações arbustivas semicaducifólias, campos de altitude e vegetação de rochedos. A Mata Úmida no Maciço começa a se desenvolver a partir da cota altimétrica de 600m a barlavento e após 800m a sota-vento.

A floresta úmida perenifólia, higrófila ou driádica está incluída no tipo pluvial de altitude. Nos níveis mais elevados, superiores a 800m, aparecem o que se denomina de vegetação “plúvio-nebular”, em função de encontrar-se permanentemente envolta em nevoeiro ou nuvens baixas que provocam constantes chuvas finas. O Quadro 3.5 apresenta os tipos de cobertura vegetal predominante na área do estudo

Quadro 3.5 - Cobertura vegetal da área de estudo.

<b>Município</b>	<b>Cobertura Vegetal</b>
<b>Aratuba</b>	Caatinga Arbustiva Densa; Caatinga Arbustiva Aberta; Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial; Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio- Nebular.
<b>Guaramiranga</b>	Caatinga arbustiva densa na área correspondente à Depressão Sertaneja; Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial; Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular nas encostas e na serra.
<b>Mulungu</b>	Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio- Nebular Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial
<b>Pacoti</b>	Caatinga Arbustiva Densa Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio- Nebular

Fonte: Ipece (2012)

Nos municípios localizados na área de estudo da APA, Guaramiranga, Pacoti, Mulungu e Aratuba, em função de sua localização, sofreu menor ação antrópica ou humana que em outras áreas do maciço de Baturité e possui uma cobertura vegetal diferencial devido as suas condições climáticas O Quadro 3.6 mostra as tipologias vegetais do Maciço de Baturité e Atividades agrícolas do Maciço de Baturité

Quadro 3.6 - Atividades agrícolas do Maciço de Baturité.

CLASSES TEMÁTICAS	DESCRIÇÃO
<b>ATIVIDADES AGRÍCOLAS</b>	
<b>Agroextrativismo</b>	Extrativismo combinado com a agricultura e outras atividades, restrito à produção familiar ou comunitária dentro ou fora de unidades de conservação de uso sustentável.
<b>Agropecuária</b>	Geralmente localizam-se em regiões com vegetação herbáceo/arbustiva ou capoeiras para pastagem de rebanhos bovinos, provenientes do sertão, aliado às atividades agrícolas com culturas de ciclo curto.
<b>Olericultura</b>	Segmento agrícola que reúne o cultivo de legumes, favorecido pelo clima propício e água estrategicamente distribuída nas áreas de plantio. Ocupam os vales dos rios e as planícies alveolares.
<b>Fruticultura</b>	Cultivo de árvores frutíferas como banana, manga, abacate, cítricos e outras espécies. Ocupam tanto os vales como as encostas.
<b>Policultura/Olericultura/ Fruticultura</b>	Sistemas de cultivos múltiplos com culturas anuais, fruteiras e culturas de subsistência. Nesta classe temática inclui-se a cana de açúcar (cultivo semiperene), localizando-se em vales, encostas e planícies alveolares.
<b>Floricultura</b>	Cultivos de flores, mais comumente em estufas climatizadas, localizando-se em áreas de clima propício e com água suficiente para suprir o sistema de irrigação.
<b>Reflorestamento/Pousio</b>	Plantio de árvores com espécies nativas, em áreas utilizadas pelo extrativismo ou cultivo e/ou áreas deixadas ao abandono vindo a ser recolonizado pelo processo de sucessão secundária.

Fonte: Ipece (2012)

### 3.2.2 *Uso e ocupação do solo*

A paisagem atual da APA de Baturité apresenta-se bastante modificada pela atividade agrícola, turismo, dentre outras que transformam a fisionomia original da vegetação, favorecendo o estabelecimento da capoeira em detrimento da vegetação primária. As matas ciliares, localizadas ao longo dos cursos d'água, encontram-se totalmente descaracterizadas, apresentando poucas espécies remanescentes da mata original. A atividade antrópica exerce influência direta na sua relação com a natureza da Serra de Baturité, como: extrativismo vegetal e mineral, pecuária, produção agrícola conforme mostra a Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Classes de uso de solos mapeadas para os municípios.

Classes mapeadas	Área dos municípios inserida na APA de Baturité (ha)				Total por Classe (ha)
	Aratuba	Mulungu	Guaramiranga	Pacoti	
Água	4,82	8,17	21,08	5,82	39,89
Povoado	15,34	5,86	8,55	6,13	45,90
Sede Distrito	0,00			4,90	5,03
Sede Municipal	21,97	47,56	27,09	28,31	124,94
Campo de Pouso			2,06		2,06
Condomínio					3,74
<b>Subtotal</b>	<b>42,13</b>	<b>61,60</b>	<b>58,79</b>	<b>45,15</b>	<b>223,38</b>
<b>ÁREAS COM CONCENTRAÇÃO DE USO AGRÍCOLA</b>					
Agro extrativismo	154,58	493,54	167,69	575,70	1464,56
Agropecuária	210,65	121,03	0,00		331,79
Fruticultura	949,73	698,16	465,91	686,38	3848,58
Olericultura	205,47	172,31	233,56	70,39	682,59
Policultura/Olericultura	1342,06	1645,55	461,71	683,47	4176,04
Floricultura			1,71		1,71
<b>Total de áreas com uso agrícola</b>	<b>2862,49</b>	<b>3130,58</b>	<b>1330,56</b>	<b>2015,93</b>	<b>10505,26</b>
<b>ÁREAS FLORESTADAS FLORESTA PERENIFÓLIA/SUBPERENIFÓLIA</b>					
Conservada	96,37	983,89	1028,03	282,93	2394,11
Parcialmente degradada	1879,87	3740,64	2554,35	1883,06	10445,33
Degradada	1477,54	1841,95	649,65	1756,46	6440,41
<b>Subtotal</b>	<b>3453,78</b>	<b>6566,47</b>	<b>4232,03</b>	<b>3922,44</b>	<b>19279,85</b>
<b>Floresta Subcaducifolia</b>					
Conservada	103,88			19,46	502,32
Parcialmente degradada	114,96	312,08	49,57	49,23	581,95
Degradada	274,08	744,36	144,49	253,68	1468,77
<b>Subtotal</b>	<b>492,91</b>	<b>1056,44</b>	<b>194,06</b>	<b>322,37</b>	<b>2553,04</b>
Cobertura Herbácea/Arbustiva				14,42	102,91
Cobertura Florestal degradada					3,23
Reflorestamento/pousio				22,32	22,32
<b>Subtotal</b>				<b>36,74</b>	<b>128,46</b>
<b>Total de áreas florestadas</b>	<b>3946,70</b>	<b>7622,91</b>	<b>4426,09</b>	<b>4281,55</b>	<b>21961,36</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>6851,32</b>	<b>10815,09</b>	<b>5815,44</b>	<b>6342,64</b>	<b>32690,00</b>

Fonte: Funceme (2006)

Todas estas atividades se revestem de custo e benefício que se refletem na alteração da paisagem natural e nas condições fito ecológicas. Como resultado da modificação dos fatores de ordem abiótica e biótica, verifica-se desde padrões da cobertura vegetal em equilíbrio (florestas primitivas) ao tipo em desequilíbrio (florestas modificadas por atividades agroextrativistas) e cobertura vegetal degradada.

A cobertura florestal da APA, com base no seu estado de equilíbrio ou desequilíbrio, recebeu as seguintes denominações: Floresta Conservada, Floresta Parcialmente Degradada, Floresta Degradada conforme mencionado anteriormente. A Tabela 3.15, Tabela 3.16 e a Figura 3.5 ilustram as taxas de ocupação por municípios. Na Tabela 3.17 podemos identificar o percentual de área florestada por classe e por município e de uso agrícola por município.

Tabela 3.15 - Uso e ocupação dos solos por áreas ocupadas.

<b>Uso e ocupação do solo por áreas ocupadas</b>					
<b>Classes</b>	<b>Aratuba</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Pacoti</b>	<b>Total /classe</b>
Áreas urbanas	42,13	61,1	58,79	45,15	207,17
Uso agrícola	2.862,59	3.130,58	1.330,56	2.015,93	6.477,07
Áreas florestadas	3.946,70	7.622,91	4.426,09	4.281,55	20.277,25
Total	6.851,42	10.814,59	5.815,44	6.342,63	

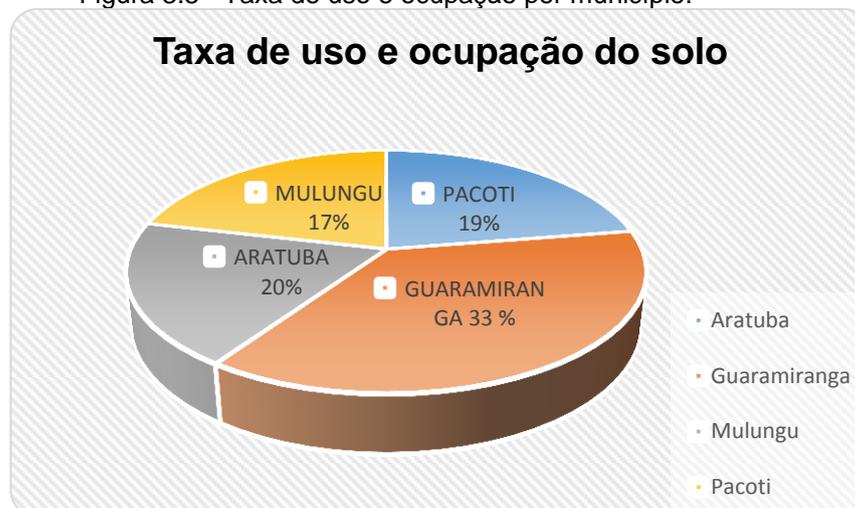
Fonte: FUNCEME (2006)

Tabela 3.16 - Taxa de ocupação por município.

<b>Município</b>	<b>Taxa de Uso e Ocupação</b>
Aratuba	20%
Guaramiranga	33%
Mulungu	17%
Pacoti	19%

Fonte: FUNCEME, 2006

Figura 3.5 - Taxa de uso e ocupação por município.



Fonte: FUNCEME, 2006

Tabela 3.17 - Percentual das áreas com concentração de uso agrícola na APA da Serra de Baturité – CE.

Município	A	B
Aratuba	8,76 %	27,25 %
Guaramiranga	4,07 %	12,67 %
Mulungu	9,58 %	29,80 %
Pacoti	6,17 %	19,19 %
<b>Percentual total</b>	<b>28,58</b>	<b>88,91</b>

Fonte: IBGE, 2010

A = % das áreas em relação a área total da APA (32.690ha)

B = % das áreas em relação a área de cada município incluída na curva de nível de 600

### 3.3 Meio Socioeconômico

No decorrer da década de 1990, o Governo do Ceará implantou na então recém-criada APA da Serra de Baturité, diversas ações visando resguardar e manter o equilíbrio no ambiente natural da serra de Baturité. Dentre estas ações, destacaram-se o programa de conservação e recuperação ambiental e a implantação e operacionalização do escritório da APA da Serra de Baturité visando, principalmente, proporcionar melhorias na qualidade de vida da população local.

### 3.3.1 Economia

No que se refere aos aspectos econômicos verificou-se que o setor de serviços representa atualmente a parcela mais significativa da economia dos municípios inseridos na área de estudo, encontrando-se associado a receitas oriundas de instituições públicas, ao comércio e à expansão do turismo. O PIB per capita e o PIB por setor estão apresentados na Tabela 3.18.

Pode-se constatar que a agropecuária é a segunda atividade econômica mais importante no contexto da APA da Serra de Baturité, sendo este o setor que apresentou o maior crescimento. Com relação ao dos serviços também houve um crescimento, no entanto, no setor da indústria foi identificado um decréscimo.

Para aferir o nível de desenvolvimento humano de municípios inseridos na região do estudo forma utilizados critérios do IDH (educação, longevidade e renda) calculado para países, no entanto alguns dos indicadores usados são diferentes.

Tabela 3.18 - PIB e PIB por setor – (2000/2009).

Município	Discriminação	Indicadores	
		2005	2010
Aratuba	Per Capita (R\$ 1,00)	1.674	4.029
	Por setor - Agropecuária (%)	23,47	30,99
	Por setor - Indústria (%)	11,48	7,98
	Por setor - Serviços (%)	65,05	61,03
Guaramiranga	Per Capita (R\$ 1,00)	3.812	6.345
	Por setor - Agropecuária (%)	28,65	24,03
	Por setor - Indústria (%)	17,40	14,22
	Por setor - Serviços (%)	53,95	61,75
Mulungu	Per Capita (R\$ 1,00)	3.016	3.927
	Por setor - Agropecuária (%)	40,94	23,80
	Por setor - Indústria (%)	7,60	7,43
	Por setor - Serviços (%)	51,46	63,73
Pacoti	Per Capita (R\$ 1,00)	3.129	4.169
	Por setor - Agropecuária (%)	30,83	23,35
	Por setor - Indústria (%)	10,62	9,52
	Por setor - Serviços (%)	58,55	67,13

Fonte: IPECE/IBGE – (2000/2009)

Embora meçam os mesmos fenômenos, os indicadores levados em conta foram o IDH municipal (IDH-M, Tabela 3.19) uma vez que são mais adequados para avaliar as condições de núcleos sociais menores.

Tabela 3.19 - Índices de Desenvolvimento.

Município	Discriminação	Indicadores	
		2005	2011
Aratuba	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,622	0,633
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Longevidade	0,643	0,775
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) – Renda	0,46	0,530
Guaramiranga	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,654	0,637
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Renda	0,501	0,576
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Longevidade	0,732	0,736
Mulungu	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,306	0,534
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Longevidade	0, 725	0,759
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Renda	0,500	0,551
Pacoti	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,484	0,635
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) - Longevidade	0,480	0,571
	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) – Renda	0, 732	0,773

Fonte: IPECE/PNUD – 2012

Para a avaliação da dimensão “longevidade”, o IDH municipal considera o mesmo indicador do IDH de países: a esperança de vida ao nascer. Esse indicador mostra o número médio de anos que uma pessoa nascida naquela localidade no ano de referência deve viver.

O indicador de longevidade sintetiza as condições de saúde e salubridade daquele local, uma vez que quanto mais mortes houver nas faixas etárias mais precoces, menor será a expectativa de vida observada no local.

Para a avaliação da dimensão “renda”, o critério usado é a renda municipal per capita, ou seja, a renda média de cada residente no município. Para se chegar a esse valor soma-se a renda de todos os residentes e divide-se o resultado pelo número de pessoas que moram no município (inclusive crianças ou pessoas com renda igual a zero).

No caso brasileiro, o cálculo da renda municipal per capita é feito a partir das respostas ao questionário expandido do Censo – um questionário mais detalhado do que o universal e que é aplicado a uma amostra dos domicílios visitados pelos recenseadores.

Os dados colhidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através dessa amostra do Censo, são expandidos para o total da população municipal e, então, usados para o cálculo da dimensão renda do IDH-M (dados dispostos na Tabela 3.19).

### **3.3.2 Aspectos Demográficos e Sociais**

No que diz respeito aos aspectos demográficos foi feito um levantamento da evolução da população urbana e rural residente assim como alguns indicadores referentes à densidade demográfica, taxas de crescimento e níveis de urbanização nos municípios da região estudada conforme mostra a Tabela 3.20 e Tabela 3.21.

Tabela 3.20 - Evolução da População Residente.

Município	População Residente	Décadas					
		1991		2000		2010	
		N.	%	N.	%	N.	%
Aratuba	Total	10.578	100	12.359	100	11.529	100
	Urbana	1.510	14,27	2.157	17,45	3.769	32,69
	Rural	9.068	85,73	10.202	82,55	7.760	67,31
Guaramiranga	Total	5.293	100	5.714	100	4.164	100
	Urbana	1.572	29,70	2.330	40,78	2.495	59,92
	Rural	3.721	70,30	3.384	59,22	1.669	40,08
Mulungu	Total	7.842	100,00	8.897	100,00	11.485	100,00
	Urbana	3.023	38,55	3.715	41,76	4.198	36,55
	Rural	4.819	61,45	5.142	58,24	7.287	63,45
Pacoti	Total	10.100	100,00	10.929	100,00	11.607	100,00
	Urbana	3.179	31,48	3.809	34,85	4.745	40,88
	Rural	6.921	68,52	7.120	65,15	6.862	59,12

Fonte: Ipece, 2012 - IBGE – Censos Demográficos 1991/2000/2010.

Aratuba foi o município que apresentou a maior variação positiva da população urbana, passando de 1.510 habitantes em 1991 para 2.157 habitantes em 2000 e, finalmente, 3.769 habitantes na zona urbana em 2010.

No que se refere à população rural, verificou-se que o Município de Guaramiranga foi o que apresentou a maior redução, passando de 3.721 habitantes em 1991 para 1.669 habitantes rurais em 2010, representando um decréscimo de aproximadamente de 48,4%.

Além da dificuldade de sobrevivência com as atividades agrícolas, outro fator que nas últimas décadas influenciou de forma direta esse processo de ocupação e urbanização, encontra-se relacionado ao desenvolvimento local das atividades turísticas e ao crescente número de residências secundárias.

Tabela 3.21 - Indicadores Demográficos.

Município	Discriminação	Indicador		
		1991	2000	2010
Aratuba	Densidade Demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	55,72	53,35	41,2
	Taxa geométrica de Crescimento Anual Total	-0,24	0,85	-
	Urbana (%)	7,65	4,47	0,69
	Rural (%)	-2,16	-1,05	-6,82
	Taxa de Urbanização (%)	29,70	40,78	59,9
Guaramiranga	Densidade Demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	5.293	5.714	4.16
	Taxa geométrica de Crescimento Anual Total	-0,24	0,85	-3,11
	Urbana (%)	7,65	4,47	0,69
	Rural (%)	-2,10	-1,05	-6,82
	Taxa de Urbanização (%)	29,70	40,78	59,9
Mulungu	Densidade Demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	35,81	86,04	120,
	Taxa geométrica de Crescimento Anual Total	0,52	1,41	2,59
	Urbana (%)	7,75	2,32	1,23
	Rural (%)	-2,08	0,81	3,47
	Taxa de Urbanização (%)	38,55	41,76	36,5
Pacoti	Densidade Demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	84,17	116,1	105,
	Taxa geométrica de Crescimento Anual Total	0,09	0,88	0,60
	Urbana (%)	4,02	2,03	2,22
	Rural (%)	-1,46	0,32	-0,37
	Taxa de Urbanização (%)	31,48	34,85	40,8

Fonte: Ipece, 2012 - IBGE – Censos Demográfico 1991/2000/2010.

### 3.3.3 Educação

Do ponto de vista educação foi realizado um levantamento de informações referentes aos estabelecimentos de escolas de educação básica e de indicadores relacionados com analfabetismo e índices de educação dos municípios. A Tabela 3.22 a seguir ilustra bem os dados de educação e para os municípios da área de estudo.

Tabela 3.22 - Índices de Educação.

Município	Discriminação	Indicador Área de Estudo da APA	
		2005	2011
Aratuba	IDH – Educação	68,52	71,49
	Taxa de Analfabetismo (%)	33,6	25,5
	Taxa de Alfabetização (%)	67,4	74,5
	Bolsa Família (%)	54	62%
Guaramiranga	IDH – Educação	67,23	69,14
	Taxa de analfabetismo (%)	28,2	17,87
	Taxa de Alfabetização (%)	71,8	82,13
	Bolsa Família (%)	41	46,7
Mulungu	IDH – Educação	68,5	70,56
	Taxa de Alfabetização (%)	67,5	77,02
	Taxa de Analfabetismo (%)	32,5	22,98
	Bolsa Família (%)	68	75,44
Pacoti	IDH – Educação	68,9	71,38
	Taxa de alfabetização (%)	69,8	79,64
	Taxa de Analfabetismo (%)	30,2	20,36
	Bolsa Família (%)	62	71,4

Fonte: Pnud, Ipea e FJP - 2012

O sistema educacional na região da APA da Serra de Baturité é formado por escolas públicas e privadas de Ensino Básico, Fundamental e Médio. Quanto às taxas de analfabetismo os registros mostram uma queda para todos os municípios demonstrando avanço no quesito educação.

### 3.3.4 Saúde

Para a saúde os dados levantados tratam de índices relacionados a médicos e leitos hospitalares por habitante assim como taxas de natalidade e mortalidade infantil. O sistema de saúde dos municípios da área de estudo comporta diversas unidades de saúde, a saber: postos e centros de saúde; consultórios médicos/odontológicos; policlínicas, centro de odontologia, unidades móveis e

mistas, bem como de vigilância sanitária, unidades do PSF e outros. A Tabela 3.23 a seguir mostra os principais indicadores na área de saúde.

Tabela 3.23 - Principais Indicadores de Saúde.

Município	Discriminação	Indicadores	
		2005	2011
Aratuba	Médicos/1.000 hab.	0,18	0,52
	Dentistas/1.000 hab.	0,02	0,52
	Leitos/1.000 hab.	2,22	1,05
	Unidades de saúde/1.000 hab.	0,45	0,96
	Nascidos vivos	205	1,67
	Óbitos	7	193
	Taxa de mortalidade infantil/1.000 nascidos vivos	34,15	14,63
Guaramiranga	Médicos/1.000 hab.	2,53	2,22
	Dentistas/1.000 hab.	0,69	0,74
	Leitos/1.000 hab.	1,15	1,23
	Unidades de saúde/1.000 hab.	0,92	1,48
	Nascidos vivos	106	93
	Óbitos	1	3
	Taxa de mortalidade infantil/1.000 nascidos vivos	30,30	10,53
Mulungu	Médicos/1.000 hab.	1,33	1,28
	Dentistas/1.000 hab.	0,44	0,43
	Leitos/1.000 hab.	2,44	0,77
	Unidades de saúde/1.000 hab.	0,55	0,68
	Nascidos vivos	142	119
	Óbitos	3	1
	Taxa de mortalidade infantil/1.000 nascidos vivos	13,16	6,94
Pacoti	Médicos/1.000 hab.	1,08	0,86
	Dentistas/1.000 hab.	0,63	0,60
	Leitos/1.000 hab.	1,80	1,72
	Unidades de saúde/1.000 hab.	1,08	1,03
	Nascidos vivos	171	186
	Óbitos	1	185
	Taxa de mortalidade infantil/1.000 nascidos vivos	5,62	10,81

Fonte: Secretaria da Saúde do Estado do Ceará (SESA).

### 3.3.5 Infraestrutura e Saneamento Básico

No que diz respeito a infraestrutura e saneamento básico foi realizado um levantamento de dados referentes as taxas de cobertura de energia elétrica, coleta de lixo, abastecimento de água, e coleta de esgoto dos municípios da área de estudo. A Tabela 3.24 seguir ilustra bem os dados de infraestrutura e saneamento

básico e para estes municípios e a Tabela 3.25 a disponibilidade de água per capita por município.

Tabela 3.24 - Infraestrutura e Saneamento Básico.

Município	Discriminação	Indicadores	
		2005	2010
Aratuba	Lixo Coletado (%)	20,38	35,06
	Energia Elétrica (%)	91,73	99,35
	Abastecimento de Água (%)	631	98,48
	Esgotamento Sanitário (%)	287	40,14
Guaramiranga	Lixo Coletado (%)	34,55	85,77
	Energia Elétrica (%)	88,65	99,43
	Abastecimento de Água (%)	98,92	98,92
	Esgotamento Sanitário (%)	35,31	36,94
Mulungu	Lixo Coletado (%)	29,77	61,82
	Energia Elétrica (%)	84,79	98,91
	Abastecimento de Água (%)	98,42	98,58
	Esgotamento Sanitário (%)	15,39	16,17
Pacoti	Lixo Coletado (%)	29,45	67,88
	Energia Elétrica (%)	91,18	98,99
	Abastecimento de Água (%)	97,11	97,20
	Esgotamento Sanitário (%)	62,42	62,73

Fonte: Ipece, 2012 - IBGE – Censos Demográfico 1991/2000/2010.

Tabela 3.25 - Disponibilidade de água per capita por município.

	Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
Vazão média histórica	23 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	14 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	67 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
População	12359	5714	8897	10929
Disponibilidade (m <sup>3</sup> /hab)	1860,99	2450,12	7530,63	183,00

Fonte: Autor

Onde:

$$Disponibilidade = \frac{vazão\_média\_histórica}{população\_município}$$

## 4 METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente trabalho envolve as seguintes etapas: definição do objeto de estudo e levantamento das informações; pesquisa documental acerca do uso e aplicação de índices e indicadores relacionados à questão de sustentabilidade; seleção dos parâmetros físicos, hídricos, bióticos, antrópicos, índices e indicadores; definição do modelo estrutural a ser adotado; geração de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA), produção de mapeamentos temáticos, e por fim, uma análise espaço-temporal da paisagem e do ISHA.

O desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) partiu da identificação de vários parâmetros e indicadores existentes e agrupados em quatro dimensões (Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópicos).

A escolha dos índices e indicadores exigiu uma avaliação criteriosa. Esses critérios foram aplicados para se fazer uma escolha adequada tais como: saber se o indicador permite a mensuração do que efetivamente se quer medir; estimar a facilidade do seu uso; ou estimar uma boa relação custo-benefício decorrente da sua adoção.

Para a construção do ISHA foi aplicado um modelo estrutural baseado na abordagem de causa-efeito PSR (Pressão-Estado-Resposta) onde foi desenvolvido os índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópicos, identificando sua distribuição dentro de cada componente e dimensão, graus de importância, níveis de aglutinação e escalas espaciais e temporais. Esses índices permitiram medir de forma resumida e objetiva a condição e as características dos municípios selecionados nos dois períodos estudados.

A aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto deu suporte a construção de alguns índices e indicadores relacionados aos aspectos de relevo, cobertura vegetal e uso e ocupação dos solos. Também foram produzidos mapeamentos temáticos que permitiram fazer uma análise espaço-temporal da evolução dos índices desenvolvidos e da paisagem ao longo do tempo.

Dentro dos procedimentos metodológicos propostos cabe destacar a aplicação do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA), associado a produtos de sensoriamento remoto e mapeamentos temáticos, para identificar os processos de transformação do meio físico, biótico e antrópico como também da dinâmica da paisagem de dois períodos distintos para os municípios estudados pertencentes a APA de Baturité.

#### **4.1 Definição do Objeto de Estudo e Levantamento das Informações**

O primeiro passo para a realização do trabalho foi a determinação do objeto de estudo. Este é um aspecto essencial para o desenvolvimento dos demais passos, pois é nesta fase que se determina a escala espacial, e a partir dela a caracterização do sistema e a definição do tipo de avaliação a ser desenvolvido. Além da escala espacial, foi necessário identificar a abrangência do sistema a ser analisado. Dessa identificação constaram alguns aspectos, tais como:

- Delimitar geograficamente o sistema (local, região, município, comunidade);
- Levantamento de dados e informações sobre da região adotada para o estudo incluindo: informações cartográficas (sensoriamento remoto, mapeamentos, cartografia existente), dados censitários, informações do meio físico (biótico e abiótico) e dados socioeconômicos;
- Caracterizar o sistema a partir dos dados levantados, incluindo uma descrição clara dos seguintes aspectos: clima, relevo, cobertura vegetal (vegetação nativa, áreas cultivadas) tipo de solo, ocupação do solo, drenagem, características socioeconômicas (população, habitação, nível de renda, infraestrutura de saneamento básico, outros);
- Determinar a escala temporal dos parâmetros, indicadores e índices utilizados (análise quinzenal, mensal, bimestral, semestral, anual);

A partir da escolha da área de interesse e do levantamento bibliográfico e cartográfico foi feita uma visita de campo onde procurou-se observar alguns pontos

importantes relacionados a situação da cobertura vegetal, uso dos solos, processos de degradação, ocupação irregular e as condições de vida das comunidades.

Esta visita teve um caráter de reconhecimento uma vez que não foram levantados dados primários. Os dados e informações levantadas foram coletadas de fontes secundárias em órgãos do governo federal e estadual (IBGE, IPECE, ARCE, outros), dos planos estaduais (Plano Estadual de Recursos Hídricos e Planos de Gerenciamento de Águas de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará) e das bases cartográficas produzidas no Estado (FUNCEME e IPECE), onde cabe destacar:

- Carta Planialtimétrica, escala 1:100.000, Folhas Canindé e Baturité, DSG/SUDENE, 1972;
- IPLANCE, Atlas do Ceará, Fortaleza: SEPLAN, escala 1:1.500.000, 1989;
- Imagem orbital do satélite francês SPOT5, resolução espacial de 2,5m, datada do final de 2004;
- Imagem orbital do satélite francês SPOT5, resolução espacial de 2,5m, datada de 2013;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios 1999 – 2003;
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008-2012;
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Situação Social Brasileira: monitoramento das condições de vida, 2012;
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Ceará em Números, 2011-2012;
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, IMA – Índice Municipal de Alerta dos Municípios do Estado do Ceará, 2005;
- IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, IMA – Índice Municipal de Alerta dos Municípios do Estado do Ceará , 2012;
- Perfil Sócio Municipal de Aratuba – IPECE – 2013;
- Perfil Sócio Municipal de Guaramiranga – IPECE – 2013;
- Perfil Sócio Municipal de Pacoti – IPECE – 2013;

- Perfil Sócio Municipal de Mulungu – IPECE – 2013;
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Aratuba – ARCE – 2011;
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Guaramiranga – ARCE – 2011;
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Pacoti – ARCE – 2011;
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Mulungu – ARCE – 2011;
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1992;
- Planos de Gerenciamento de Águas das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará, 2006.

Com base nos dados e informações coletadas foi realizado um levantamento de um amplo conjunto de parâmetros técnicos, econômicos, sociais e ambientais que permitiam a mensuração do sistema analisado. Para esses descritores foram encontrados um ou mais parâmetros, salientando-se que os índices e indicadores posteriormente selecionados permitam mensurar as modificações ocorridas no sistema ao longo do tempo e serão aplicados no sistema para serem avaliados.

Ressalta-se a importância de se compreender cada um dos índices e indicadores selecionados, uma vez que este entendimento permite a condução de forma mais eficiente da metodologia adotada, bem como evita possíveis contratempos ocasionados pela aplicação inadequada com relação à definição das variáveis.

#### **4.2 Critérios de Escolha de Índices e Indicadores**

Para se estabelecer critérios para escolha de índices e indicadores se faz necessário ratificar a definição de conceitos importantes para o desenvolvimento do trabalho tais como parâmetros, indicadores e índices.

Os parâmetros são considerados variáveis que permitem identificar, numa família de elementos, cada um deles através de seu valor numérico. Um parâmetro

estatístico é uma função definida sobre os valores numéricos, ou seja, trata-se de um valor que permite representar ou modelar a realidade.

Os indicadores são medidas quantitativas ou um conjunto de estatísticas dotados de significado e usados para substituir, quantificar ou operacionalizar um conceito teórico ou pragmático. Já os índices são definidos como indicadores compostos construídos a partir de uma média de indicadores ou uma síntese de vários indicadores com maior grau de complexidade e agregação.

Os índices e indicadores descrevem um processo específico e são particulares a esses processos, e por isso não há um conjunto de indicadores globais adaptáveis a qualquer realidade. Eles devem refletir o objetivo de seus propositores na sua construção.

A construção de índices e indicadores é um trabalho que exige uma análise interdisciplinar, pois não há uma fórmula pronta e sua periodicidade dependerá do tipo de dado ou indicador obtido. É necessário análise, interpretação e compreensão do universo estudado e definição de critérios para a sua escolha.

Para a escolha ou seleção dos índices e indicadores primeiro se faz necessário conhecer bem suas características. Um índice ou indicador deve apresentar algumas características essenciais, devendo ser:

- Centrado em aspectos claros e práticos;
- Simples de entender;
- Baseado em informações confiáveis;
- Fácil de medir e de monitorar;
- Sensível, isto é, deve permitir a avaliação das modificações nas características do sistema;
- Integrador, ou seja, que permita a inter-relação com outros indicadores, compreendendo aspectos das diferentes dimensões.

Ao analisar o conjunto de informações levantadas na revisão bibliográfica referente à definição e tipo de índices e indicadores, suas características e

aplicações, os modelos estruturais existentes, foram definidos critérios para a escolha dos indicadores em função do conhecimento da área e da disponibilidade de dados e informações acerca da APA e dos municípios estudados.

Esses critérios foram baseados nos seguintes princípios: ser significativo em relação a sustentabilidade do sistema; revelar tradução fiel e sintética do problema; ser de fácil interpretação; ser relevante politicamente; permitir que seja integrado a outros indicadores; ter uma metodologia de medida bem definida.

Tais critérios foram sistematizados, de modo a excluir os redundantes ou contraditórios, resultando na listagem a seguir, que foi utilizada na etapa de escolha dos indicadores:

- Acessibilidade dos dados;
- Confiabilidade da fonte;
- Coerência com a realidade local;
- Adequabilidade à mudanças da realidade;
- Clareza na comunicação;
- Relevância;
- Amplitude geográfica;
- Sensibilidade;
- Estabilidade temporal;
- Facilidade para definição de metas;
- Capacidade de monitoramento;
- Capacidade de ser quantificável;
- Capacidade de síntese.

A partir dos critérios adotados para a escolha dos índices e indicadores foram também definidas as dimensões escolhidas para a formulação do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) que compreende:

- Dimensão Hídrica;
- Dimensão Física;

- Dimensão Biótica;
- Dimensão Antrópica.

É importante também destacar que o modelo PSR adotado representa a estrutura metodológica mais utilizada para apresentação de estatísticas, índices e indicadores relativos ao tema ambiental e de desenvolvimento sustentável.

Uma vez estabelecida quais as dimensões de trabalho e os critérios adotados foi realizada uma triagem dos indicadores selecionados no intuito de verificar o seu enquadramento e consolidar a sua utilização. Dos critérios descritos acima foram escolhidos àqueles julgados mais consentâneos com a realidade local e coerência com sua aplicação.

Na etapa de escolha dos índices e indicadores foi feito um “*checklist*” de todos os indicadores em relação aos critérios adotados e estabelecida uma escala de pontuação de 1 a 5 no intuito de validar sua aplicação.

Este conjunto de parâmetros, indicadores e índices escolhidos para o trabalho devem possuir abrangência e profundidade, de modo que, com um pequeno número de indicadores selecionados, seja possível realizar uma avaliação do sistema ao longo do tempo, fazendo uma análise comparativa entre dois períodos distintos.

#### **4.3 Seleção dos Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópicos**

A identificação e seleção dos parâmetros hídricos, físicos, bióticos e antrópicos existentes na área em estudo são fundamentais para o desenvolvimento dos indicadores e do índice proposto. É importante a existência de informações e séries históricas e o grau de confiabilidade dos dados.

O Quadro 4.1 mostra a seleção de todos os parâmetros levantados da área em estudo para cada meio.

Quadro 4.1 - Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Socioeconômicos selecionados.

<b>MEIO</b>	<b>PARÂMETROS</b>
1. Hídrico	Temperatura
	Área da Bacia
	Balço Hídrico p/ Município
	Déficit de Evapotranspiração Potencial
	Deflúvio Médio Anual
	Demanda Hídrica
	Demanda Hídrica BEDA
	Demanda Hídrica Rural
	Demanda Hídrica Total
	Demanda Hídrica Urbana
	Disponibilidade de Águas Subterrâneas
	Disponibilidade de Águas Superficiais
	Escoamento
	Evaporação Potencial
	Evapotranspiração Real
	Oferta Hídrica
	Precipitação
	Vazão Específica
	Vazão Média Anual
	Vazão Média Histórica
Vazão Regularizada	
Volume Escoado	
Volume Precipitado	
2. Físico	Áreas Urbanas
	Cota Máxima da Área de Drenagem
	Cota Mínima da Área de Drenagem
	Declividade
	Comprimentos dos Cursos D'água
	Tipo de Solos
	Umidade
	Uso e Ocupação do Solo
3. Biótico	Área Cultivada
	Área de Preservação Permanente
	Área Nativa
	Área Total
	Área de Cobertura Vegetal
4. Antrópico	Esperança de Vida do Indivíduo ao Nascer
	Número de Habitantes
	Número de Óbitos em Determinado Período
	Parâmetro Máximo de Longevidade
	Parâmetro Mínimo de Longevidade
	População Alfabetizada
	População Atendida (Abastecimento de Água)
	População Atendida (Coleta de Lixo)
	População Atendida (Energia Elétrica)
	População Atendida (Esgotamento Sanitário)
	População no Programa Bolsa Família
	População Rural do Município
População Total do Município	
População Urbana do Município	

Fonte: Autor

Estes parâmetros podem ser agrupados em dois blocos distintos: os fatores perenes e os fatores variáveis no tempo. Estes fatores reúnem todos os parâmetros adotados no trabalho e são importantes na determinação de sua distribuição espacial e temporal.

Os fatores perenes não variam no tempo, portanto, sua configuração de classes não depende de sua distribuição temporal, apenas da espacial. O mesmo não ocorre com os fatores variáveis no tempo, que necessitam de um intervalo de tempo para a sua análise. Estes fatores são agrupados da seguinte forma: fatores perenes (Ex.: relevo, altitude, declividade e permeabilidade); fatores variáveis no tempo (Ex.: precipitação, evapotranspiração, vegetação e infiltração).

A escolha dos parâmetros físicos, hídricos, bióticos e antrópicos estão condicionadas tanto pela sua representatividade e influência na caracterização regional quanto pela disponibilidade das informações para os dois períodos estudados.

#### **4.4 Seleção de Índices e Indicadores**

O desenvolvimento de mecanismos de análise que permitam mensurar de forma eficiente e sistemática as alterações detectadas ocorridas no meio ambiente, podem ser realizados através da aplicação de índices e indicadores

A agregação de parâmetros utilizados para inferir o desempenho dos sistemas ambientais podem ser denominados de indicadores. A agregação de vários indicadores pode ser tratado como um índice, que traduz numericamente uma determinada situação e aponta para o sentido da sustentabilidade

Os indicadores e índices tem a capacidade de integrar as informações de forma compacta e objetiva permitindo uma comparação de diferentes aspectos ou regiões além de indicar tendências e fornecer respostas eficientes às ações executadas.

A partir da definição das dimensões e dos parâmetros levantados para cada dimensão foi realizado um levantamento de diversos índices e indicadores existentes na literatura e adotados por instituições federais, estaduais e municipais para os municípios estudados da APA de Baturité. Estas informações, juntamente com uma análise detalhada das estruturas metodológicas empregadas e nos critérios estabelecidos permitiram fazer a seleção dos índices e indicadores.

Para atingir os objetivos esperados os critérios adotados devem ser bem fundamentados e serem compatíveis com a sua aplicação. A

Tabela 4.1 realiza um “*checklist*” de todos os indicadores escolhidos em relação aos critérios adotados e estabelecem uma escala de pontuação de desempenho que varia de 1 a 5 no intuito de validar sua aplicação, onde 1 é o menor desempenho e 5 é o maior desempenho. O procedimento foi executado a partir do agrupamento dos índices e indicadores nas suas respectivas dimensões (Física, Biótica, Hídrica e Antrópica).

Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos

<b>Critério (Físico)</b>	<b>Índice de Urbanização</b>	<b>Índice de Distribuição de Chuvas</b>	<b>Declividade Média da Bacia</b>	<b>Taxa de Ocupação do Solo</b>
Acessibilidade dos dados	4	5	4	4
Confiabilidade da fonte	4	5	4	4
Coerência com a realidade	4	4	5	3
Adequabilidade a mudanças	4	5	5	5
Clareza na comunicação	5	5	5	5
Relevância	4	4	5	5
Amplitude geográfica	4	4	5	5
Sensibilidade	5	5	4	4
Estabilidade temporal	5	5	5	5
Facilidade para definição de metas	4	5	5	4
Capacidade de monitoramento	4	4	5	5
Capacidade de Quantificação	5	5	5	5
Capacidade de Síntese	5	4	5	5

Fonte: Autor

Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos

<b>Índice Hídrico</b>	<b>Índice de Aridez</b>	<b>Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativa</b>	<b>Déficit Hídrico</b>	<b>Coefficiente de Escoamento Superficial</b>	<b>Índice de Utilização de Disponibilidade</b>	<b>Vazão Específica</b>	<b>Demanda Hídrica</b>	<b>Disponibilidade de Água Per Capita</b>
Acessibilidade dos dados	4	4	4	4	4	4	4	4
Confiabilidade da fonte	4	4	4	4	4	4	4	4
Coerência com a realidade	4	4	4	4	4	4	4	4
Adequabilidade a mudanças	4	4	4	4	4	4	4	4
Clareza na comunicação	4	4	4	4	4	4	4	4
Relevância	5	5	5	5	5	5	5	5
Amplitude geográfica	5	5	4	5	5	4	4	5
Sensibilidade	5	4	5	5	4	4	5	4
Estabilidade temporal	4	4	4	4	4	4	4	4
Facilidade para definição de metas	5	4	5	4	4	4	5	5
Capacidade de monitoramento	4	4	4	4	4	4	4	4
Capacidade de Quantificação	4	4	4	4	4	4	4	4
Capacidade de Síntese	5	4	4	5	4	5	4	5

Fonte: Autor

Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos

<b>Índice Antrópico</b>	<b>Densidade Populacional Total</b>	<b>Taxa de Crescimento Anual da População</b>	<b>Taxa de Mortalidade Infantil</b>	<b>Longevidade</b>	<b>PIB per capta</b>
Acessibilidade dos dados	5	5	5	5	5
Confiabilidade da fonte	4	5	4	5	5
Coerência com a realidade	5	5	4	5	4
Adequabilidade a mudanças	5	5	4	4	5
Clareza na comunicação	5	5	4	4	5
Relevância	5	5	5	5	5
Amplitude geográfica	5	4	5	4	4
Sensibilidade	5	5	5	4	4
Estabilidade temporal	5	5	5	4	5
Facilidade para definição de metas	5	4	4	4	4
Capacidade de monitoramento	5	5	5	5	5
Capacidade de Quantificação	5	4	5	5	5
Capacidade de Síntese	5	5	5	5	5

Fonte: Autor

Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos

<b>Índice Antrópico</b>	<b>Taxa de Alfabetização</b>	<b>Porcentagem de Bolsas Família</b>	<b>Taxa de Abastecimento de Água Tratada</b>	<b>Taxa de Lixo Coletado</b>	<b>Taxa de Esgotamento Sanitário</b>	<b>Taxa de Energia Elétrica</b>
Acessibilidade dos dados	5	5	5	5	5	5
Confiabilidade da fonte	5	5	5	4	5	4
Coerência com a realidade	4	5	5	4	5	5
Adequabilidade a mudanças	5	4	5	4	4	5
Clareza na comunicação	5	4	5	4	4	5
Relevância	5	5	5	5	5	5
Amplitude geográfica	4	4	4	4	4	4
Sensibilidade	4	5	4	5	4	4
Estabilidade temporal	5	5	5	5	5	5
Facilidade para definição de metas	5	4	4	5	5	5
Capacidade de monitoramento	5	5	5	5	5	5
Capacidade de Quantificação	5	4	4	4	4	4
Capacidade de Síntese	5	5	5	5	5	5

Fonte: Autor

Tabela 4.1 - Pontuação para os Indicadores Físicos

<b>Crítérios (Biótico)</b>	<b>Índice de Áreas Cultivadas</b>	<b>Índice de Cobertura Vegetal</b>	<b>Índice de Áreas Nativas</b>	<b>Índice de Áreas de Preservação Permanentes</b>
Acessibilidade dos dados	4	4	4	4
Confiabilidade da fonte	4	4	4	4
Coerência com a realidade	4	5	4	5
Adequabilidade a mudanças	5	5	5	5
Clareza na comunicação	4	4	4	5
Relevância	5	5	5	5
Amplitude geográfica	4	5	5	5
Sensibilidade	5	5	5	5
Estabilidade temporal	4	4	4	5
Facilidade para definição de metas	5	5	5	5
Capacidade de monitoramento	4	5	4	4
Capacidade de Quantificação	4	4	4	4
Capacidade de Síntese	4	5	5	5

Fonte: Autor

A partir da pontuação realizada podemos afirmar que os índices e indicadores atendem plenamente aos critérios estabelecidos para a sua seleção. Ao analisarmos a tabela de pontuação, mesmo considerando que os valores foram bastante satisfatórios, pode-se constatar que os índices e indicadores com melhor pontuação estavam agrupados na dimensão antrópica enquanto que os outros receberam uma pontuação menor. Isso se deve em virtude da produção sistemática de índices voltados para o âmbito socioeconômico provenientes de diversas fontes de grande confiabilidade e divulgados a nível nacional e estadual.

Já os índices e indicadores agrupados nas dimensões hídrica, física e biótica foram adquiridos a partir do levantamento de parâmetros e de produtos de sensoriamento remoto em instituições do Estado. Esses parâmetros foram tratados e utilizados para cálculo dos indicadores ou vetorizados para produção de mapeamentos temáticos para delimitação e estimativa de áreas. Esses indicadores, na sua maior parte, não são disponibilizados em instituições do Estado de forma sistemática mas podem ser encontrados em alguns estudos pontuais .

A escolha final dos índices e indicadores se deu, portanto, em função do contexto hídrico, físico, biótico e antrópico da área em estudo, uma vez que a região vem se desenvolvendo ao longo do tempo de forma descontrolada, aumentando as taxas de urbanização e ocupação e transformando as atividades econômicas locais.

A partir dos critérios adotados foram escolhidos os índices e indicadores mais importantes no intuito de traduzir a realidade existente na área. O levantamento dos índices e indicadores está mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Relação de índices e indicadores selecionados.

<b>DIMENSÃO</b>	<b>ÍNDICES E INDICADORES</b>
1. Hídrica	Índice de Aridez
	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo
	Disponibilidade de Água Per Capita
	Coeficiente de Escoamento Superficial
	Vazão Específica
	Déficit Hídrico
	Índice de Utilização da Disponibilidade Demanda Hídrica
2. Física	Índice de Distribuição de Chuvas
	Declividade
	Índice de Ocupação do Solo
3. Biótica	Índice de Urbanização
	Índice de Cobertura Vegetal
	Índice de Áreas Nativas
4. Antrópica	Índice de Áreas Cultivadas
	Índice de Áreas de Preservação
	Densidade Populacional Total
	PIB per Capita
	Taxa de Abastecimento de Água
	Taxa de Esgotamento Sanitário
	Taxa de Lixo Coletado
	Longevidade
	Porcentagem de Bolsas Família
	Taxa de Crescimento Anual da População
Taxa de Energia Elétrica	
Taxa de Alfabetização	
Taxa de Mortalidade Infantil	

Fonte: Autor

Tanto os índices quanto os indicadores consistem de dados ou valores que representam um conjunto de informações de um sistema e para a sua

construção é importante a escolha dos componentes, da fórmula, do período base e da fonte de dados.

A seleção de indicadores é a chave para o monitoramento da Pressão, Estado e Resposta, e para a identificação da relação essencial entre causa e efeito, sendo essencial encontrar a inter-relação que há entre as dimensões. O Quadro 4.2 mostra os métodos de cálculo de cada indicador utilizado no trabalho.

Quadro 4.2 - Tabela de Método de Cálculo dos Indicadores.

ÍNDICES	INDICADORES	MÉTODO DE CÁLCULO
Índice Hídrico (IH)	Índice de Aridez (%)	$IA = 100 \times \left( \frac{Pr}{Eto} \right)$ IA = Índice de Aridez; Pr = precipitação; Eto = evapotranspiração potencial.
	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo	$DETPR = \frac{[ETP - (P - Q)]}{P}$ DETPR = Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo; ETP - evapotranspiração potencial (mm); P - precipitação (mm); Q - escoamento (mm); P-Q - evapotranspiração real (mm); ETP - (P - Q) - déficit de evapotranspiração potencial (mm); Situação Crítica: IRF = 0 e DETPR > 1,0
	Déficit Hídrico (m <sup>3</sup> /s)	Déficit Hídrico (m <sup>3</sup> /s) = Demanda hídrica (m <sup>3</sup> /s) - Oferta Hídrica (m <sup>3</sup> /s)
	Coeficiente de Escoamento Superficial	$Q_{es} = \frac{P}{Q}$ Q <sub>es</sub> = Coeficiente de Escoamento Superficial; P = Precipitação; Q = Vazão média anual.
	Vazão Específica (L/s/km <sup>2</sup> )	$Q_{esp.} = \frac{\bar{Q}}{A}$ Q <sub>esp.</sub> = Vazão Específica (L/s. km <sup>2</sup> ); $\bar{Q}$ = Vazão Média Anual (L/s); A = Área da Bacia.
	Demanda Hídrica (L/s)	Demanda hídrica = (Demanda urbana + Demanda rural + BEDA)
	Disponibilidade de Água Per Capita (L/s.hab.)	$D_{ap} = \frac{Q_{média\ histórica}}{P_{Município}}$ D <sub>ap</sub> = Disponibilidade de Água Per Capita; Q <sub>média histórica</sub> = Vazão Média histórica (l/s); P <sub>Município</sub> = População do Município (habitantes).
	Índice de Utilização de Disponibilidade	$IUD = \frac{Q_d}{Q_o}$ IUD = Índice de Utilização de Disponibilidade; Q <sub>d</sub> = Demanda Hídrica; Q <sub>o</sub> = Oferta Hídrica.

Fonte: Autor

Quadro 4.2 - Tabela de Método de Cálculo dos Indicadores.

Índice Físico (IH)	Índice de Urbanização	$I_u = \frac{Pop_{urbana}}{P_{Total}}$ $I_u$ = Índice de urbanização (%) Pop. urbana= População urbana (hab.) Pop.Total = População Total (hab.)
	Índice de Distribuição de Chuvas (adimensional)	$I_{dc} = \frac{P_{média\ anual}}{P_{média\ do\ período}}$ Idc= índice de distribuição de chuvas; P média anual = Precipitação média anual (mm); P média do período considerado (mm).
	Declividade Média da Bacia (%)	$D = (C_{max} - C_{min}) / A^{1/2} \cdot 100$ A - área de drenagem (m <sup>2</sup> ) SL <sub>dren</sub> - soma dos comprimentos dos cursos d'água (m) C <sub>max</sub> - cota máxima da área de drenagem (m) C <sub>min</sub> - cota mínima da área de drenagem (m)
	Taxa de Uso e Ocupação do Solo (%)	$T_o = \sum \left( \frac{A_p}{A_t} \right) \times 100$ To = Taxa de Ocupação (%); Ap = Área de projeção horizontal da edificação (m <sup>2</sup> ); At = Área total do terreno (m <sup>2</sup> ).
Índice Biótico (IB)	Índice de Áreas Cultivadas	$\text{Índice de Áreas Cultivadas} = \frac{\text{Área Cultivada}}{\text{Área Total}}$
	Índice de Áreas Nativas	$\text{Índice de Áreas Cultivadas} = \frac{\text{Áreas Nativas}}{\text{Área Total}}$
	Índice de Cobertura Vegetal	$\text{Índice de Cobertura Vegetal} = \frac{\text{Área Arborizada}}{\text{Área Total}}$
	Índice de Áreas de Preservação Permanente	$\text{Índice de APP} = \frac{\text{Área Preservada}}{\text{Área Total}}$
Índice Antrópico (IA)	Densidade Populacional Total (hab./km <sup>2</sup> )	$D_{Pop. Total} = \frac{Pop. Total}{A_{Total}}$ D <sub>Pop. Total</sub> = Densidade Populacional Total (hab./km <sup>2</sup> ) Pop.Total = População Total (hab.) A <sub>Total</sub> = Área Total km <sup>2</sup>
	Taxa de Crescimento Anual da População (habitantes ao ano de 2000 a 2010) (%)	$T_{cp} = \frac{\Delta P}{P_{t0}} = \frac{(P_t - P_{t0})}{P_{t0}} \times 100$ T <sub>cp</sub> = Taxa de Crescimento Anual da População % ao ano; P <sub>t</sub> = População no ano final (habitantes); P <sub>t0</sub> = população no ano inicial (habitantes); t <sub>0</sub> = ano inicial; t = ano final.
	Taxa de Mortalidade Infantil (%)	$T_{mi} = \frac{N_o \times 1000}{N_{nasc.}}$ T <sub>mi</sub> = Taxa de Mortalidade infantil; N <sub>o</sub> = Número de óbitos em determinado período; N <sub>nasc.</sub> = Número de nascimento em determinado período; 1000 = Representa grupo de 1000 crianças nascidas no mesmo período.

Fonte: Autor

Quadro 4.2 - Tabela de Método de Cálculo dos Indicadores.

Índice Antrópico (IA)	PIB Per Capita (R\$/habitante)	$PIB \text{ per capita} = \frac{PIB}{N}$ PIB = Produto Interno Bruto (R\$); N = Número de Habitantes (hab.)
	Taxa de Alfabetização (%)	$Taxa \text{ de Alfabetização} = \left( \frac{Pop \cdot Alfabetizada}{Pop \cdot Total} \right) \times 100$
	Porcentagem de Bolsas Família (%)	$Porcentagem \text{ de Bolsas Família} = \left( \frac{Pop \cdot no \ Programa \ Bolsa \ Família}{Pop \cdot Total} \right) \times 100$
	Taxa de Abastecimento de Água Tratada (%)	$Taxa \text{ de Abastecimento de Água Tratada} = \frac{Pop \cdot Atendida}{Pop \cdot Total}$
	Taxa de Lixo Coletado (%)	$Taxa \text{ de Lixo Coletado} = \frac{Pop \cdot Atendida}{Pop \cdot Total} \times 100$
	Taxa de Esgotamento Sanitário (%)	$Taxa \text{ de Esgotamento Sanitário} = \frac{Pop \cdot Atendida}{Pop \cdot Total} \times 100$
	Taxa de Energia Elétrica (%)	$Taxa \text{ de Energia Elétrica} = \frac{Pop \cdot Atendida}{Pop \cdot Total} \times 100$

Fonte: Autor

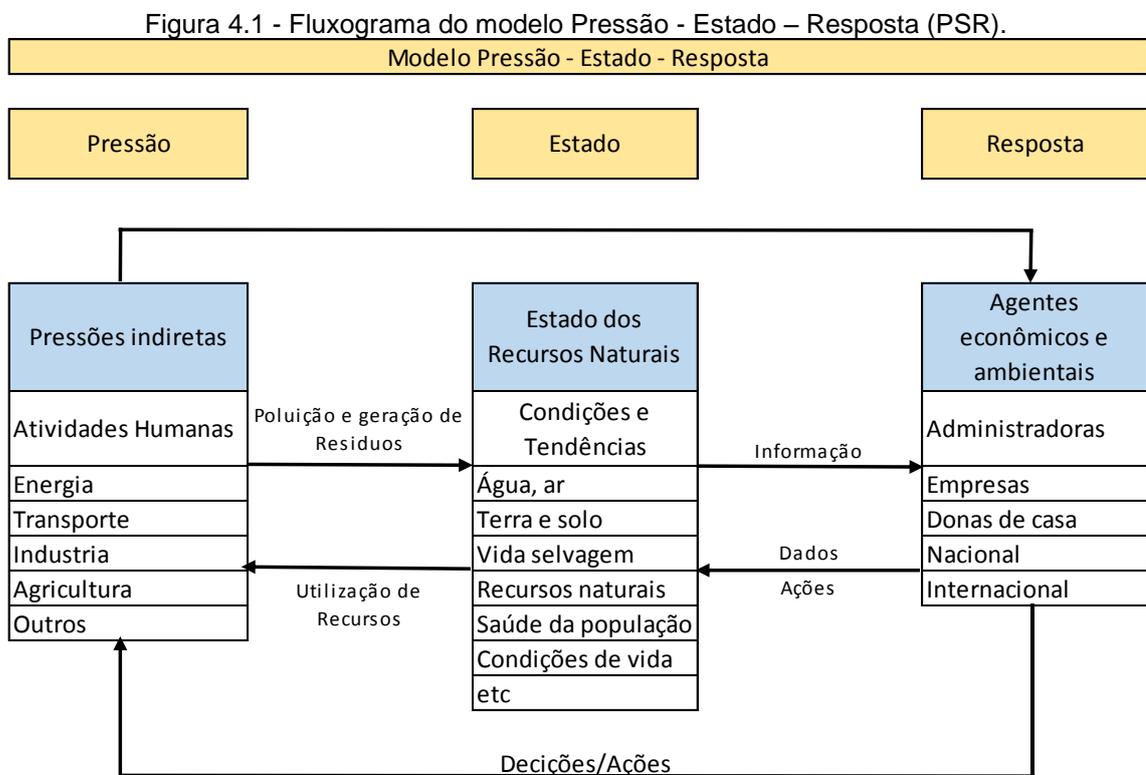
#### 4.5 Geração do Modelo PSR

Os indicadores devem ser construídos por uma estrutura metodológica coerente e de fácil mensuração. Existem indicadores que tem o propósito de quantificar, de forma mais abrangente, assim como tem indicadores com a finalidade de sintetizar as informações, simplificando a comunicação. A estrutura metodológica aplicada é importante para garantir que os resultados tenham confiabilidade e que atendam aos objetivos propostos de forma clara e coerente.

A estrutura aplicada para o desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) foi o modelo PSR (Pressão- Estado- Resposta), que corresponde à abordagem de causa efeito citada anteriormente. Esta abordagem considera um alvo a ser atingido (estado desejado) que pode ser alcançado por meio de um gerenciamento adequado.

Este modelo pode ser utilizado de duas formas distintas: linear e cíclica. No presente trabalho foi adotado o modelo linear conforme mostra a Figura 4.1.

É importante ressaltar que o modelo PSR adotado possui três tipos de indicadores: de Pressão, de Estado e de Resposta. Os indicadores de Pressão tratam do grau de pressão ou de tensão que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente. Os indicadores de Estado refletem as alterações ou tendências no estado físico ou biológico do ambiente natural frente às pressões e respostas exercidas pela sociedade. Os indicadores de Resposta representam as ações da sociedade em resposta às modificações de estado na forma de decisões políticas, adoção de programas e ações.



Fonte: OECD (2003)

Para melhor ilustrar o desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental foi elaborado um fluxograma estrutural partindo do modelo PSR (Pressão-Estado-Resposta) conforme mostra o fluxograma na Figura 4.2.

O modelo PSR foi estratificado em 03 camadas de modo a estabelecer níveis de aglutinação para o tratamento dos indicadores e índices processados. Os indicadores e índices vão sendo agregados em cada nível de aglutinação garantindo

que os índices intermediários resultantes daquele nível tenham mesmo grau de importância.

O fluxograma mostra os indicadores e índices agrupados dentro dos componentes denominados pressão, estado e resposta e sua distribuição, os níveis de aglutinação e os índices intermediários gerados em cada nível de aglutinação. Foram estabelecidos três níveis de aglutinação:

- Nível I: Índices de Pressão (IHP, IFP, IBP, IAP), Índices de Estado (IHE, IFE, IBE, IAE) e de Resposta (IHR, IFR, IBR, IAR);
- Nível II: Índice Hídrico (IH), Índice Físico (IF), Índice Biótico (IB), Índice Antrópico (IA);
- Nível III: Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA).

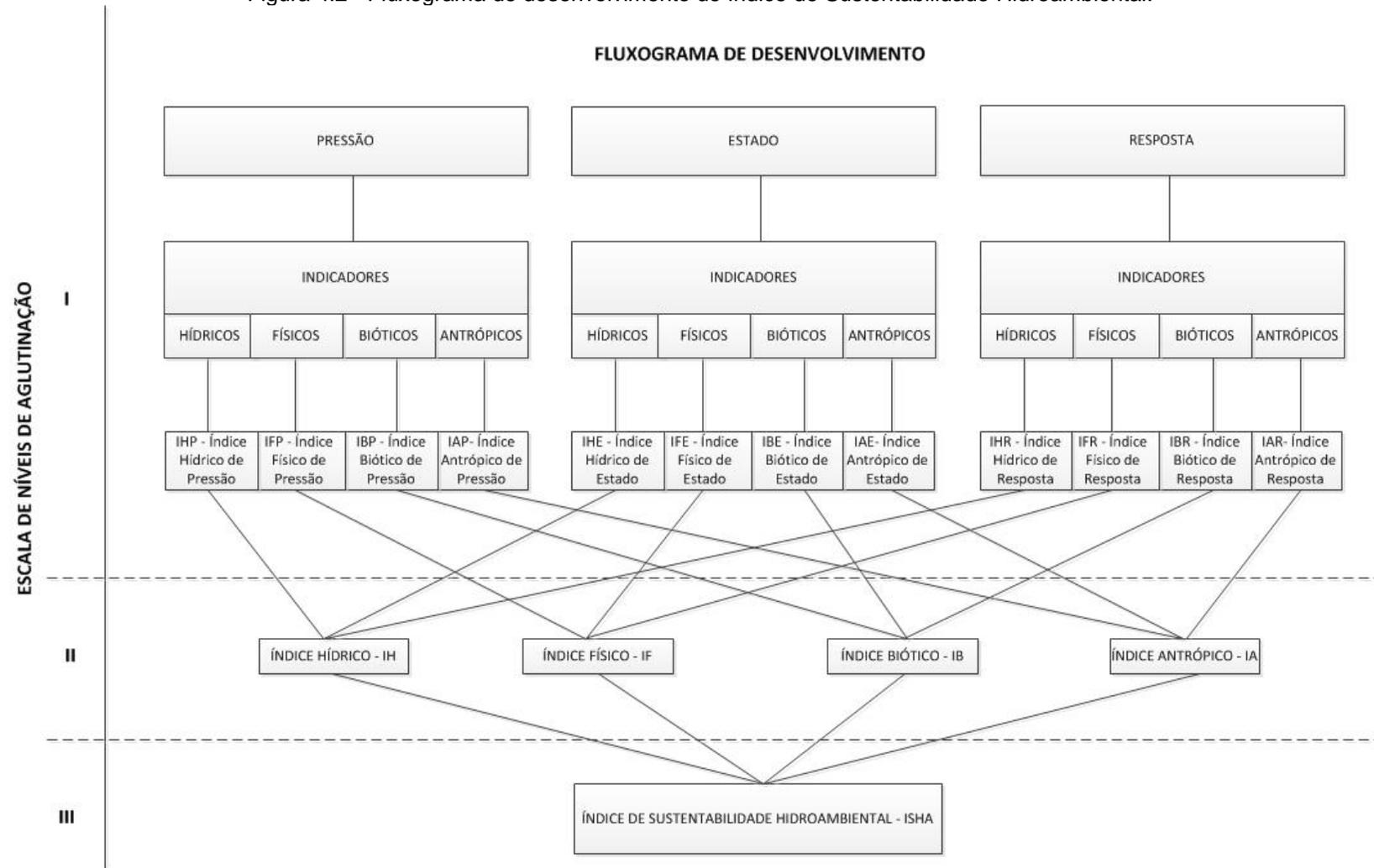
A Figura 4.2, o Quadro 4.3 e o Quadro 4.4 mostram a composição dos índices gerados em cada nível de aglutinação e a forma como estes foram agrupados em relação aos componentes do modelo PSR e as dimensões adotadas, respectivamente.

No Nível de Aglutinação I os índices e indicadores foram agrupados gerando índices intermediários correspondentes aos componentes do modelo PSR de Pressão, Estado e Resposta. Já no Nível de Aglutinação II os índices gerados no Nível de Aglutinação I, foram agrupados gerando índices intermediários em função das quatro dimensões adotadas (Hídrica, Física, Biótica e Antrópica) e produzindo o resultado final (ISHA - Índice de Sustentabilidade Hidroambiental) que corresponde ao Nível de Aglutinação III.

O processo de aglutinação em suas várias fases tem por objeto, naturalmente, sintetizar as medições dos indicadores para melhor compreensão dos analistas e do grande público.

Cabe destacar a flexibilidade na aplicação do modelo pois estudos subsequentes mais aprofundados poderão indicar pesos diferenciados para os indicadores e índices.

Figura 4.2 - Fluxograma de desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental.



Fonte: Autor

Quadro 4.3 - Composição dos índices e indicadores no Nível de Aglutinação I.

<b>Componentes</b>	<b>Índices Gerados</b>	<b>Composição de Índices e Indicadores</b>	
Índice Global de Pressão (IGP)	Índice Hídrico de Pressão (IHP)	Índice de Aridez	
		Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo	
		Demanda Hídrica	
		Déficit Hídrico	
	Índice Físico de Pressão (IFP)	Índice de Urbanização	
	Índice Biótico de Pressão (IBP)	Índice de Áreas Cultivadas	
	Índice Antrópico de Pressão (IAP)		Densidade Populacional Total
Taxa de Crescimento Anual da População			
Taxa de Mortalidade Infantil			
Índice Global de Estado (IGE)	Índice Hídrico de Estado (IHE)	Coeficiente de Escoamento Superficial	
		Vazão Específica	
	Índice Físico de Estado (IFE)	Índice de Distribuição de Chuvas	
		Declividade	
	Índice Biótico de Estado (IBE)	Índice de Cobertura Vegetal	
		Longevidade	
	Índice Antrópico de Estado (IAE)		PIB Per Capita
Taxa de Alfabetização			
Porcentagem de Bolsas Família			
Índice Global de Resposta (IGR)	Índice Hídrico de Resposta (IHR)	Disponibilidade de Água Per Capita	
		Índice de Utilização de Disponibilidade	
	Índice Físico de Resposta (IFR)	Taxa de Uso e Ocupação do Solo	
		Índice de Áreas de Preservação Permanente	
	Índice Biótico de Resposta (IBR)		Índice de áreas Nativas
			Taxa de Abastecimento de Água Tratada
			Taxa de Lixo Coletado
Índice Antrópico de Resposta (IAR)		Taxa de Esgotamento Sanitário	
		Taxa de Energia Elétrica	

Fonte: Autor

A partir da estruturação do modelo e da definição dos indicadores e índices e sua distribuição nos respectivos componentes de Pressão, Estado e Resposta e posteriormente nas dimensões Hídrica, Física, Biótica e Antrópica, gradativamente passando pelos níveis de Aglutinação I, II e III os indicadores e índices foram integrados de forma a compor índices que permitissem medir de forma

resumida e objetiva a condição e as características dos municípios selecionados na APA de Baturité.

Quadro 4.4 - Composição dos índices e indicadores no Nível de Aglutinação II e III.

Índice Final	Índices Gerados	Composição de Índices e Indicadores
<b>ISHA</b> Índice de Sustentabilidade Hidroambiental	Índice Hídrico (IH)	Índice de Aridez
		Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo
		Déficit Hídrico
		Coeficiente de Escoamento Superficial
		Vazão Específica
		Demanda Hídrica
		Disponibilidade de Água Per Capita
	Índice Físico (IF)	Índice de Urbanização
		Índice de Distribuição de Chuvas
		Declividade
		Taxa de Uso e Ocupação do Solo
	Índice Biótico (IB)	Índice de Áreas Cultivadas
		Índice de Cobertura Vegetal
		Índice de Áreas Nativas
		Índice de Áreas de Preservação Permanente
	Índice Antrópico (IA)	Densidade Populacional Total
		Taxa de Crescimento Anual da População
		Taxa de Mortalidade Infantil
		Longevidade
		PIB Per Capita
Taxa de Alfabetização		
Porcentagem de Bolsas Família		
Taxa de Abastecimento de Água Tratada		
Taxa de Lixo Coletado		
Taxa de Esgotamento Sanitário		
Taxa de Energia Elétrica		

Fonte: Autor

Cabe destacar que a dimensão hídrica traduz a disponibilidade e as demandas das águas superficiais e subterrâneas além de fornecer informações referentes aos níveis de escoamento; a dimensão física diz respeito aos aspectos ambientais principalmente relacionados a água, ao relevo e á processos ligados ao uso do solo como o desmatamento e a erosão; a dimensão biótica trata da cobertura vegetal, especificamente das áreas que sofreram interferência antrópica e das áreas de preservação permanente; e a dimensão antrópica está relacionada aos aspectos

socioeconômicos, onde as necessidades básicas da população como energia, saneamento básico, educação e saúde são analisadas.

#### 4.6 Geração do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA)

O desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) corresponde a uma análise multidisciplinar agregando várias dimensões e tratando de vários aspectos de inter-relacionamento entre indicadores hídricos, físicos, bióticos e antrópicos com diferentes escalas espaciais e temporais.

A metodologia utilizada para a geração do ISHA foi embasada em vários procedimentos: na identificação de vários parâmetros relacionados à quatro dimensões de trabalho (Hídrica, Física, Biótica e Antrópica); de uma análise criteriosa para a identificação de índices indicadores; e da aplicação do Modelo PSR (Pressão-Estado-Resposta) levando em conta Níveis de Aglutinação para agrupar e gerar índices intermediários.

Para a construção do ISHA primeiramente foram gerados todos os valores produzidos ou levantados dos índices e indicadores para os quatro municípios estudados na APA de Baturité nos dois períodos distintos. Em seguida foram estimados os índices intermediários estabelecidos pelos Níveis de Aglutinação estipulados pelo modelo estrutural PSR e finalmente calculado o ISHA.

Para a geração dos índices e indicadores às questões relativas aos ajustes de escalas foram cuidadosamente observadas. No intuito de ajustar os dados de cada indicador para evitar que o mesmo tenha o valor maior que 1 será empregado o seguinte cálculo (Equação 01):

$$Xi_{ajustado} = \frac{(Xi - X_{mín})}{(X_{máx} - X_{mín})}$$

(01)

Onde:

$Xi_{ajustado}$  = é o valor ajustado;

$X_i$  = é o valor medido;

$X_{\text{mín}}$  = é o valor mínimo da variável X;

$X_{\text{máx}}$  = é o valor máximo da variável X;

Os valores máximos e mínimos foram estabelecidos através de critérios físicos de acordo com o tipo de indicador e da unidade espacial adotada. Para indicadores hídricos foram identificados valores referentes aos planos de bacias hidrográficas. No caso dos indicadores físicos e bióticos foram utilizados valores pertencentes a região da APA de Baturité. Para os indicadores antrópicos os valores apresentados foram baseados em informações extraídas de publicações que tinham como referência todo o estado do Ceará.

È importante observar que, em virtude do grande número de indicadores estudados, são identificados diferentes unidades de medidas e de escalas. A partir do procedimento adotado será possível ajustar os valores dos indicadores a escalas cujo valor mínimo é zero (0) e valor máximo é igual a um (1) criando condições para a agregação dos índices e indicadores em cada nível de aglutinação.

Também se faz necessário identificar se cada índice ou indicador mede uma situação em que, se aumentar seu valor favorece ou desfavorece o processo de desenvolvimento. Os índices e indicadores, ao serem selecionados, deve-se definir qual o tipo de relação que cada um tem com o entorno geral. Faz-se necessário identificar se o índice ou indicador mede uma situação em que, se aumentar o seu valor favorece ou desfavorece o processo de análise. Dependendo da intuição ao autor o aumento do valor do índice ou indicador pode resultar numa melhoria do sistema como também pode numa piora do sistema.

No nível de aglutinação I foram usados pesos iguais para cada um dos índices e indicadores, não importando se possuem 4, 8 ou 11 indicadores, uma vez que todos eles são considerados igualmente importantes. Para compor os índices intermediários neste estágio de aglutinação todos os índices e indicadores terão seus valores somados e então será calculada a média ponderada atribuindo-se à situação mais favorável ao valor numérico 1 e à mais desfavorável o valor zero. A

função matemática utilizada para o cálculo dos indicadores e índices desse nível foi descrita da seguinte forma (Equação 02):

$$Inni = \frac{\sum_{i=1}^N wi \cdot Ini}{\sum_{i=1}^N wi} \quad (02)$$

Onde:

Ini = Indicadores nos Meios Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópicos (Tabela x);

Inn1 = IHP (Indicador Hídrico de Pressão);

Inn2 = IFP (Indicador Físico de Pressão);

Inn3 = IBP (Indicador Biótico de Pressão);

Inn4 = IAP (Indicador Antrópico de Pressão);

Inn5 = IHE (Indicador Hídrico de Estado);

Inn6 = IFE (Indicador Físico de Estado);

Inn7 = IBE (Indicador Biótico de Estado);

Inn8 = IAE (Indicador Antrópico de Estado);

Inn9 = IHR (Indicador Hídrico de Resposta);

Inn10 = IFR (Indicador Físico de Resposta);

Inn11 = IBR (Indicador Biótico de Resposta);

Inn12 = IAR (Indicador Antrópico de Resposta);

Wi = É o Peso de Cada Índice;

Nesse nível foram produzidos 12 índices intermediários agrupados em função dos componentes do Modelo PSR (Pressão, Estado, Resposta) para cada município nos dois períodos distintos. O resultado mostra a posição relativa e a posição absoluta de cada município ou período dos seguintes índices: IHP, IFP, IBP, IHE, IFE, IBE, IAE, IHR, IFR, IBR, IAR.

Para efeito de análise também foram produzidos, a partir dos 12 índices intermediários no nível de aglutinação I, três índices globais resultantes dos componentes do Modelo PSR denominados de: IPG (Índice de Pressão Global), IEG

(Índice de Estado Global) e IRG (Índice de Estado Global). Para o cálculo desses índices foi aplicado os mesmos critérios.

No nível de aglutinação II também foram usados pesos iguais para cada índice intermediário produzido anteriormente no nível de aglutinação I, no total de 12, uma vez que todos eles são considerados igualmente importantes. Para compor os índices intermediários para este estágio de aglutinação todos os índices terão seus valores somados e então será calculada a média ponderada. A função matemática utilizada para o cálculo dos indicadores e índices desse nível foi descrita da seguinte forma (Equação 03):

$$INi = \frac{\sum_{i=1}^N wi \cdot Inni}{\sum_{i=1}^N wi}$$

(03)

Onde:

Inni = Índices Obtidos a Partir da Equação (2)

IN1= (IH) Índices Hídricos;

IN2 = (IF) Índices Físicos;

IN3 = (IB) Índices Bióticos;

IN4 = (IA) Índices Antrópicos;

Wi = É o Peso de Cada Índice;

Nesse nível foram produzidos 04 índices intermediários agrupados em função dos das dimensões adotadas (Hídrica, Física, Biótica, Antrópica) para cada município nos dois períodos distintos. O resultado mostra a posição relativa e a posição absoluta de cada município ou período dos seguintes índices intermediários: IH (Índice Hídrico), IF (índice Físico), IB (Índice Biótico), IA (Índice Antrópico).

No nível de aglutinação III, uma vez calculado todos os índices intermediários foram utilizados o mesmo procedimento para a estimativa do Índice

de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) de cada município utilizando os índices acima citados. O cálculo foi realizado da seguinte maneira (Equação 04):

$$ISHA = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot IN_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

(04)

Onde:

IN<sub>i</sub> = Índices Obtidos a Partir da Equação (3);

ISHA = Índice de Sustentabilidade Hidroambiental;

W<sub>i</sub> = É o Peso de Cada Índice;

Para a avaliação dos índices intermediários IH, IF, IB, IA e do ISHA foi utilizada a escala proposta por Guimarães, Tureta e Coutinho (2010) que está dividida em cinco setores de vinte pontos de acordo com a classificação mostrada no Quadro 4.5.

A integração dos indicadores e índices pode ser representada de forma numérica, como no modelo acima, como também por meio de diagramas. No entanto existem limitações técnicas para realizar medidas que envolvem grande diversidade de indicadores dentro do contexto da sustentabilidade.

Quadro 4.5 - Classificação e representação dos níveis do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA).

<b>Índice (0,00 – 1,00)</b>	<b>Desempenho</b>
0,00 – 0,20	Ruim/insustentável
0,21 – 0,40	Pobre/potencialmente insustentável
0,41 – 0,60	Médio/intermediário
0,61 – 0,80	Bom /potencialmente sustentável
0,81 – 1,00	Muito bom/sustentável

Fonte: Guimarães, Tureta e Coutinho (2010)

O modelo denominado de AMEBA (ou RADAR) é um método que representa múltiplos indicadores em um único diagrama e é desenvolvido de forma sistêmica. Um das grandes vantagens da utilização da AMEBA é sua capacidade de representação visual da sustentabilidade além de ser uma importante ferramenta no processo de tomada de decisão na gestão ambiental.

O diagrama da AMEBA (ou RADAR) é demonstrado por meio de eixos com os valores dos indicadores ou índices representados de forma circular.

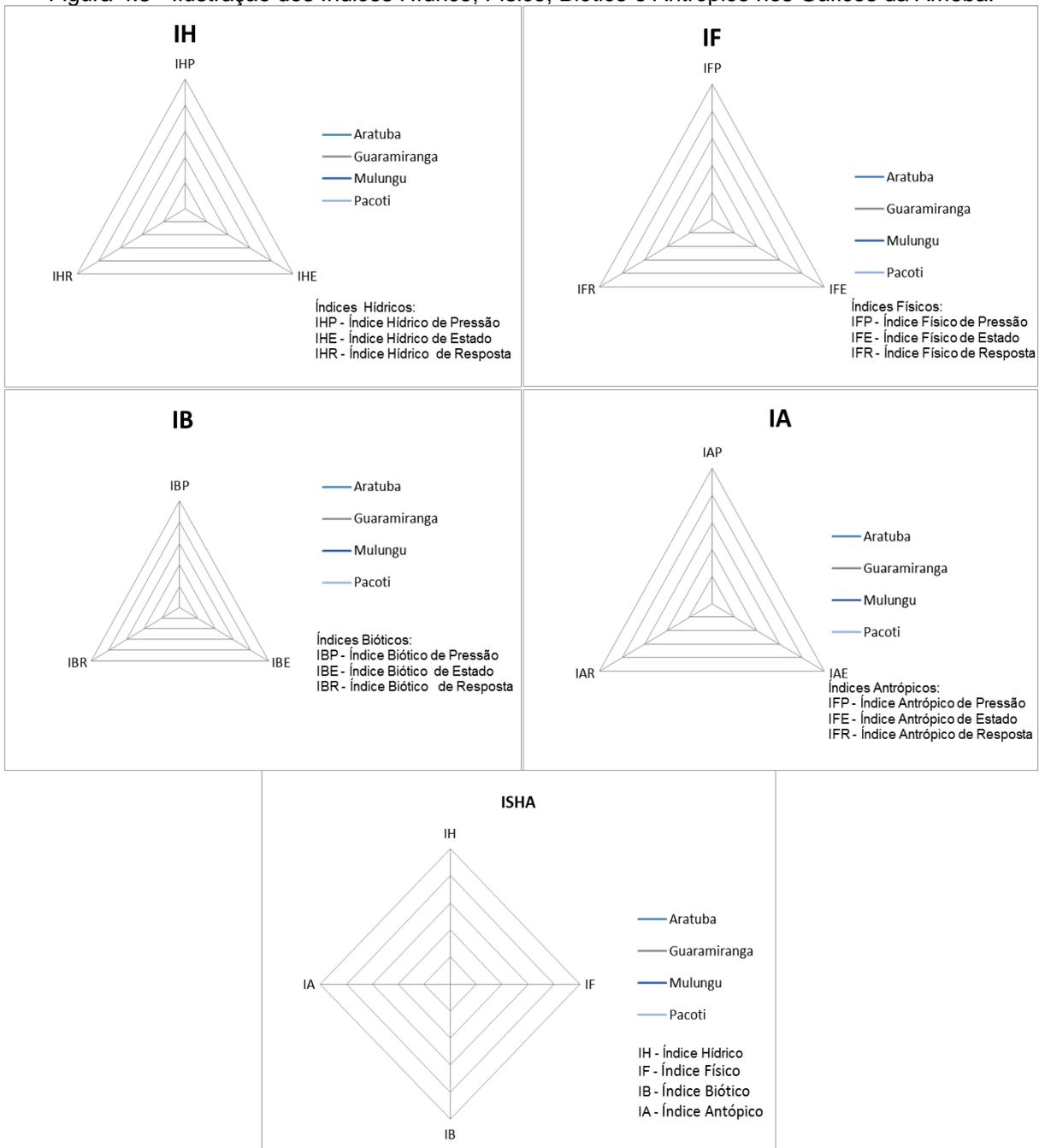
A aplicação do diagrama visa obter uma melhor visualização dos resultados assim como possibilitar fazer analogias entre os índices nos diferentes municípios selecionados.

No presente trabalho foi aplicado o diagrama da AMEBA nos quatro municípios estudados nos dois períodos para os seguintes índices: Índice Hídrico (IH), Índice Físico (IF), Índice Biótico (IB), Índice Antrópico (IA) e o Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) conforme ilustra a Figura 4.3.

Os diagramas das AMEBAS foram agrupados em diferentes categorias dependendo do índice avaliado, a saber: IH foram utilizados 08 categorias; IF foram utilizados 04 categorias; IB foram utilizados 04 categorias; IA foram utilizados 11 categorias; e o ISHA foram utilizados 04 categorias (IH, IB, IF, IA).

A Figura 4.3 ilustra como os índices são representados através do diagrama da “AMEBA”. A Figura 4.3 não representa uma aplicação de resultados, apenas um modelo de como serão distribuídos os índices no diagrama da ameba.

Figura 4.3 - Ilustração dos Índices Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico nos Gáficos da Ameba.



Fonte: Autor

### 4.7 Uso de Geotecnologias

O uso do geoprocessamento apresenta uma série de facilidades na geração e produção de dados e informações para o estudo de fenômenos geográficos. A aplicação de índices e indicadores aliados ao emprego do geoprocessamento estão diretamente relacionados à modelagem ambiental. A

utilização de modelos aplicados ao geoprocessamento possui algumas características importantes:

- Escala: macro/micro;
- Extensão: completo/parcial;
- Objetivo: descritivo/prescritivo;
- Abordagem: empírico/teórico;
- Técnica: determinístico/estocástico;
- Associação: genérico/interligado;
- Agregação: agrupado/desagrupado;
- Temporalidade: estático/dinâmico.

Um dos principais conceitos metodológicos adotados no geoprocessamento diz respeito à abordagem e a análise sistêmica, que lidam com uma complexa gama de variáveis e permite uma visão integrada dos fatores geográficos que interagem e estão em constante mudança.

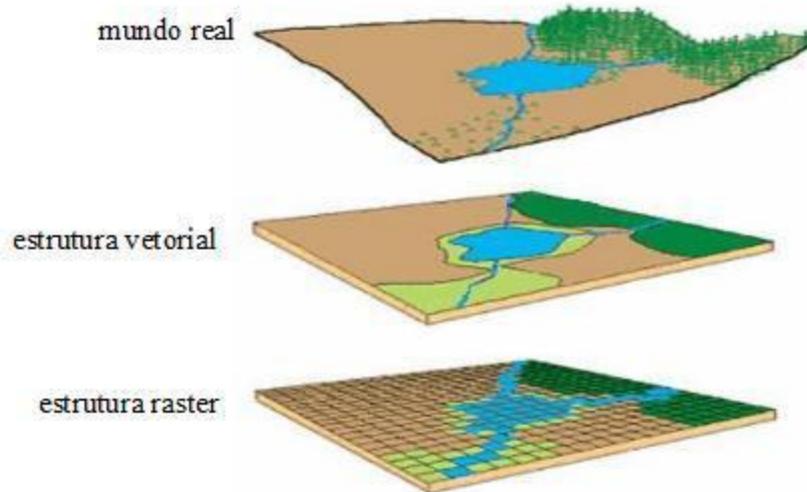
O mesmo ocorre com a aplicação dos índices e indicadores de sustentabilidade, que integram várias dimensões e agregam valores com diferentes escalas espaciais e temporais.

Para descrever esta realidade geográfica os principais recursos disponíveis são os mapas, as imagens orbitais e os modelos digitais de terreno (MDT). O mapa representa um modelo analógico da realidade, as imagens constituem uma fonte de elaboração e atualização dos mapas e o MDT permite uma visão tridimensional da região estudada mais próxima da realidade, principalmente do relevo.

As duas formas básicas de representação dos dados são as formas vetorial e matricial, conforme mostra a Figura 4.4. A representação em formato matricial (também chamada raster ou tesselação) é caracterizada por uma matriz de células de tamanhos regulares, onde para cada célula é associado um conjunto de valores representando as características geográficas da região. O pixel é

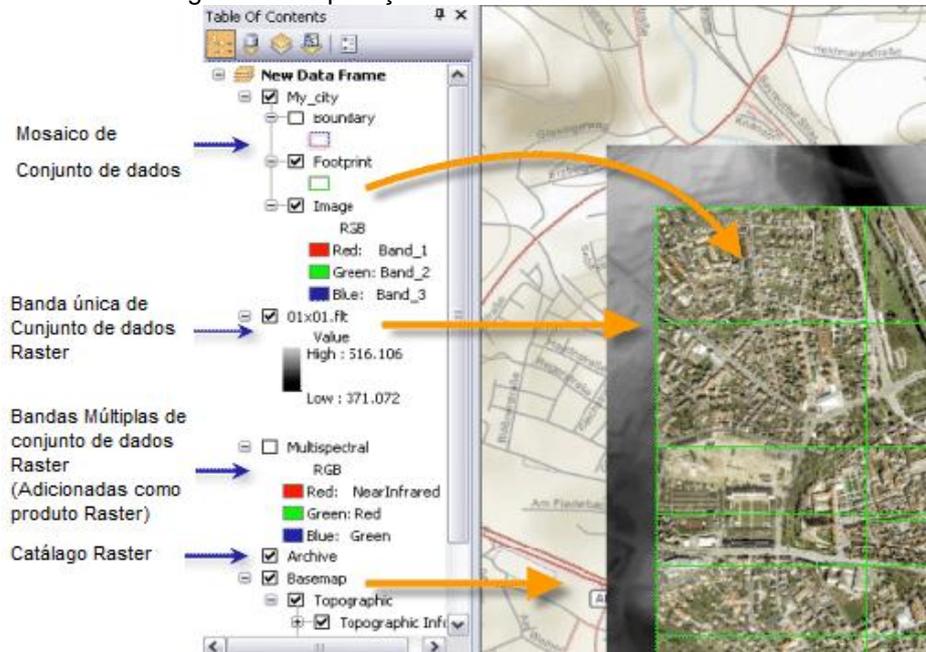
considerado a menor unidade que compõe uma estrutura raster. A Figura 4.5 a seguir ilustra uma aplicação computacional em formato raster.

Figura 4.4 - Representação do mundo real nas estruturas vetorial e raster.



Fonte: ESRI(2004)

Figura 4.5 - Aplicação em formato raster.

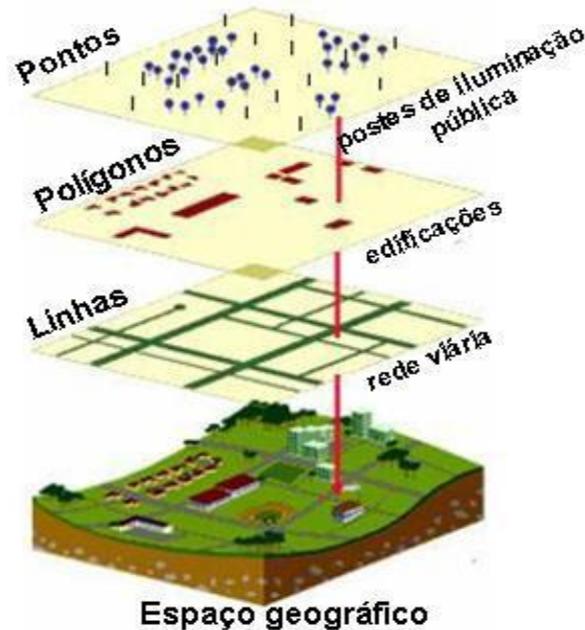


Fonte: ESRI(2004)

A representação em formato vetorial utiliza pontos, linhas e polígonos para representar a geometria das entidades geográficas conforme mostra a Figura 4.6. Os pontos são utilizados para identificar todas as entidades geográficas

representadas por um par de coordenadas. As linhas são formadas por uma sequência de pontos e os polígonos por uma sequência de linhas onde a coordenada do ponto inicial e final coincidem.

Figura 4.6 - Formas vetoriais utilizadas para representar o espaço geográfico em um SIG.



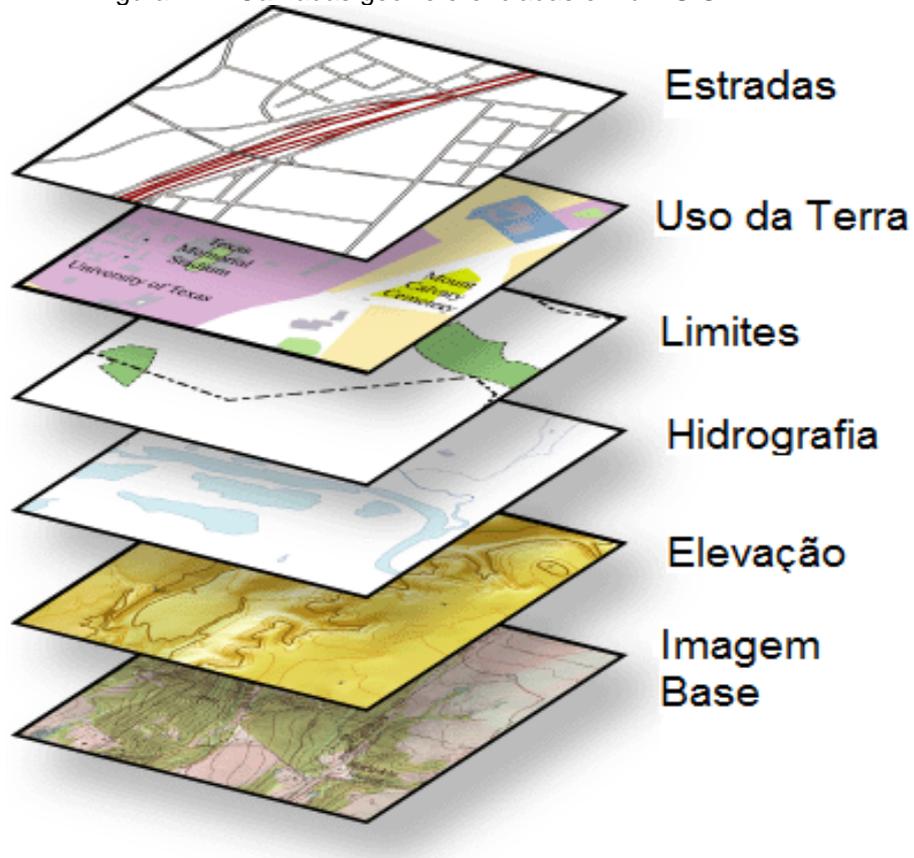
Fonte: ESRI(2004)

O formato vetorial geralmente é utilizado na aplicação de entidades geográficas lineares, como ruas, divisões político-administrativas, delimitação de bacias, sistemas viários, outros.

As redes são casos especiais de dados vetoriais, onde são utilizados arcos e nós conectados na representação do fluxo e da direção da rede. As operações topológicas e métricas são comuns em representações vetoriais.

Com base nestas formas geométricas, as informações temáticas são armazenadas em um SIG (Sistema de Informações Geográficas) como uma série de camadas georreferenciadas (Figura 4.7), onde cada camada ou plano de informação contém os atributos específicos de determinada variável espacial.

Figura 4.7 - Camadas georreferenciadas em um SIG.



Fonte: ESRI (2004)

A modelagem espacial é um dos principais recursos tecnológicos para descrever a evolução dos fenômenos ambientais e é comumente utilizada para modelar as mudanças ocorridas no ambiente ao longo de um determinado período de tempo possibilitando a projeção de cenários e a realização de análises das alterações identificadas no espaço geográfico estudado.

A coleta e análise de dados por meio da tecnologia de imageamento são consideradas, atualmente, a forma mais eficiente de monitoramento dos fenômenos naturais e da evolução do uso e ocupação do solo pelas atividades antrópicas.

Para que se possa extrair informações da superfície da terra a partir de dados de sensoriamento remoto se faz necessário o conhecimento do comportamento espectral dos alvos e objetos e dos fatores que interferem nesse

comportamento tais como fatores geométricos, atmosféricos e relativos ao alvo. Os principais componentes encontrados na superfície terrestre são a vegetação, os solos, as rochas e minerais, a água e as superfícies construídas.

Existem vários métodos para a realização da extração da informação por isso foi desenvolvido sistemas para o processamento digital de imagens. As técnicas de processamento de imagens digitais são o conjunto de programas que permitem a transformação dos dados digitais brutos em dados corrigidos geometricamente e radiometricamente. Também é feito a correção dos efeitos atmosféricos. As técnicas de realce visam melhorar a qualidade visual da imagem para, posteriormente, serem submetidas a interpretação visual. Já as técnicas de classificação realizam o reconhecimento automático dos objetos da cena a partir de uma análise quantitativa dos níveis de cinza.

As imagens de sensoriamento remoto são constituídas por pixels, com localização definida através de coordenadas geográficas do tipo grades (linhas e colunas). O tamanho desse pixel define a resolução espacial da imagem projetada no terreno.

Atualmente, com o surgimento dos satélites de alta resolução de última geração é possível uma visualização mais detalhada do espaço geográfico possibilitando uma avaliação multiespectral e temporal de mudanças ocorridas na superfície terrestre.

A utilização de produtos de sensoriamento remoto neste trabalho levou em consideração a disponibilidade de imagens de satélites para a região de estudo e que permitissem a elaboração de mapeamentos com níveis de detalhes compatíveis com a resolução e escala adotada para os produtos finais.

Desta forma, optou-se pela utilização de apenas um produto orbital de melhor resolução espacial, no caso, de algumas cenas produzidas a partir da imagem digital colorida do satélite SPOT 5 (Satellite pour l'Observation de la Terre), com 2,5 metros de resolução. O Sistema SPOT é um programa espacial francês,

constituídos pelos satélites SPOT 4, SPOT 5 e SPOT 6, que realizam a observação da terra e transmitem para estações de recepção e processamento dos dados.

A família SPOT é constituída por satélites de órbita polar com grande capacidade de imageamento, permitindo capturar cenas de 60 km x 60 km que leva a bordo sensores de alta resolução com resoluções espaciais variando de 20 m a 1,5 m. Estes sensores foram concebidos para operar em dois diferentes modos. O modo multiespectral (colorido) permite a aquisição dos dados em três faixas do espectro eletromagnético (vermelho, verde, infravermelho próximo) e no modo pancromático (preto e branco).

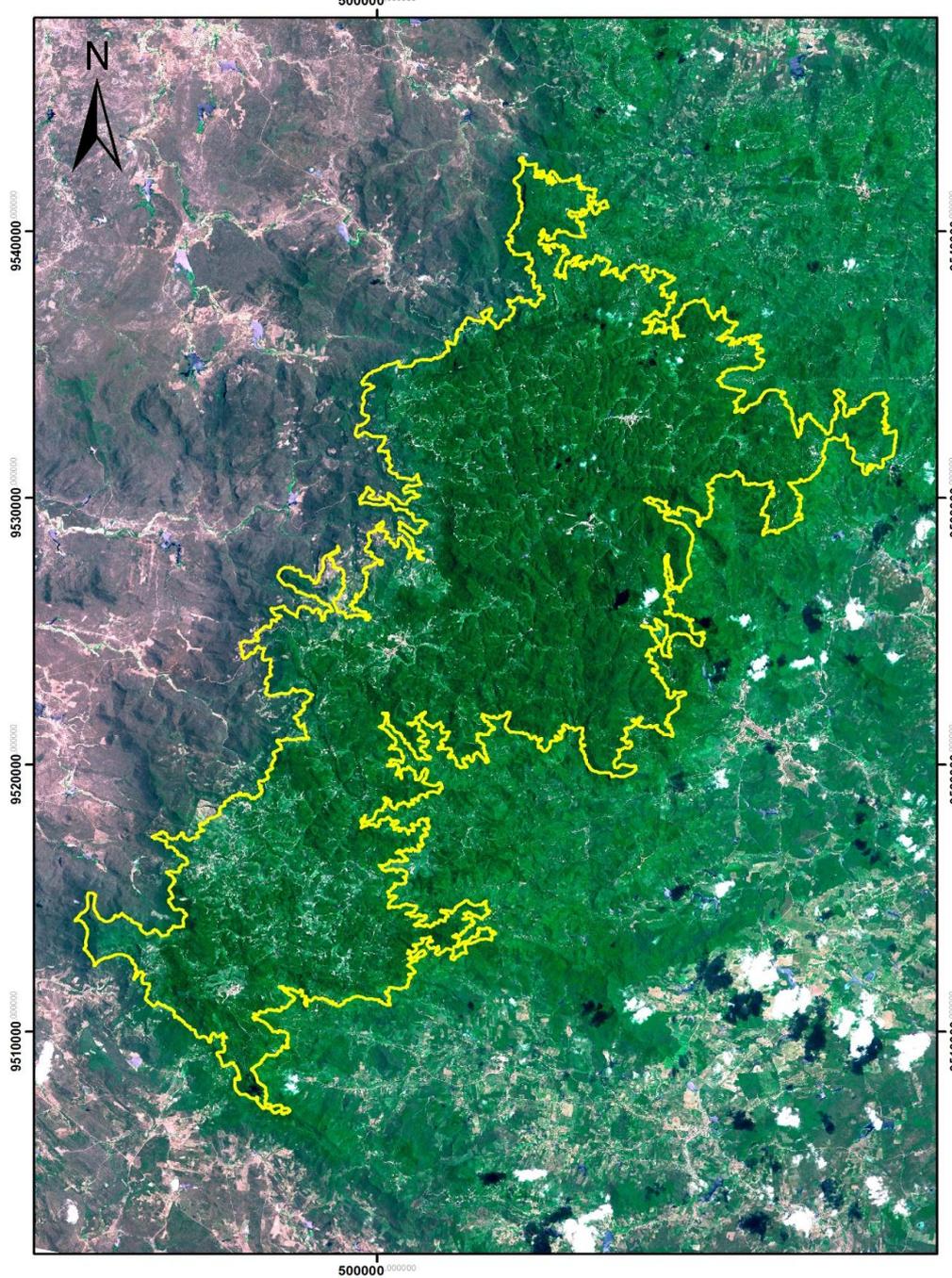
Os imageamentos produzidos pelo Satélite SPOT 5 com 2,5 metros de resolução foram disponibilizados pela FUNCEME e IPECE devidamente corrigidas geometricamente, georreferenciados e ortorretificados.

A cena fornecida pela FUNCEME é datada do final de 2004 e o mosaico produzido a partir de duas cenas fornecidas pelo IPECE datam de 2013. Esta resolução permite a execução de mapeamentos planimétricos até a escala de 1:25.000, de acordo com as normas técnicas da cartografia nacional obedecendo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A. Esta escala foi adotado nos mapeamentos temáticos.

É importante ressaltar que a data de aquisição dos produtos de sensoriamento remoto correspondem ao mesmo período adotado para todo o conjunto de parâmetros, indicadores e índices levantados.

A Figura 4.8 e a Figura 4.9 mostram cenas do Satélite SPOT 5 com 2,5 m de resolução da região de estudo para os períodos de 2004 e 2013 respectivamente.

Figura 4.8 - Imagem SPOT (2,5 m de resolução) da APA de Baturité de 2005.



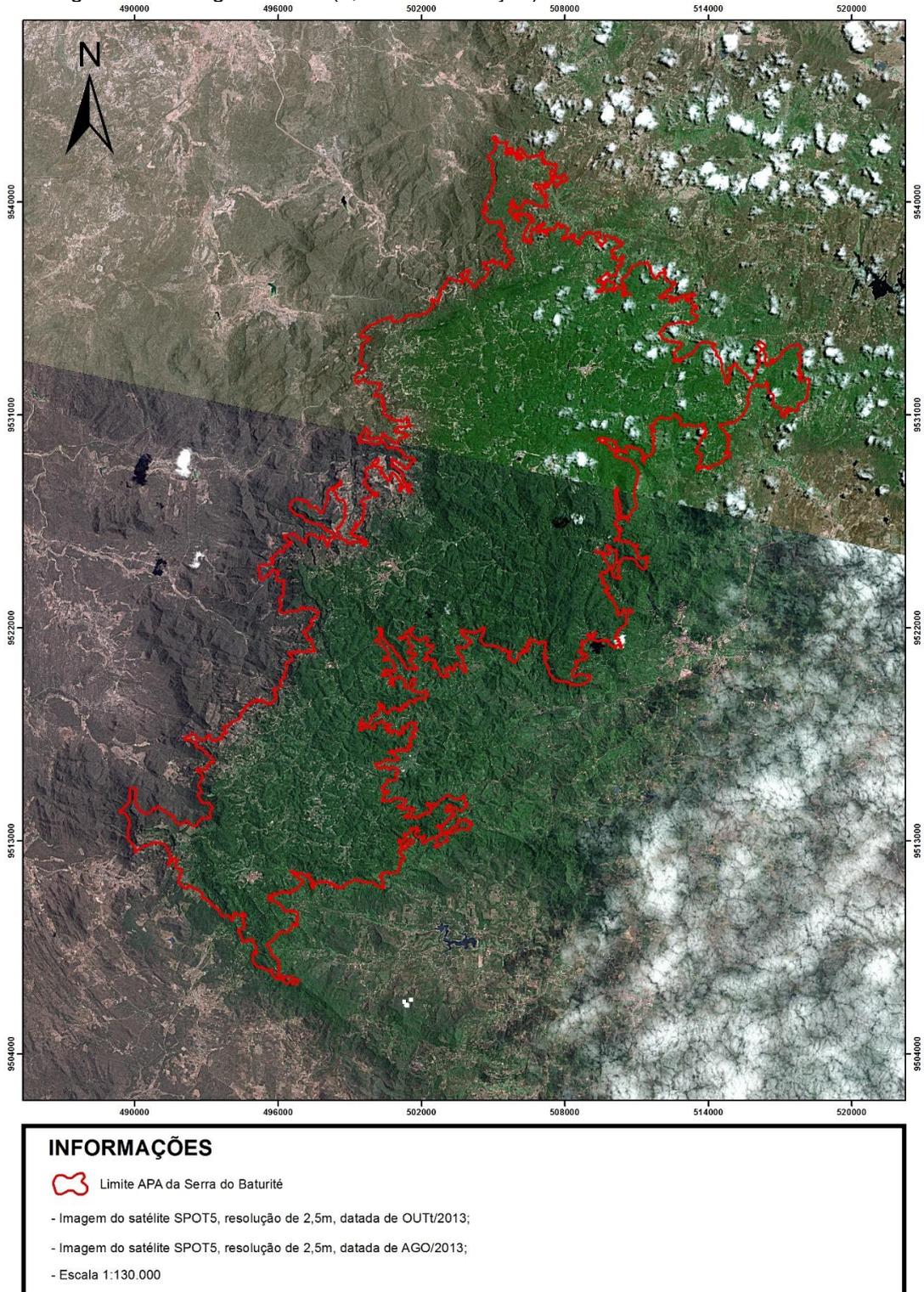
**INFORMAÇÕES**

 Limite APA da Serra do Baturité

- Imagem do satélite SPOT5, resolução de 2,5m, datada de SET/2004 ;
- Escala 1:167.827

Fonte: Funceme (2005)

Figura 4.9 - Imagem SPOT (2,5 m de resolução) da APA de Baturité de 2013.



Fonte: Ipece (2013)

#### 4.8 Mapeamentos Temáticos

A compreensão da dinâmica da uma paisagem requer visão integrada dos aspectos físicos e ecológicos e de suas interações com os fatores sociais, econômicos e políticos.

A produção de todas as informações espaciais foram estruturadas no software ArcGIS (ESRI) utilizando os recursos para extração, interpretação, e vetorização a partir dos produtos de sensoriamento remoto e a confecção de mapeamentos temáticos da cobertura vegetal e uso do solo, relevo e APP's (Áreas de Preservação Permanente) na escala 1:25.000.

O processo de interpretação da imagem SPOT5 constituiu a principal fonte de informação espacial na geração do mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra nos dois períodos estudados. A cartografia temática resultante forneceu informações qualitativas e quantitativas subsidiando a análise da organização espacial da área estudada na aplicação do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) da APA .

A produção dos mapeamentos temáticos serviu como base para o desenvolvimento de alguns índices e indicadores para cada município nos dois períodos distintos. Para estimar a declividade média foi feito uma interpolação das curvas de nível geradas pelo modelo digital de terreno (MDT). Para compor os índices de ocupação urbana e os índices relacionados à cobertura vegetal foi feito uma vetorização a partir das imagens SPOT 5 para o calcular as áreas das manchas urbanas, da cobertura vegetal, da áreas de preservação permanente, das áreas cultivadas e das áreas nativas.

Na produção dos mapeamentos temáticos foi definido uma legenda compatível com os objetivos do projeto e com base em uma análise visual dos padrões de textura, tonalidade e formas geométricas observadas nos produtos de sensoriamento remoto utilizados.

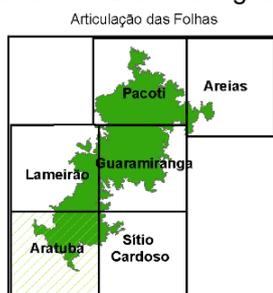
#### 4.8.1 Declividade

O mapa de declividade ou de relevo representa a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Para a elaboração do mapa de relevo foi aproveitado uma base cartográfica planialtimétrica produzida pela FUNCEME resultantes do levantamento aerofotogramétrico feito pelo IDACE de 1985 da APA de Baturité e foram digitalizadas as curvas de nível das ortofotocartas planialtimétricas em escala de 1:25.000.

Após a digitalização das curvas de nível foi gerado o TIN (Triangulated Irregular Network) o qual consiste em um modelo digital criado a partir de curvas de nível e/ou pontos cotados, aonde ocorre a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra e cria um modelo matemático com valores de altitude. Representa o espaço a partir de um conjunto de triângulos com tamanhos variados. Por último, a partir do TIN gera-se o arquivo SLOPE (declividade) no qual possui a finalidade de demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal.

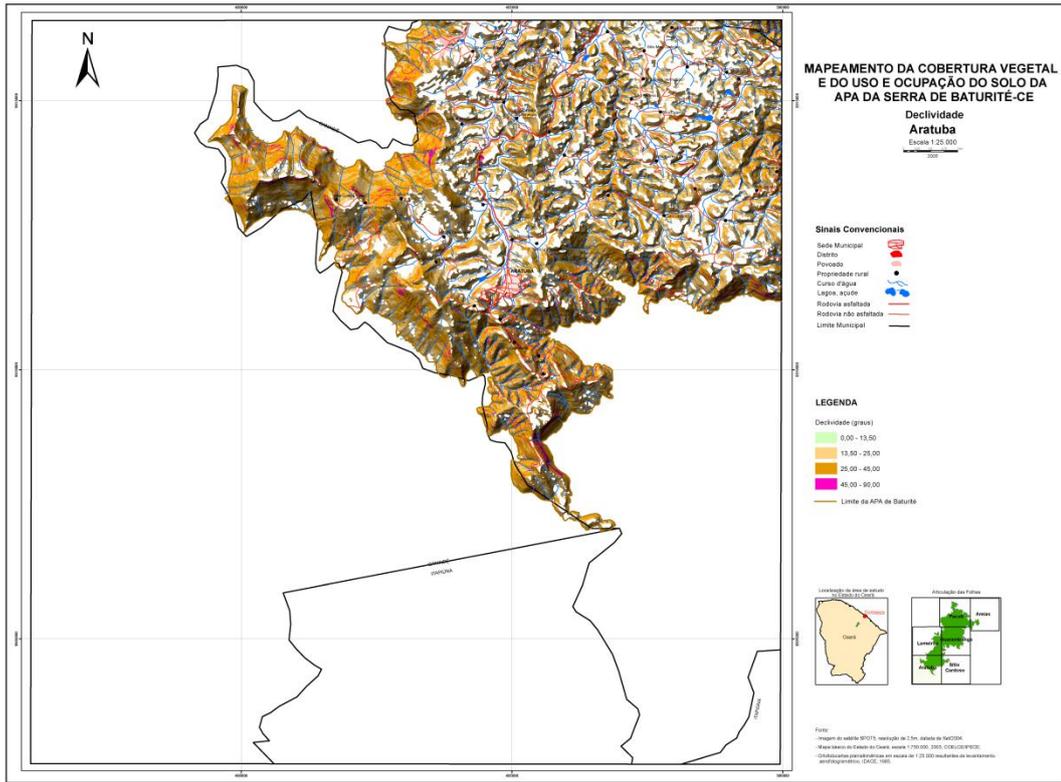
Em seguida foi gerado o MDT (Modelo Digital de Terreno) da APA a partir de recursos do software ArcGIS (ESRI) tendo como base o arquivo vetorial das curvas de nível com equidistância de 10 m. A Figura 4.10, mostra a disposição das folhas cartográficas na APA de Baturité. A Figura 4.11, Figura 4.12, Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15 e Figura 4.16 mostram os mapas de relevo para área em estudo. Como não ocorrem mudanças significativas na geomorfologia em tão curto espaço de tempo (2005-2013) não foram produzidos mapas para os dois períodos.

Figura 4.10 – Disposição das Folhas Cartográficas na APA de Baturité.



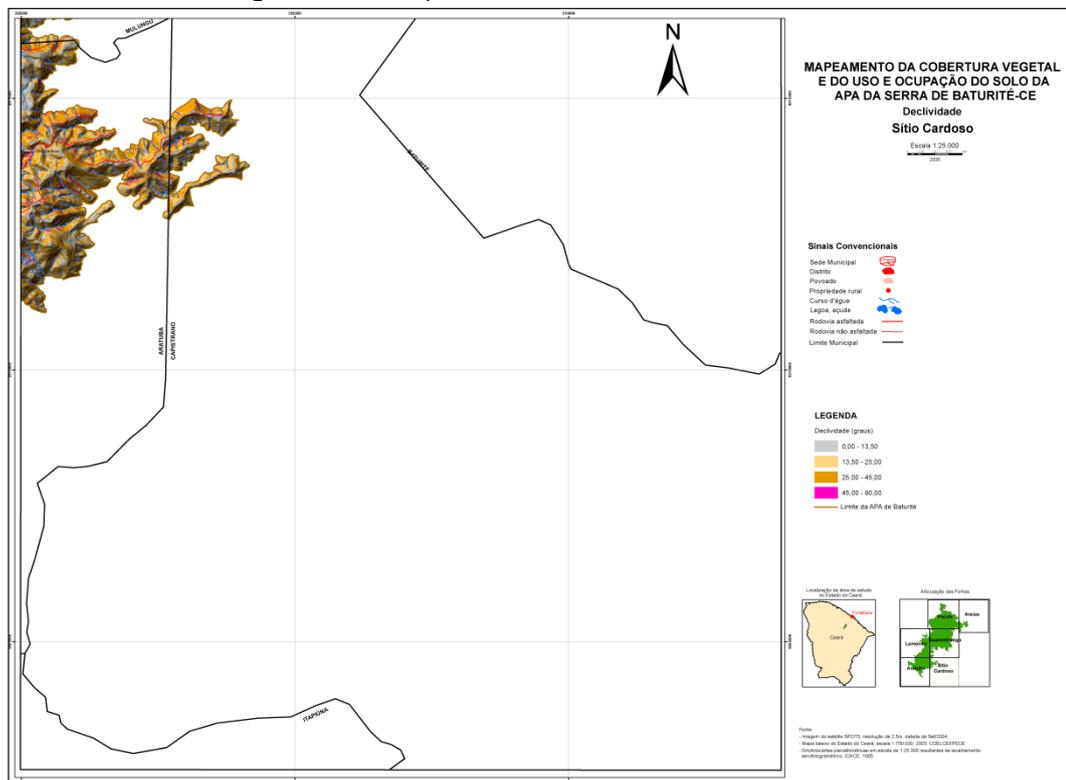
Fonte: Autor

Figura 4.11 - Mapa de Declividade de Aratuba.



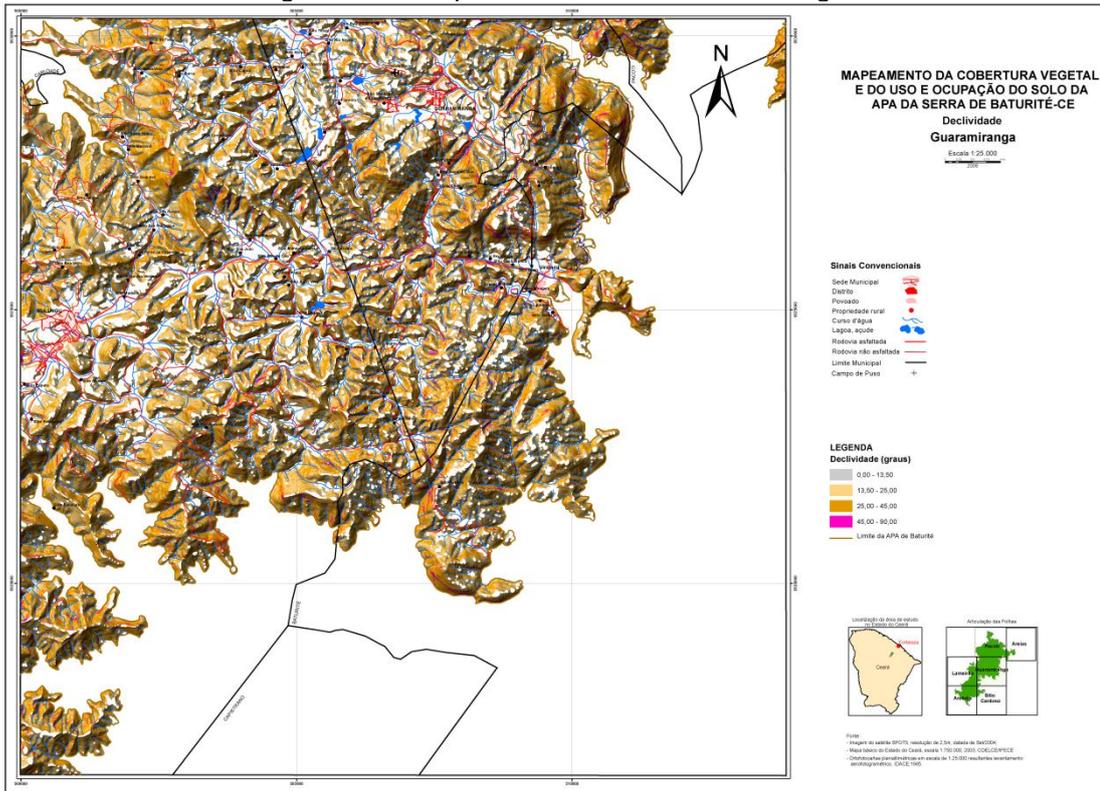
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.12 - Mapa de Declividade de Sítio Cardoso.



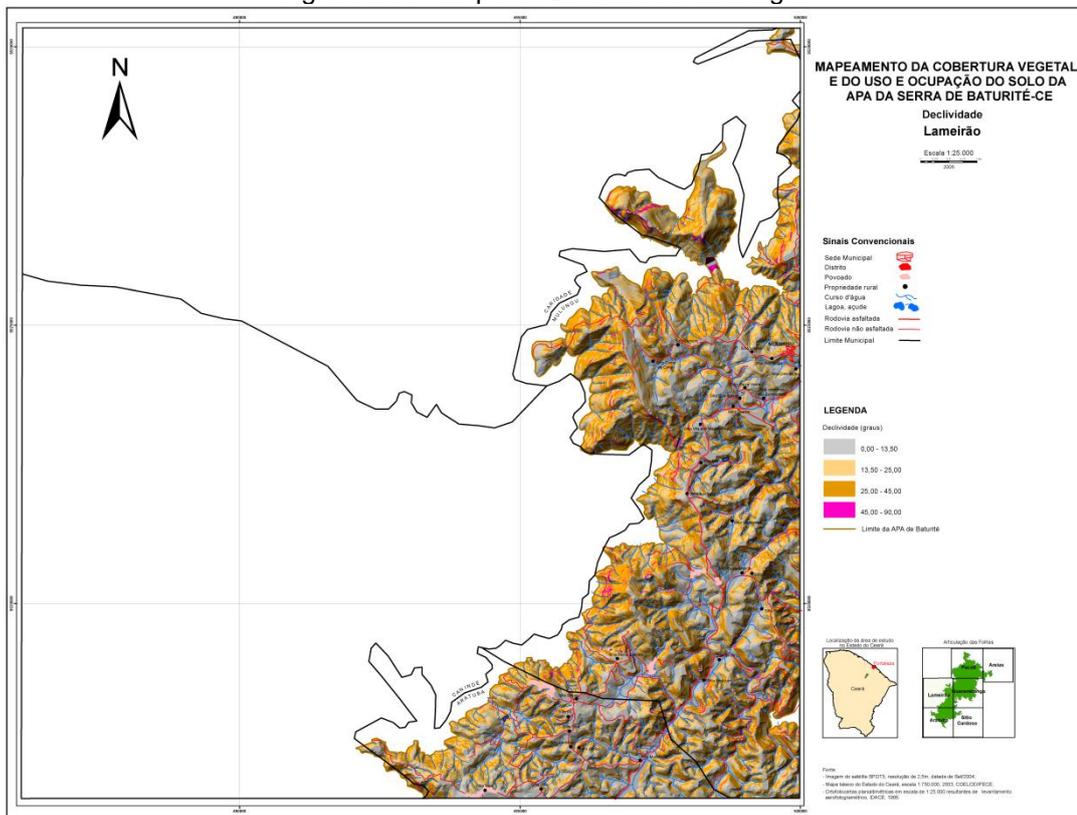
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.13 - Mapa de Declividade Guaramiranga.



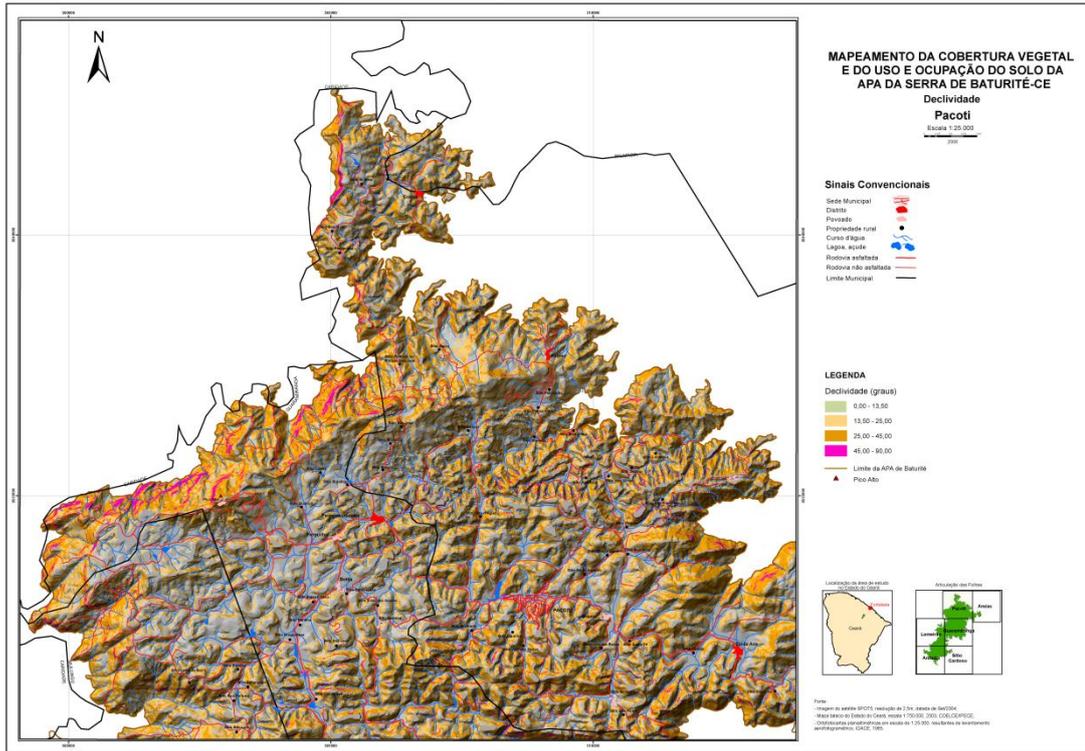
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.14 - Mapa de Declividade Mulungu.



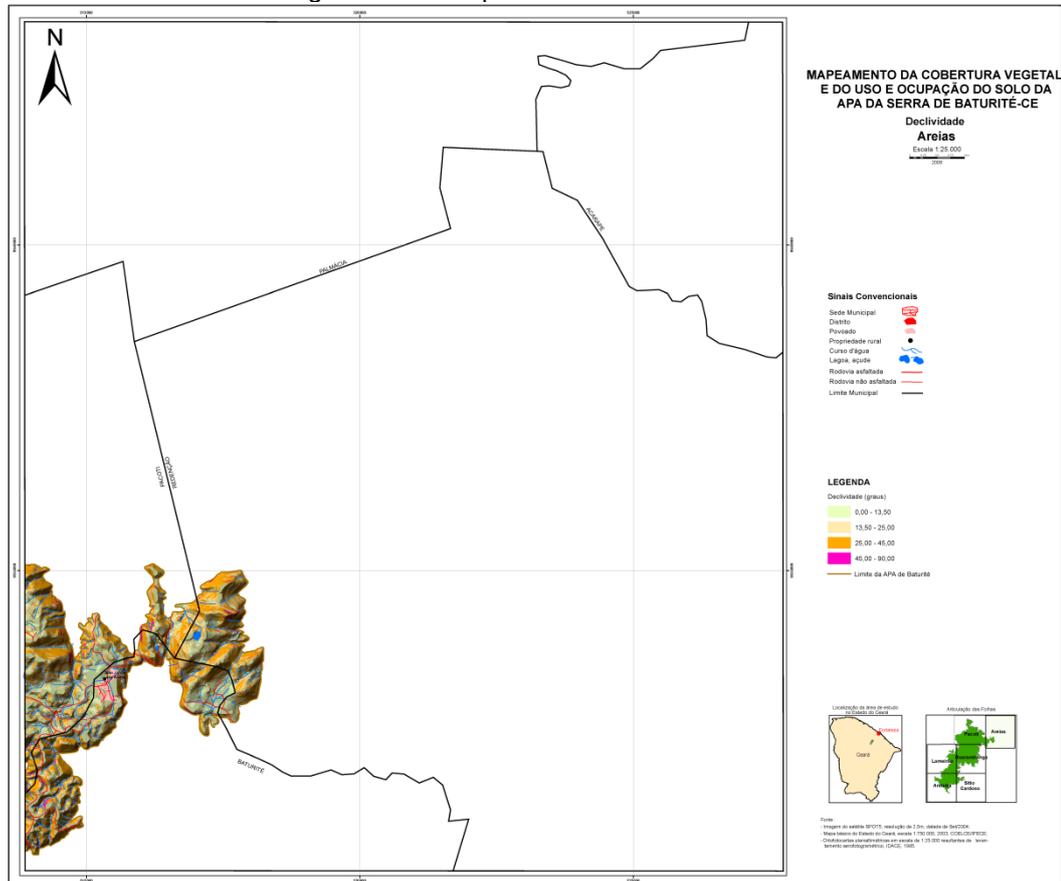
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.15 - Mapa de Declividade Pacoti.



Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.16 - Mapa de Declividade Areias.



Fonte: Funceme (2006)

#### **4.8.2 Áreas de Preservação Permanente (APP's)**

A produção de todas as informações espaciais foram estruturadas no software ArcGIS (ESRI) utilizando os recursos para extração, interpretação, e vetorização a partir dos produtos de sensoriamento remoto e a confecção de mapeamentos temáticos de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal na escala 1:25.000.

Para elaborar os mapas de APP'S foram utilizados os dados de elevação e relevo a partir dos Mapas de Declividade e estabelecido critérios de acordo com o Código Florestal Brasileiro e produzido a vetorização das áreas marginais dos rios e riachos a partir da imagem SPOT 5, resolução 2,5m.

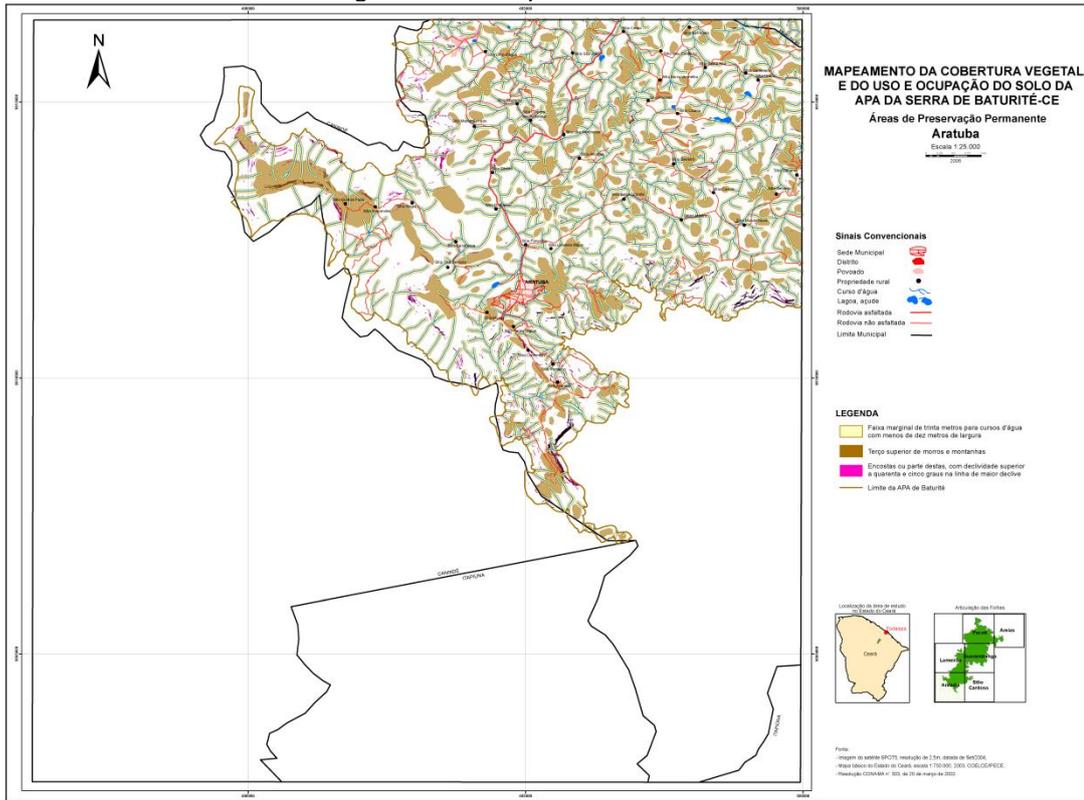
Para o polígono de APP de topo de morro foi utilizada a resolução do CONAMA 303/2002, que estabelece que o terço superior de morros e montanhas, cuja elevação ultrapasse 50m e declividade seja superior a 30 %, devam ser protegidos.

A delimitação da APP de terço de morros e montanhas foi embasada pelo ART 2º, item e do Código Florestal e pela Resolução do CONAMA 303, ART 3º, item VII o qual definem a proteção das encostas com declividade superior a 45º.

A geração do buffer de 30 metros para a Faixa Marginal dos cursos d'água com menos de dez metros de largura seguiu a determinação do Art.2º, alínea a, inciso I do Código Florestal e do Art.3º, inciso I, alínea a da Resolução do Conama 303.

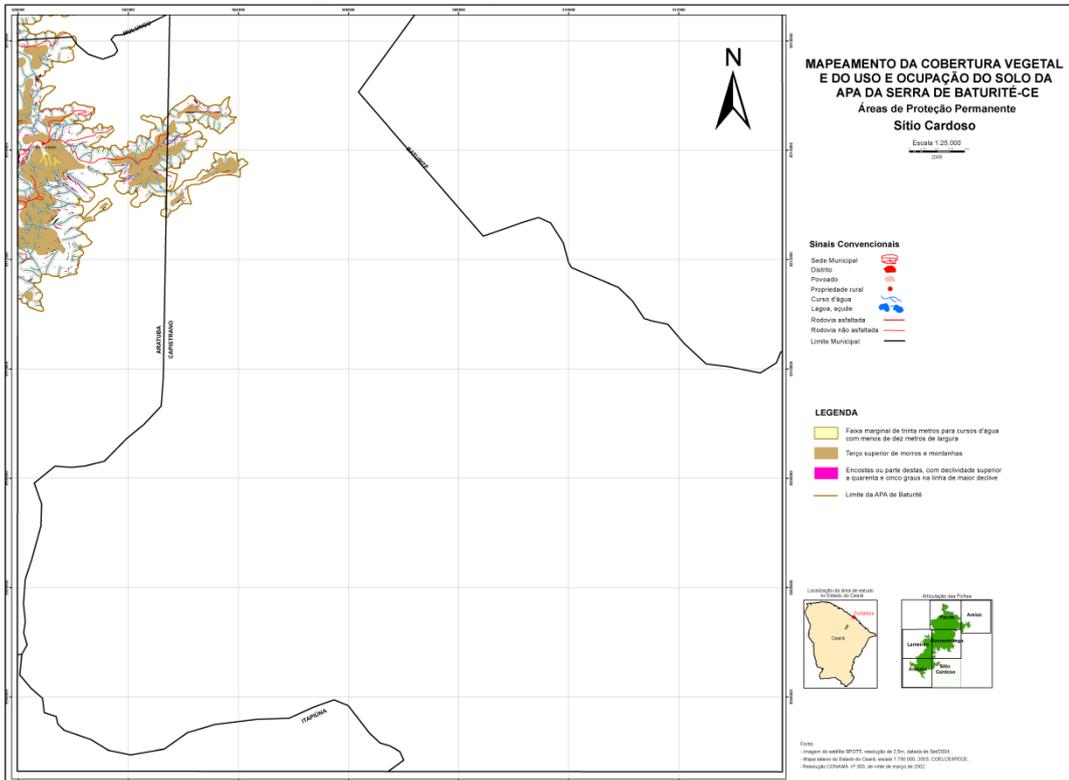
Em virtude das APP's estarem regulamentadas por lei onde as áreas protegidas são delimitadas em função da declividade e das áreas marginais aos cursos d'água não foi necessário a confecção de mapas para os dois períodos (2005-2013). A Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19, Figura 4.20, Figura 4.21 e Figura 4.22 mostram os mapas das APP's para área em estudo.

Figura 4.17 - Mapa de APP Aratuba.



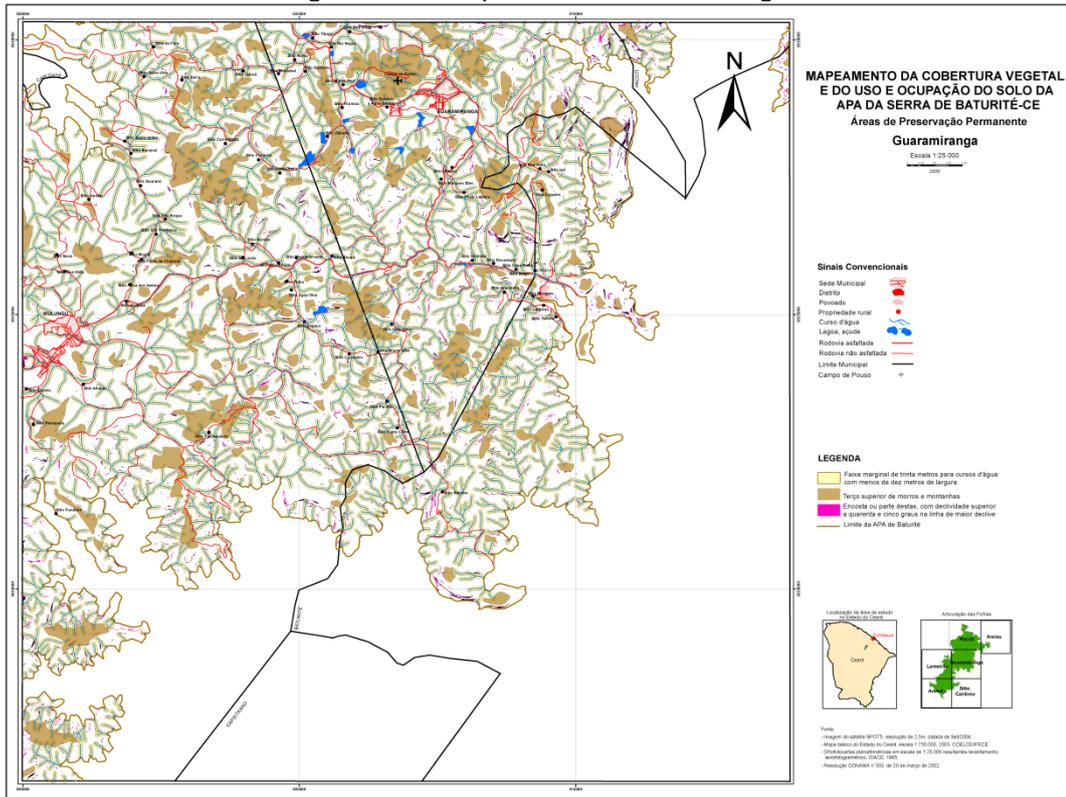
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.18 - Mapa de APP Sítio Cardoso.



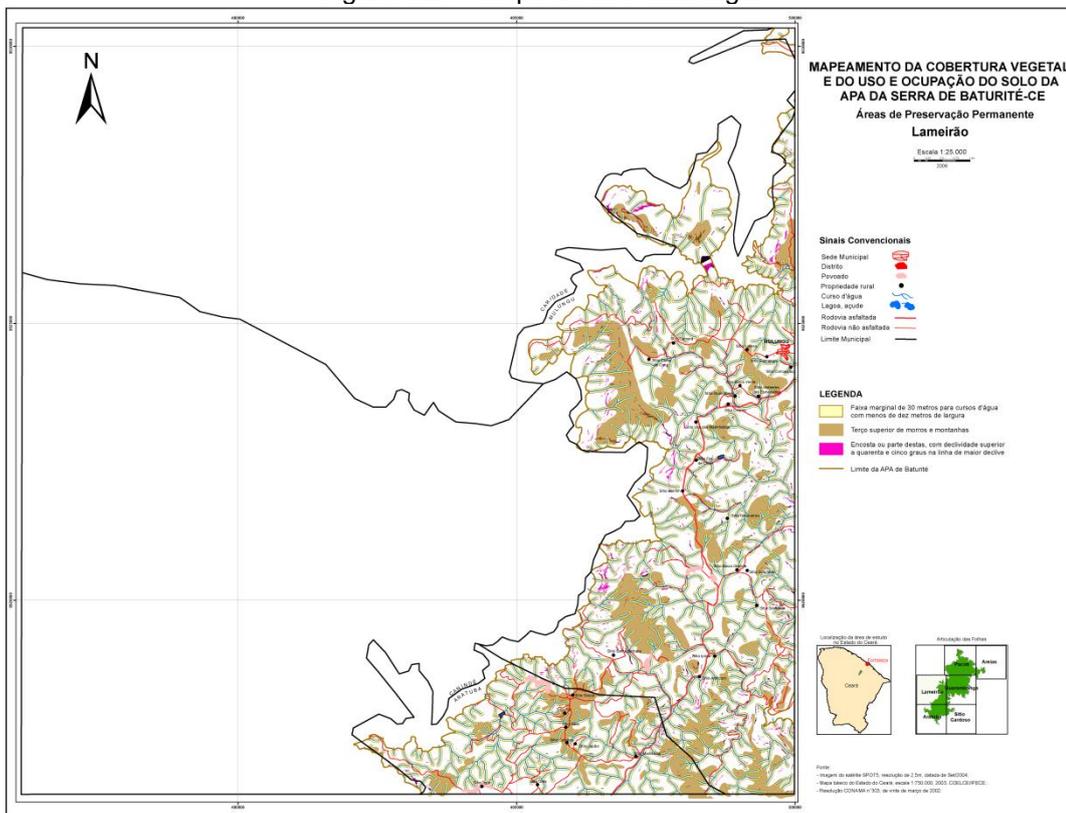
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.19 - Mapa de APP Guarimiranga.



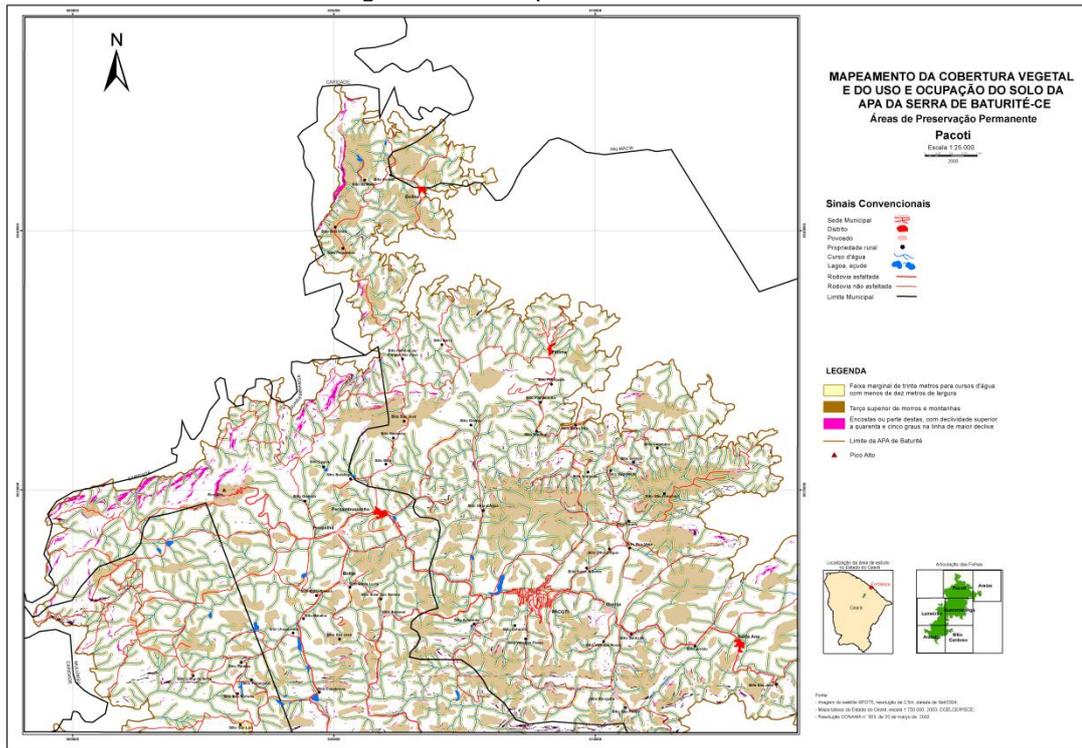
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.20 - Mapa de APP Mulungu.



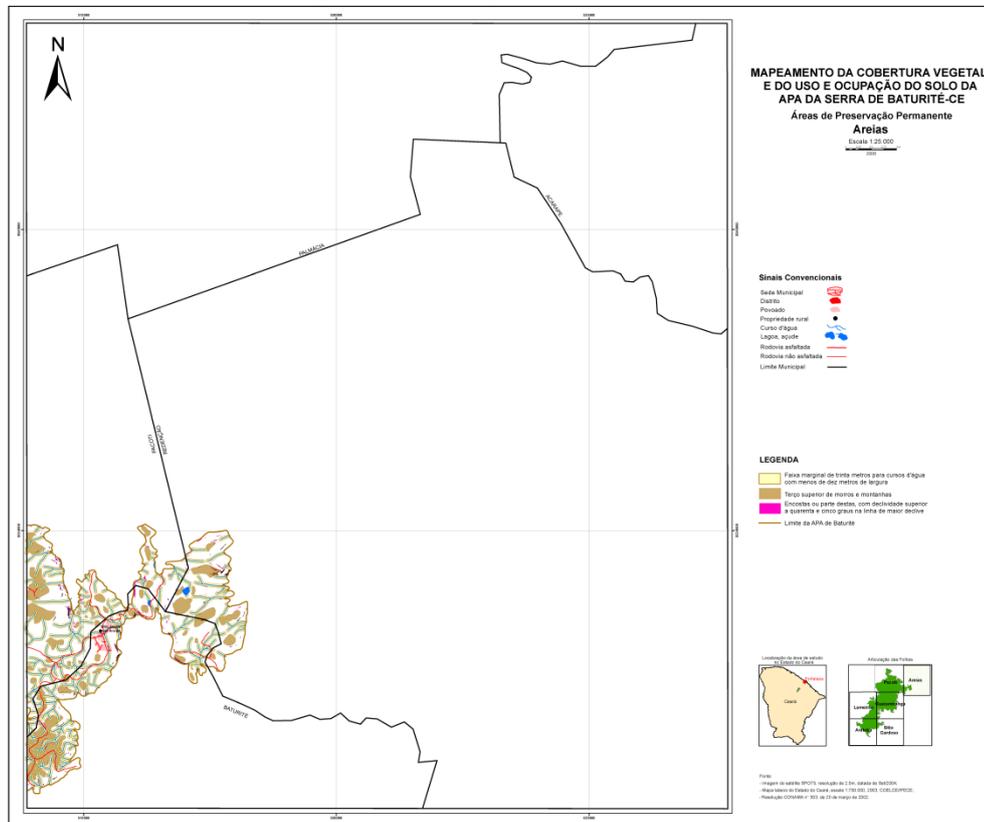
Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.21 - Mapa de APP Pacoti.



Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.22 - Mapa de APP Areias.



Fonte: Funceme (2006)

### **4.8.3 Uso e Ocupação dos Solos/Cobertura Vegetal**

As informações espaciais do meio físico relativas à cobertura vegetal, uso do solo, foram produzidos com base em mapeamentos temáticos realizados a partir das imagens de satélite SPOT-5 (2,5m de resolução) para os dois períodos distintos (2004 e 2013) na escala de 1:25.000.

Para elaborar o Mapa de Uso e Ocupação foram determinadas três classes temáticas que foram denominadas:

- Floresta Tropical Plúvio-Nebular Perenifólia/Subperenifólia (Mata Úmida)
- Floresta Tropical Subcaducifólia (Mata Seca)
- Atividades Agrícolas

A determinação das áreas de cobertura de Mata Úmida e de Mata seca foi realizada através da utilização da técnica de NDVI na imagem SPOT 5 5, resolução 2,5m nos períodos de 2005 e 2013.

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é gerado pela diferença entre a reflectância do infravermelho próximo (IVP) e a reflectância do vermelho (V), dividida, respectivamente pela soma das duas reflectâncias. Essa equação gera um índice que varia de -1 a 1. Quanto maior o valor do índice maior a presença de vegetação.

Com o resultado do NDVI foi aplicado outra técnica denominada Classificação Supervisionada a qual se consiste no uso de algoritmos para se determinar os pixels que representam valores de reflexão característicos para uma determinada classe. A Figura 4.23, Figura 4.24, Figura 4.25, Figura 4.26, Figura 4.27, Figura 4.28, Figura 4.29, Figura 4.30, Figura 4.31, Figura 4.32 e Figura 4.33 mostram os mapas de uso e ocupação dos solos para os quatro municípios da área em estudo nos dois períodos (2005 e 2013).

Figura 4.23 -Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Aratuba 2005.

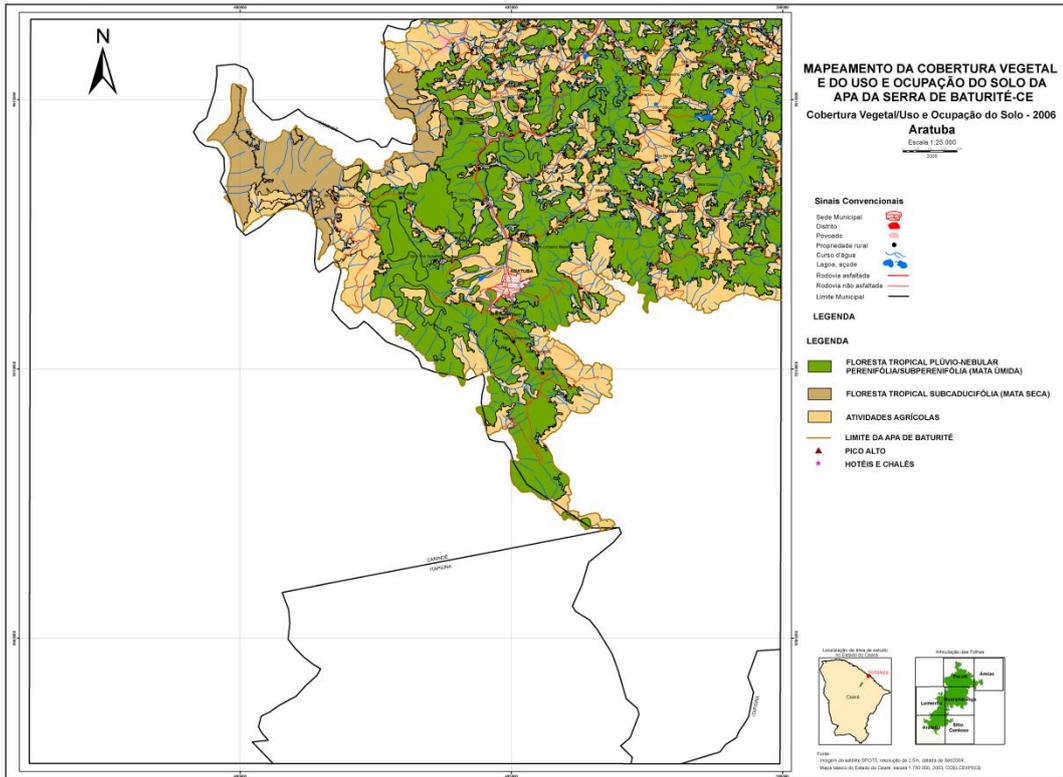


Figura 4.24 -Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Sítio Cardoso 2005.

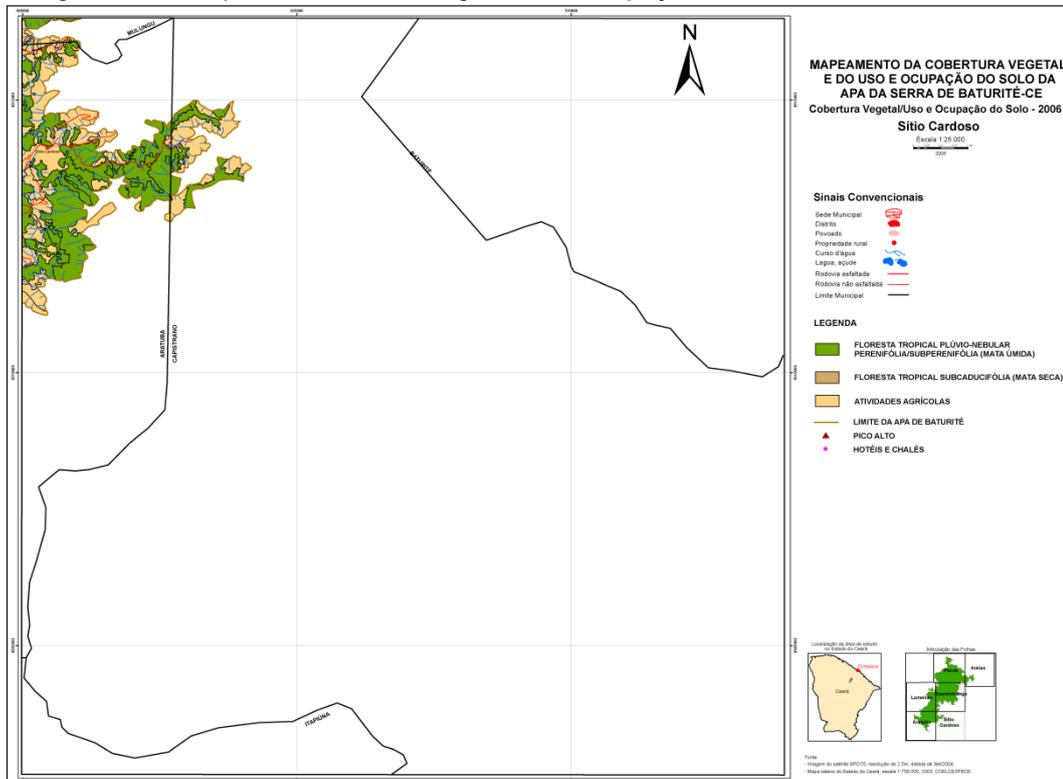


Figura 4.25 - Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Guaramiranga 2005.

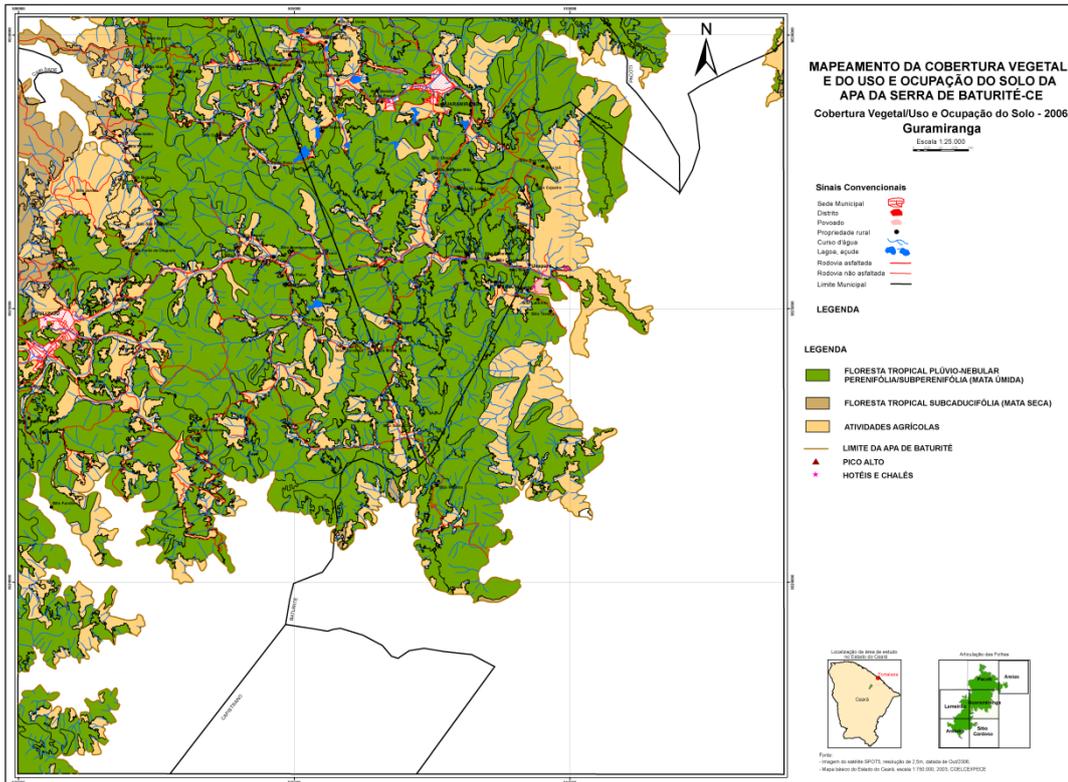


Figura 4.26 - Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Mulungu 2005.

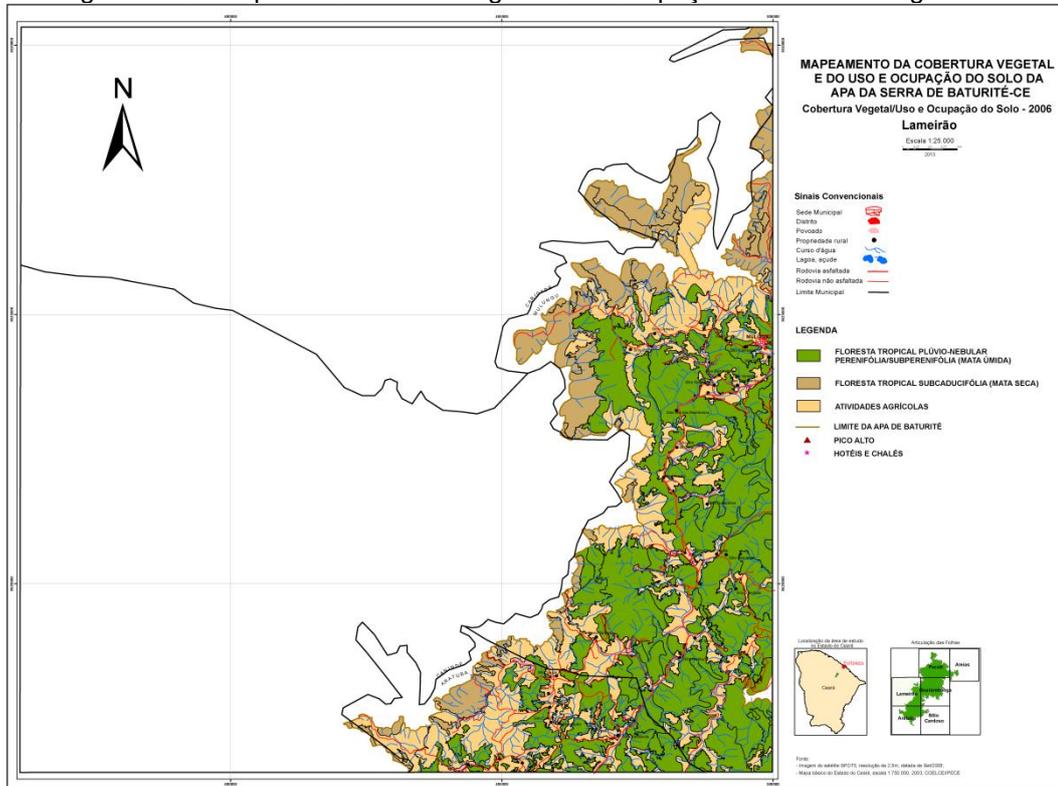
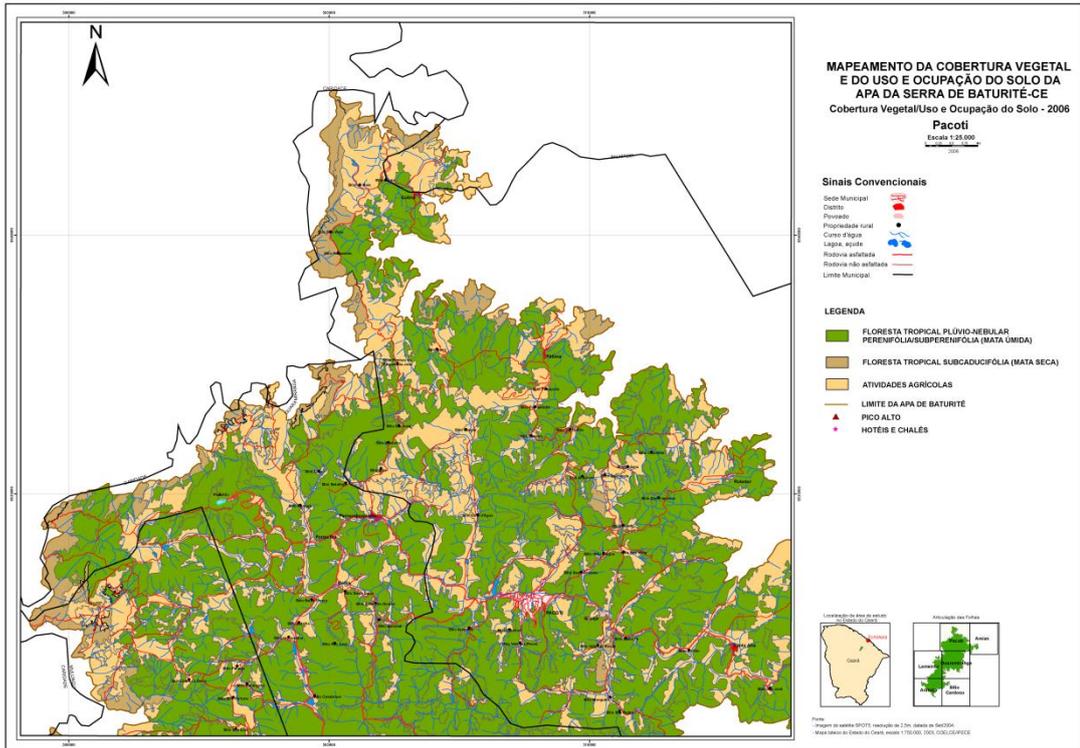
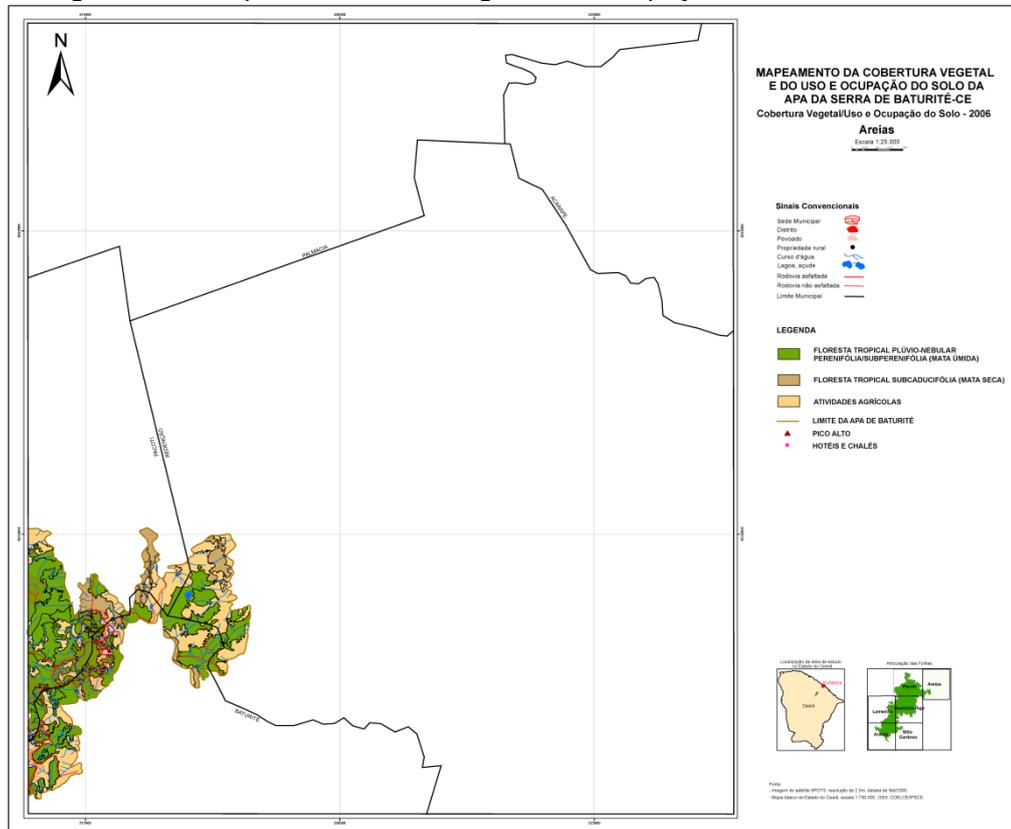


Figura 4.27 - Mapa de Cobertura Vegetal/ Uso Ocupação do Solo Pacoti 2005.



Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.28 - Mapa de Cobertura Vegetal/ Uso Ocupação do Solo Areias 2005.



Fonte: Funceme (2006)

Figura 4.29 - Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Aratuba 2013.

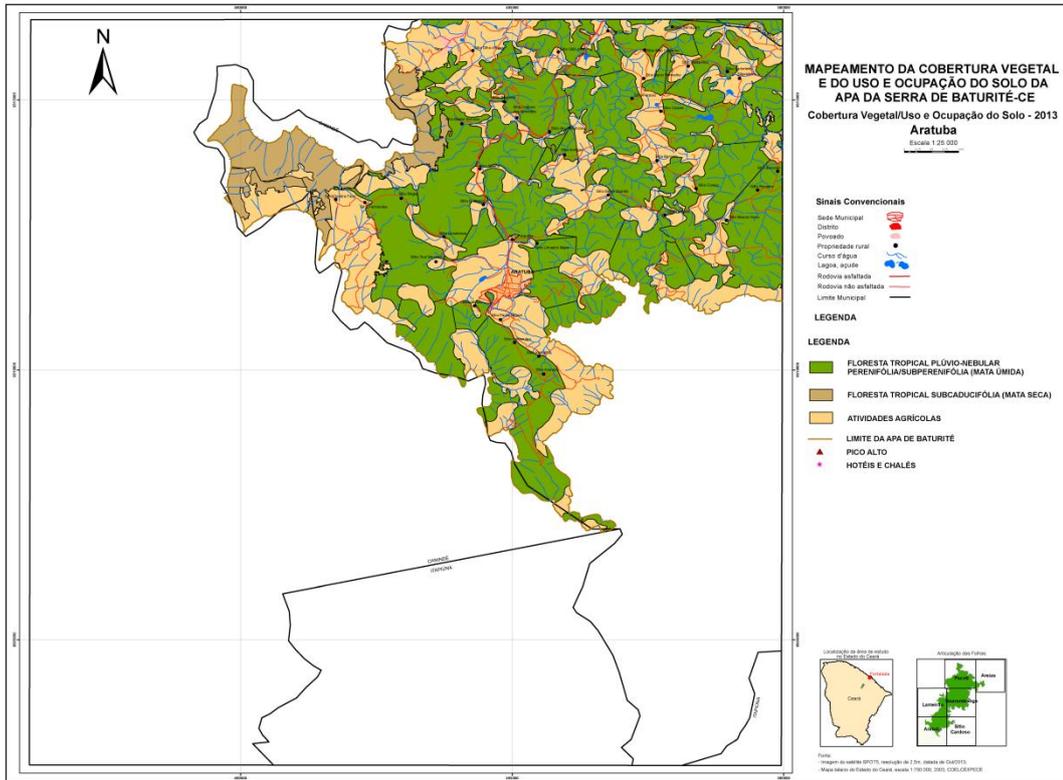


Figura 4.30 -Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Sítio Cardoso 2013.

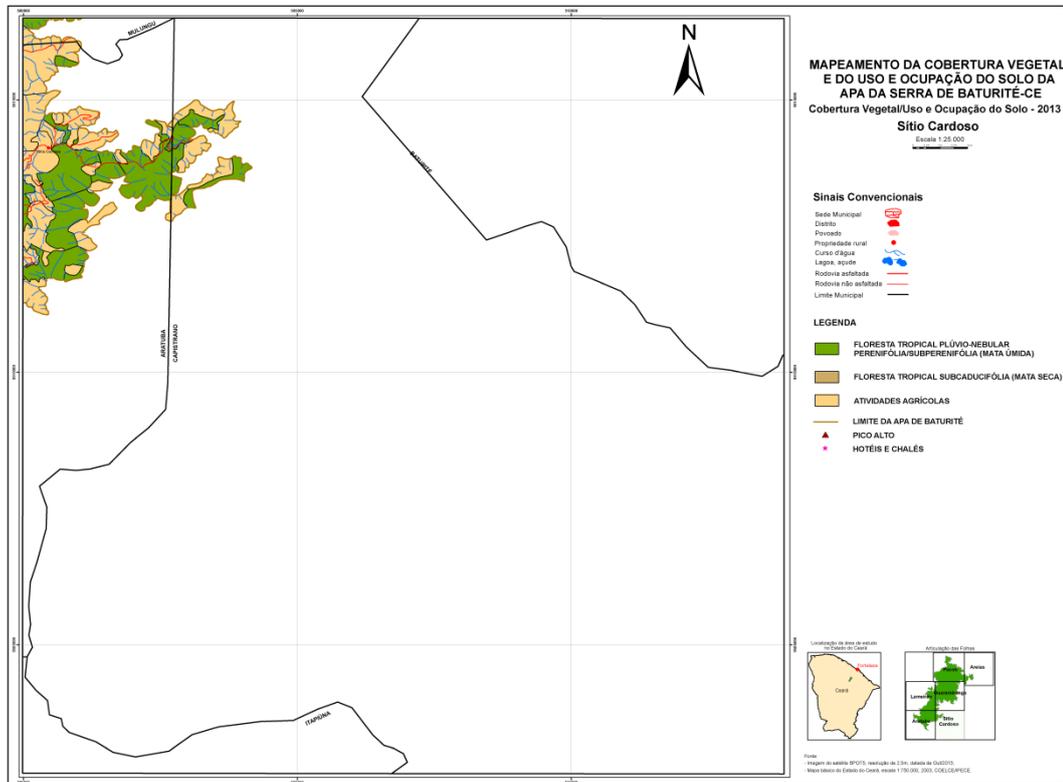


Figura 4.31 - Mapa de Cobertura Vegetal/ Uso Ocupação do Solo Guaramiranga 2013.

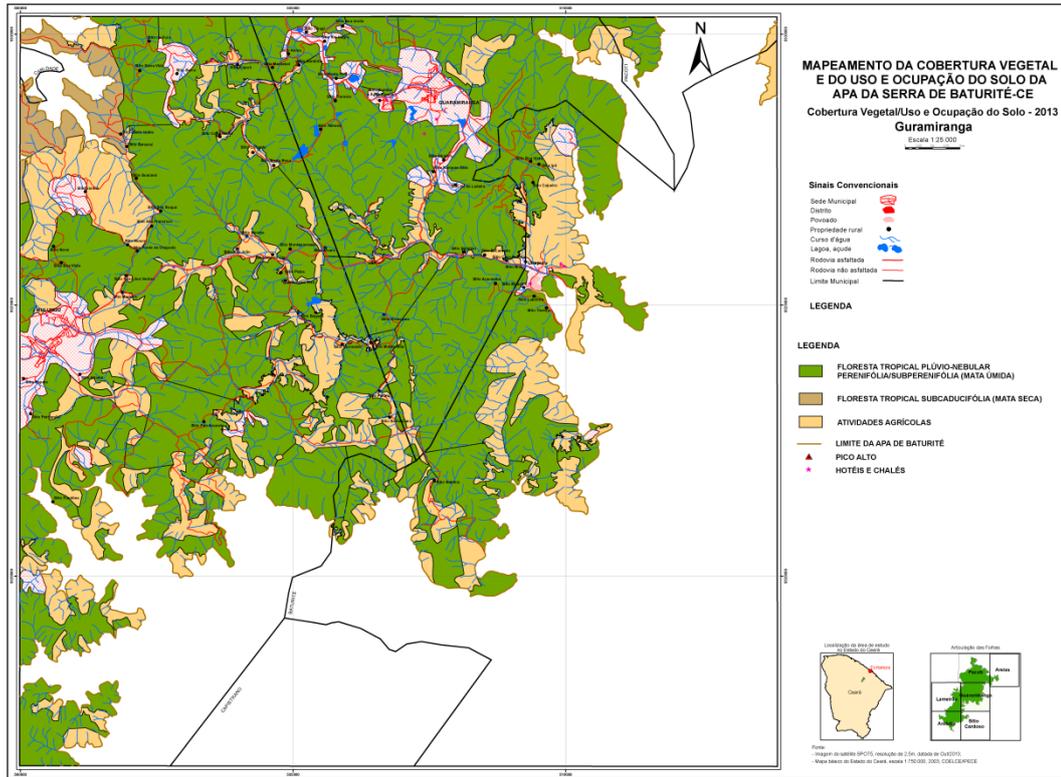


Figura 4.32 - Mapa de Cobertura Vegetal/ Uso Ocupação do Solo Mulungu 2013.

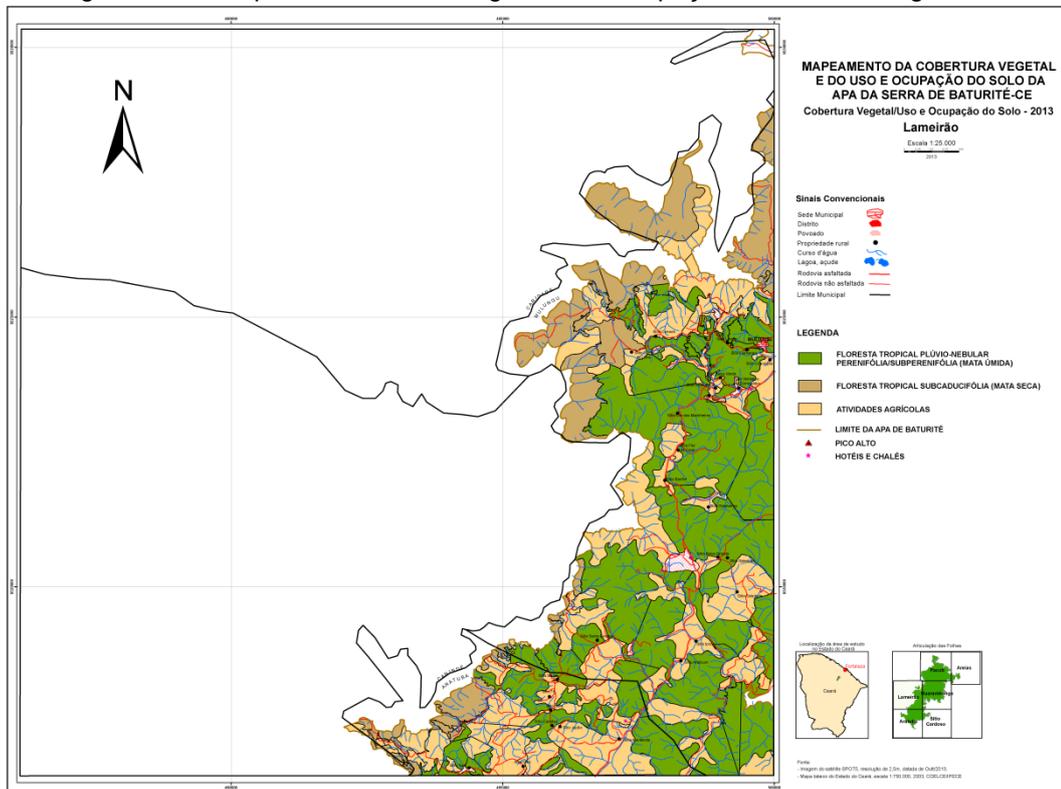
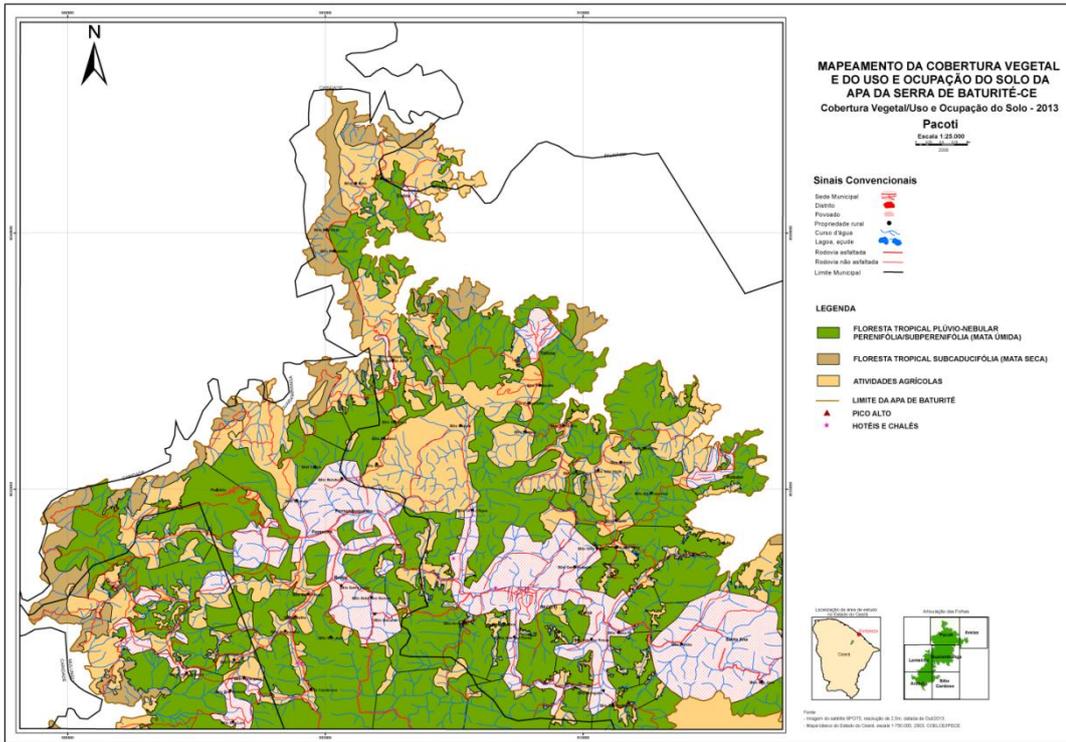
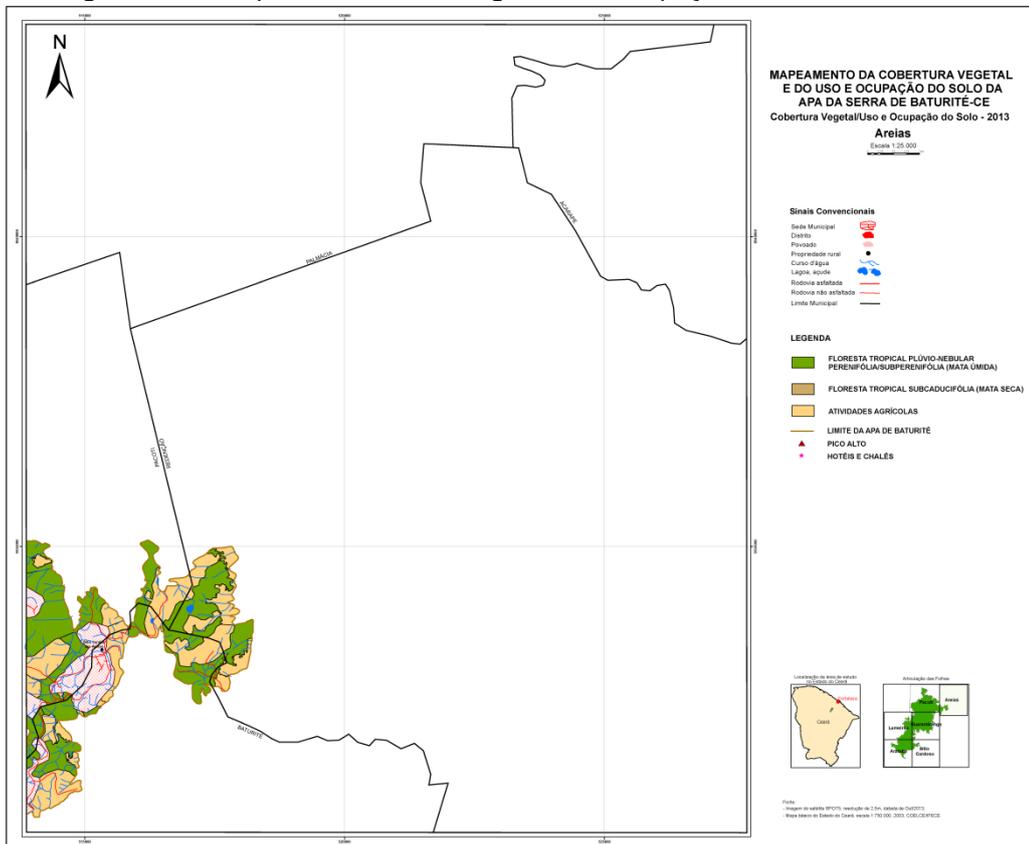


Figura 4.33 - Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Pacoti 2013.



Fonte: Ipece (2013)

Figura 4.34 - Mapa de Cobertura Vegetal/Use Ocupação do Solo Areias 2013.



Fonte: Ipece (2013)

#### 4.9 Análise Espaço-Temporal do ISHA

No presente trabalho foram elaborados produtos cartográficos para viabilizar a análise das transformações espaciais da cobertura e uso da terra para os dois períodos mapeados.

Para esta finalidade foram utilizadas ferramentas de geotecnologias como o geoprocessamento, o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens para realizar o georreferenciamento, a ortorretificação, a vetorização das cenas para os mapeamentos temáticos, a confecção dos modelos digitais de elevação para geração das curvas de nível e a produção dos mosaicos a partir das cenas adquiridas para os dois períodos distintos.

Foram realizados os mapeamentos da cobertura vegetal, relevo e uso da terra aplicando recursos disponíveis em *softwares* de última geração. Esses mapeamentos serviram de base para gerar índices e indicadores físicos, bióticos e o ISHA para os quatro municípios da região em dois períodos e permitindo uma análise espaço temporal para identificação dos tipos de transformações ocorridas na região.

Para descrever as alterações espaciais da paisagem entre os períodos de 2005 e 2013 foi realizada uma análise visual comparativa entre os mapas de uso e cobertura da terra referente a esses períodos. Foi também feito o mesmo procedimento para os índices obtidos nos três níveis de aglutinação pelo modelo estrutural PSR proposto. Os índices produzidos foram classificados e agrupados em setores e estabelecido uma legenda de cores em função do desempenho obtido.

Em seguida foi feito uma análise comparativa da evolução do ISHA entre os dois períodos para os quatro municípios da região permitindo uma análise em escala regional.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta seção são apresentados, inicialmente, os resultados obtidos para cada índice e indicador selecionados obtidos a partir dos critérios de seleção e da metodologia empregada. Em seguida os resultados foram agregados em grupos pelos componentes do Modelo PSR (Pressão, Estado, Resposta) e pelas Dimensões adotadas (Hídrica, Física, Biótica e Antrópica) gerando índices intermediários em função dos Níveis de Aglutinação. A partir dos índices intermediários obtidos foi construído o ISHA (Índice de Sustentabilidade Hidroambiental - ISHA) para os municípios estudados da APA de Baturité durante dois períodos distintos.

Posteriormente estes resultados foram discutidos e avaliados através de análises comparativas entre períodos ou entre municípios buscando, assim, evidenciar as potencialidades e vulnerabilidades da região de forma mais ampla ou para cada dimensão do estudo.

### **5.1 Índices e Indicadores**

A escolha dos índices e indicadores passaram por diversas etapas que teve início com o levantamento de dados e informações sobre os municípios estudados, a definição das dimensões que traduzissem a realidade hidroambiental da região, a seleção de parâmetros que pudessem melhor caracterizar as dimensões adotadas e a aplicação de um modelo estrutural PSR através dos componentes pressão, estado, resposta.

Para a seleção dos índices e indicadores deve-se proceder em etapas sucessivas, definindo-se os níveis e escalas de trabalho, analisando-se e identificando-se as relações de causalidade das questões relacionadas ao desenvolvimento e aos problemas ambientais.

Considerando-se essas observações, o processo de seleção de indicadores deve passar pelas fases de pesquisa de dados secundários, visita a campo para reconhecimento da área, caracterização da paisagem, identificação de

processos de degradação ambiental, identificação de parâmetros, estabelecimento de critérios de seleção e construção de índices. Esse processo se torna eficiente a partir do momento em que se colhe e se organiza uma grande quantidade de informação de uma determinada área de forma sistemática priorizando questões fundamentais como no caso do presente estudo, a questão hídrica e a degradação ambiental.

O levantamento de dados e informações assim como o diagnóstico ambiental da APA servem como base para a seleção dos parâmetros e indicadores, na medida em que possibilita a análise do ambiente e suas várias nuances.

Para a seleção dos parâmetros foi necessário levar em consideração o universo de abrangência do desenvolvimento de índices e indicadores de sustentabilidade. Foram adotados parâmetros ou descritores que expressam essas situações, sob as dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas.

Os índices e indicadores foram submetidos à vários critérios de seleção para sua validação e então foram agrupados em quatro dimensões: Hídrica, Física, Biótica e Antrópica. Os Índices e indicadores foram escolhidos de forma a representar sua essência e as características gerais da região garantindo o atendimento dos propósitos do presente estudo.

Para a geração dos índices e indicadores foram feitos ajustes com relação às questões relativas às escalas em função de diferentes unidades de medidas e de grandezas. Também foi feito uma adaptação para uma escala sempre crescente a partir da situação mais favorável para a mais desfavorável.

No total foram obtidos 27 indicadores e índices para cada município e cada período estudado. Dos 27 indicadores e índices levantados 08 pertencem à Dimensão Hídrica, 04 à Dimensão Física, 04 à Dimensão Biótica e 11 à Dimensão Antrópica. A Tabela 5.1 e Tabela 5.2 mostram esses valores ajustados e organizados em função dos municípios e períodos para todos os índices e indicadores levantados e suas respectivas dimensões.

Tabela 5.1 - Indicadores Ajustados para os Municípios - Ano 2005.

MEIO	INDICADORES	MUNICÍPIOS – ANO 2005			
		Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
Hídrico (IH)	Índice de Aridez	0,79	0,74	0,86	0,77
	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo	0,86	1,00	0,08	0,90
	Déficit Hídrico	0,83	1,00	0,96	0,86
	Coeficiente de Escoamento Superficial	0,00	0,83	1,00	0,65
	Vazão Específica	0,30	0,75	0,52	0,61
	Demanda Hídrica	0,80	0,90	0,79	0,67
	Disponibilidade de Água Per Capita	0,00	0,03	0,02	0,02
	Índice de Utilização de Disponibilidade	0,08	0,01	0,02	0,03
Físico (IF)	Índice de Distribuição de Chuvas	0,29	1,00	0,17	0,83
	Declividade	0,79	0,78	0,80	0,78
	Taxa de Uso e Ocupação do Solo	1,00	0,99	1,00	1,00
	Índice de Urbanização	0,83	0,59	0,58	0,65
Biótico (IB)	Índice de Áreas Cultivadas	0,19	0,21	0,23	0,19
	Índice de Cobertura Vegetal	0,72	0,96	0,76	0,56
	Índice de Áreas Nativas	0,53	0,75	0,54	0,37
	Índice de Áreas de Preservação Permanente	0,22	1,61	0,32	0,27
Antrópico (IA)	Densidade Populacional Total	0,28	0,13	0,87	0,09
	Taxa de Crescimento Anual da População	0,41	0,47	0,43	0,47
	Taxa de Mortalidade Infantil	0,66	0,70	0,87	0,90
	Longevidade	0,64	0,73	0,73	0,48
	PIB Per Capita	0,11	0,40	0,14	0,00
	Taxa de Alfabetização	0,67	0,72	0,68	0,70
	Porcentagem de Bolsas Família	0,54	0,41	0,68	0,62
	Taxa de Abastecimento de Água Tratada	0,97	0,41	0,98	0,86
	Taxa de Lixo Coletado	0,20	0,35	0,30	0,29
	Taxa de Esgotamento Sanitário	0,38	0,35	0,15	0,62
Taxa de Energia Elétrica	0,92	0,89	0,85	0,91	

Fonte: Autor

Tabela 5.2 - Indicadores Ajustados para os Municípios – Ano 2013.

MEIO	INDICADORES	MUNICÍPIOS – ANO 2013			
		Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
Hídrico (IH)	Índice de Aridez	0,84	0,78	0,86	0,79
	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo	0,38	0,77	0,00	0,76
	Déficit Hídrico	0,80	1,00	0,95	0,82
	Coefficiente de Escoamento Superficial	0,00	0,83	1,00	0,65
	Vazão Específica	0,23	0,61	0,47	0,53
	Demanda Hídrica	0,77	0,90	0,79	0,63
	Disponibilidade de Água Per Capita	0,00	0,05	0,01	0,02
	Índice de Utilização de Disponibilidade	0,09	0,01	0,02	0,04
Físico (IF)	Índice de Distribuição de Chuvas	0,61	0,21	0,25	0,00
	Declividade	0,79	0,78	0,80	0,78
	Taxa de Uso e Ocupação do Solo	0,99	0,95	0,96	0,89
	Índice de Urbanização	0,67	0,40	0,63	0,59
Biótico (IB)	Índice de Áreas Cultivadas	0,08	0,04	0,21	0,16
	Índice de Cobertura Vegetal	0,35	0,42	0,73	0,45
	Índice de Áreas Nativas	0,27	0,38	0,52	0,29
	Índice de Áreas de Preservação Permanente	0,22	1,61	0,32	0,27
Antrópico (IA)	Densidade Populacional Total	0,63	1,00	0,38	0,00
	Taxa de Crescimento Anual da População	0,64	1,00	0,00	0,42
	Taxa de Mortalidade Infantil	0,89	0,89	0,92	0,94
	Longevidade	0,78	0,74	0,76	0,57
	PIB Per Capita	0,42	1,00	0,27	0,35
	Taxa de Alfabetização	0,75	0,82	0,77	0,80
	Porcentagem de Bolsas Família	0,01	0,47	0,75	0,71
	Taxa de Abastecimento de Água Tratada	0,98	0,99	0,99	0,97
	Taxa de Lixo Coletado	0,35	0,86	0,62	0,68
	Taxa de Esgotamento Sanitário	0,40	0,37	0,16	0,63
	Taxa de Energia Elétrica	0,99	0,99	0,99	0,99

Fonte: Autor

Os índices e indicadores formam um conjunto de elementos capazes de auxiliar nas tomadas de decisões, por isso identificar os principais índices e indicadores para a região de estudo foi um passo muito importante. Afinal, a partir disso, discussões poderão ser iniciadas frente às autoridades responsáveis e possíveis soluções encaminhadas.

Os indicadores e indicadores aqui propostos representam uma grande ferramenta, pois propicia uma resposta direta a sociedade e demonstra uma real preocupação com o meio ambiente.

## **5.2 Índices Intermediários**

O passo seguinte é o de sintetizar os índices e indicadores produzidos por meio de agrupamentos realizados em função tanto dos componentes do modelo PSR quanto das dimensões adotadas.

Foram estabelecidos três níveis de processamento intermediários baseados na estrutura metodológica do diagrama PSR onde foram construídos diversos índices. Estes estágios intermediários de processamento, denominados de Níveis de Aglutinação I, II e III, agregam os indicadores e índices do mesmo nível garantindo que os índices resultantes tenham mesmo grau de importância.

Para a avaliação dos índices intermediários foi utilizada a escala de desempenho, de acordo com o Quadro 5.1, dividido em cinco setores de vinte pontos de forma que o zero tem um desempenho ruim/insustentável e o 1,00 (um) com desempenho muito bom/sustentável.

A legenda de cores correspondente aos níveis de desempenho apontam os municípios que alcançaram os maiores índices, representados na pelas cores em verde. Os municípios mais vulneráveis, representados pelas cores em amarelo e vermelho, obtiveram os menores índices.

Quadro 5.1 - Escala de Desempenho.

ESCALA DE DESEMPENHO			
Índice (0,00 – 1,00)		Desempenho	Escala de cores
0,00	0,20	Ruim/insustentável	
0,21	0,40	Pobre/potencialmente insustentável	
0,41	0,60	Médio/intermediário	
0,61	0,80	Bom /potencialmente sustentável	
0,81	1,00	Muito bom/sustentável	

Fonte: Autor

Tanto a definição de indicadores como a utilização do Modelo PSR demandam profundo conhecimento do objeto de estudo e exige o entendimento das relações entre as atividades antrópicas e sua interferência no ambiente o que permitirão evidenciar as suas inter-relações.

No Nível de Aglutinação I foi obtido um total de 12 índices para cada município para cada período estudado, onde 04 pertencem ao componente Pressão, 04 ao componente Estado e 04 ao componente Resposta. Nesse nível também foram construídos um nível global para cada componente.

Nesse Nível de Aglutinação os índices e indicadores foram agrupados dentro dos componentes de pressão, estado e resposta do modelo PSR gerando os seguintes índices:

- Índices de Pressão: Índice Hídrico de Pressão (IHP), Índice Físico de Pressão (IFP), Índice Biótico de Pressão (IBP) e Índice Antrópico de Pressão (IAP);
- Índices de Estado: Índice Hídrico de Estado (IHE), Índice Físico de Estado (IFE), Índice Biótico de Estado (IBE) e Índice Antrópico de Estado (IAE);
- Índices de Resposta: Índice Hídrico de Resposta (IHR), Índice Físico de Resposta (IFR), Índice Biótico de Resposta (IBR) e Índice Antrópico de Resposta (IAR).

Para efeito de análise também foram produzidos, a partir dos 12 índices intermediários encontrados no nível de aglutinação I, três índices globais resultantes dos componentes do Modelo PSR:

- IPG (Índice de Pressão Global);
- IEG (Índice de Estado Global);
- IRG (Índice de Resposta Global).

A Tabela 5.3 e Tabela 5.4 mostram a listagem dos índices, organizados em função dos componentes de pressão, estado e resposta pertencentes ao modelo estrutural PSR produzidos no Nível de Aglutinação I para os quatro municípios selecionados na APA de Baturité para dois períodos distintos.

Também foi aplicado o diagrama da AMEBA nos quatro municípios estudados para os dois períodos dos seguintes índices: Índice Hídrico de Pressão (IHP), Índice Físico de Pressão (IFP), Índice Biótico de Pressão (IBP) Índice Antrópico de Pressão (IAP), Índice Hídrico de Estado (IHE), Índice Físico de Estado (IFE), Índice Biótico de Estado (IBE), Índice Antrópico de Estado (IAE), Índice Hídrico de Resposta (IHR), Índice Físico de Resposta (IFR), Índice Biótico de Resposta (IBR), Índice Antrópico de Resposta (IAR), IPG (Índice de Pressão Glabal), IEG (Índice de Estado Global), e IRG (Índice de Resposta Global). O diagrama da AMEBA está disposto da Figura 5.1 a Figura 5.6.

Nas tabelas e diagramas apresentados é feita uma análise comparativa dos resultados relacionados à caracterização dos índices de cada um dos componentes do Modelo PSR no Nível de Aglutinação I.

A análise foi feita com o intuito de avaliar a reação de cada município individualmente e da APA como um todo entre os quatro municípios pertencentes à APA de Baturité para os dois períodos estudados.

Tabela 5.3 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação I (2005).

DIMENSÃO	ÍNDICES	MUNICÍPIOS – ANO 2005											
		Aratuba			Guaramiranga			Mulungu			Pacoti		
		Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho
PRESSÃO	IHP	0,82	0,57		0,91	0,54		0,67	0,55		0,80	0,53	
	IFP	0,83			0,59			0,58			0,65		
	IBP	0,19			0,21			0,23			0,19		
	IAP	0,45			0,43			0,72			0,49		
ESTADO	IHE	0,15	0,45		0,79	0,77		0,76	0,61		0,63	0,59	
	IFE	0,54			0,89			0,48			0,80		
	IBE	0,63			0,86			0,65			0,47		
	IAE	0,49			0,56			0,55			0,45		
RESPOSTA	IHR	0,04	0,47		0,02	0,78		0,02	0,48		0,03	0,49	
	IFR	1,00			0,99			1,00			1,00		
	IBR	0,22			1,61			0,32			0,27		
	IAR	0,62			0,50			0,57			0,67		

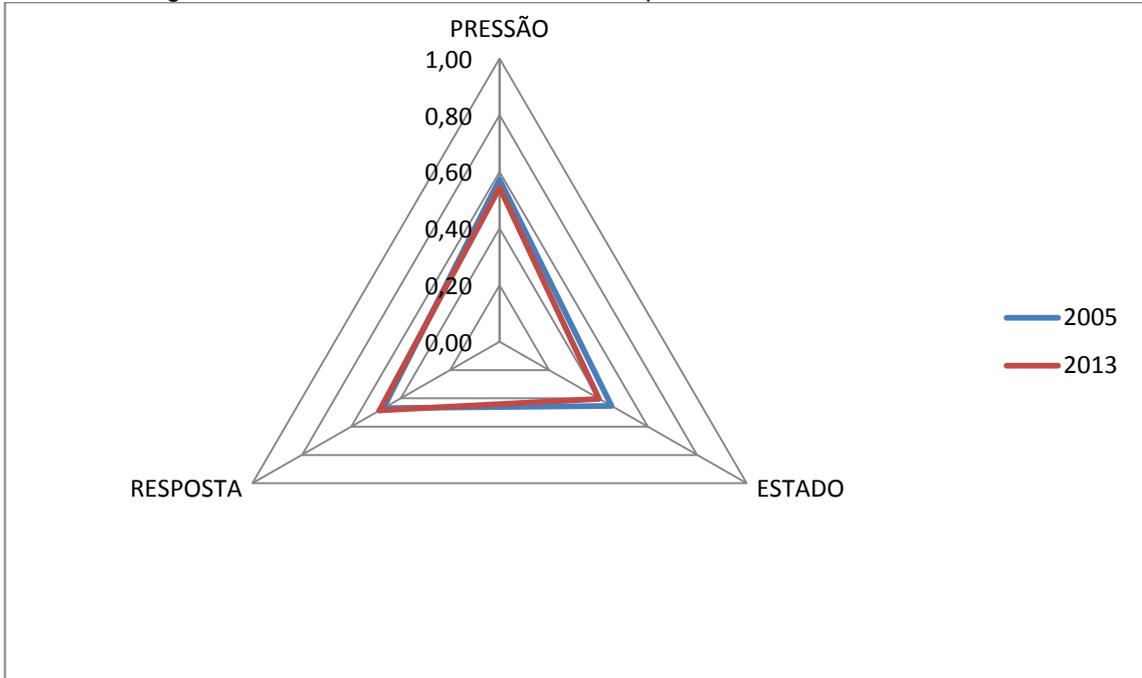
Fonte: Autor

Tabela 5.4 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação I (2013).

DIMENSÃO	ÍNDICES	MUNICÍPIOS – ANO 2013											
		Aratuba			Guaramiranga			Mulungu			Pacoti		
		Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho	Valores	Índice Global	Desempenho
PRESSÃO	IHP	0,70	0,54		0,86	0,57		0,65	0,48		0,25	0,34	
	IFP	0,67			0,40			0,63			0,41		
	IBP	0,08			0,04			0,21			0,16		
	IAP	0,72			0,96			0,43			0,55		
ESTADO	IHE	0,11	0,40		0,72	0,59		0,74	0,63		0,59	0,42	
	IFE	0,70			0,49			0,52			0,11		
	IBE	0,31			0,40			0,63			0,37		
	IAE	0,49			0,76			0,64			0,61		
RESPOSTA	IHR	0,05	0,49		0,03	0,85		0,02	0,50		0,03	0,31	
	IFR	0,99			0,95			0,96			0,11		
	IBR	0,22			1,61			0,32			0,27		
	IAR	0,68			0,80			0,69			0,82		

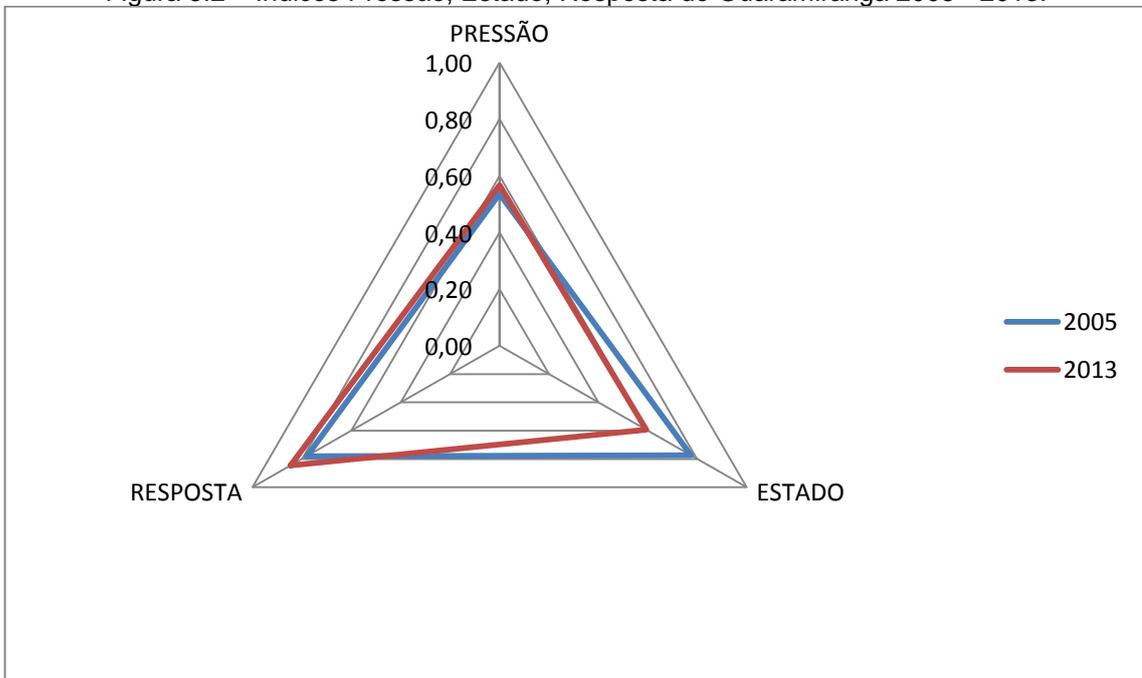
Fonte: Autor

Figura 5.1 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba 2005 - 2013.



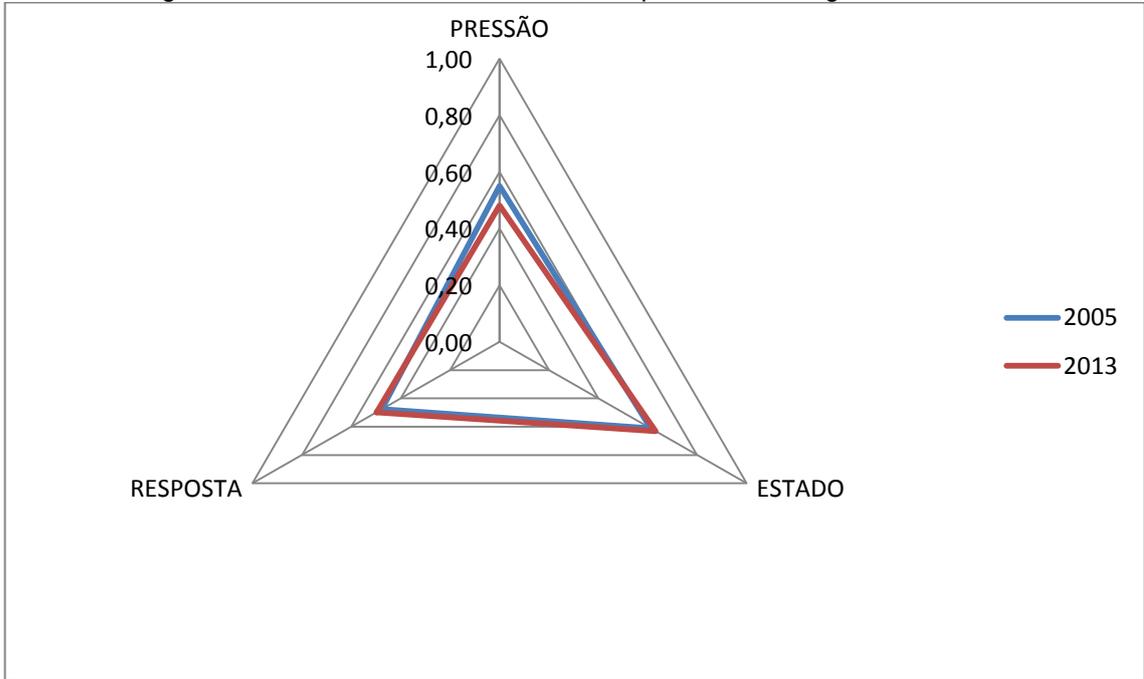
Fonte: Autor

Figura 5.2 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Guaramiranga 2005 - 2013.



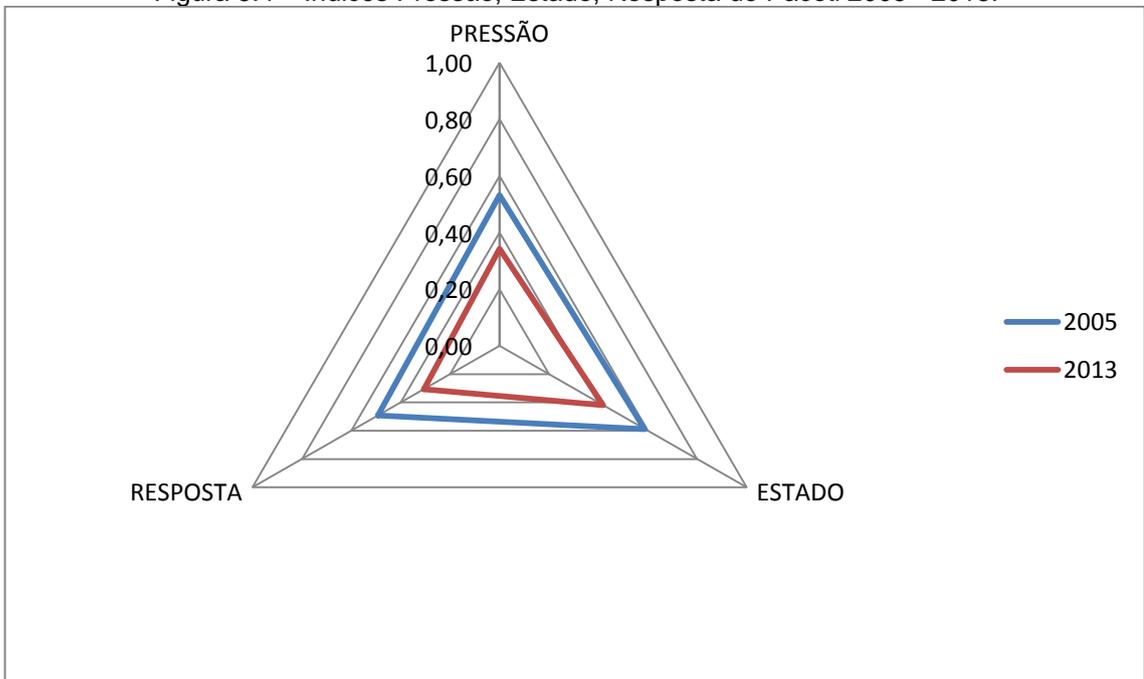
Fonte: Autor

Figura 5.3 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Mulungu 2005 - 2013.



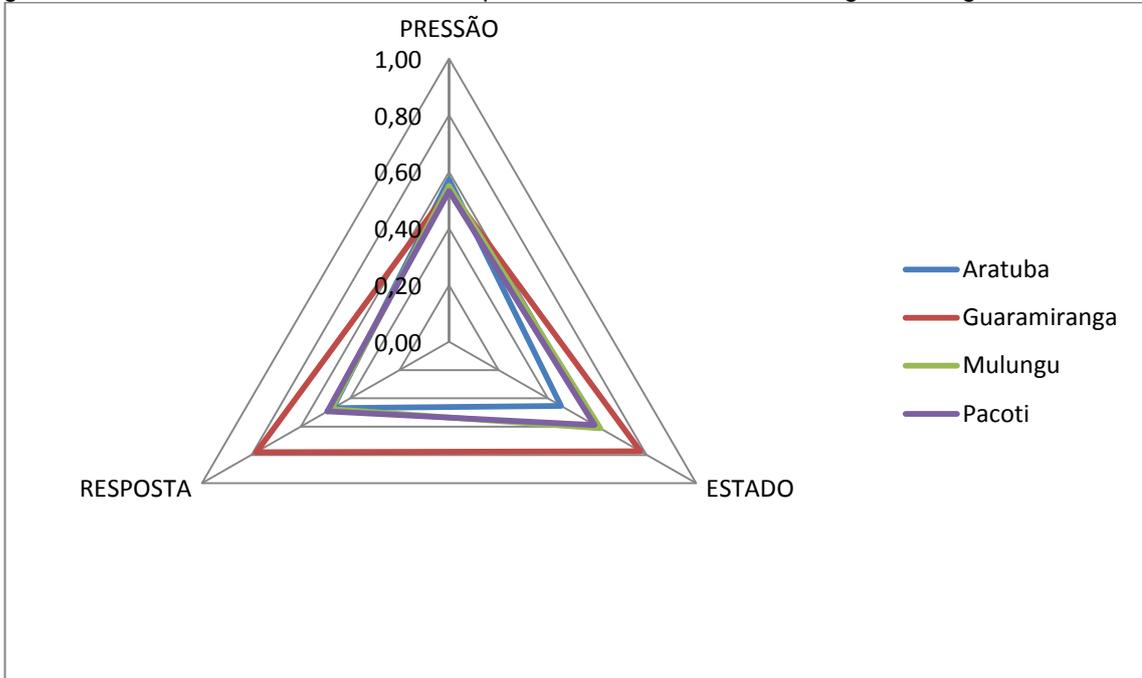
Fonte: Autor

Figura 5.4 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Pacoti 2005 - 2013.



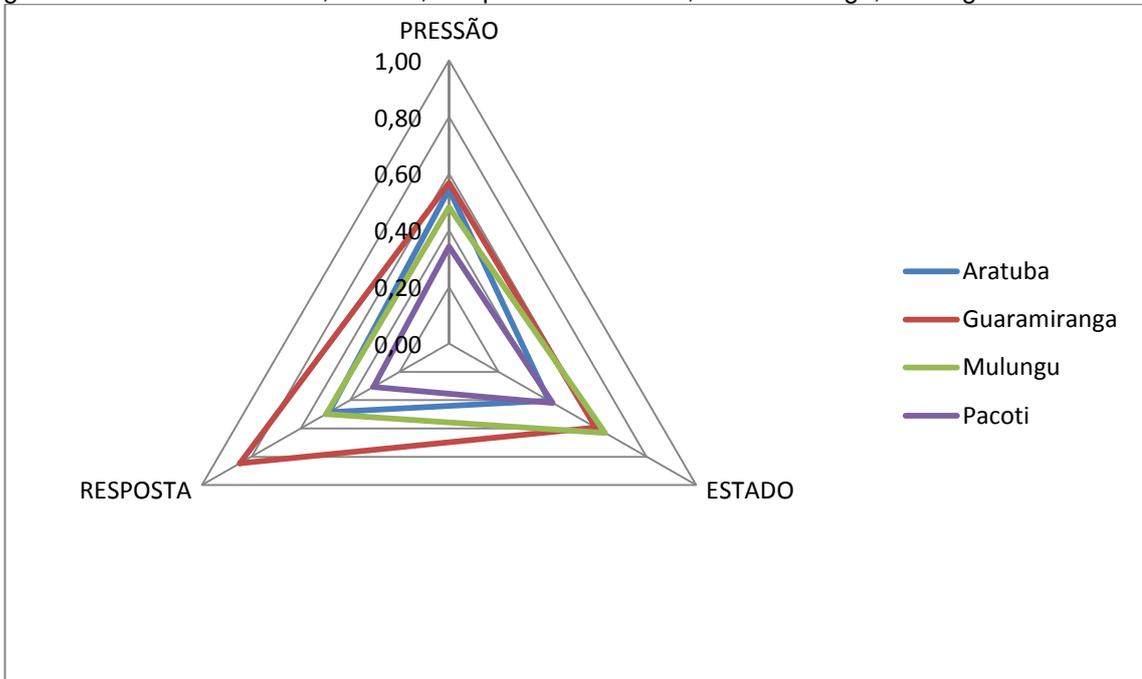
Fonte: Autor

Figura 5.5 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.



Fonte: Autor

Figura 5.6 – Índices Pressão, Estado, Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.



Fonte: Autor

Ao analisar os componentes do modelo PSR é importante conhecer o papel de cada um. O componente de pressão informa o conjunto de ações que pressionam o ambiente dos municípios ou da região favorecendo, portanto, a fragilização ambiental. O componente de estado trata da situação vigente no período considerado no que diz respeito à sustentabilidade ambiental. E o componente de resposta aponta para os projetos e programas em andamento no sentido de reagir às ameaças da insustentabilidade ou a melhoria do nível de sustentabilidade. Os componentes de pressão, estado e resposta foram avaliados individualmente e de forma global.

Os indicadores de Pressão identificam desestabilizações nas dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas. Estes indicadores representam mudanças significativas na paisagem natural, ocasionando prejuízos econômicos e sociais e devem ser tratados com muita atenção pelos tomadores de decisão que podem de fato modificar as estratégias de políticas públicas.

Na análise dos índices globais de pressão foram encontrados resultados que variam entre potencialmente insustentável e intermediários para os dois períodos:

- Ano 2005: Aratuba (0,57); Guaramiranga (0,54), Mulungu (0,55) e Pacoti (0,53);
- Ano 2013: Aratuba (0,54); Guaramiranga (0,57), Mulungu (0,48) e Pacoti (0,34).

Pode-se constatar que a pressão exercida nos municípios diminuiu de valor em três dos quatro municípios. Isto implica que houve um aumento das condições de pressão sobre a região indicando que as atividades humanas impuseram um acréscimo dos processos de degradação provocando uma diminuição dos níveis de sustentabilidade.

Os Indicadores de Estado retratam as implicações qualitativas e quantitativas do ambiente, ressaltando os principais problemas observados

para a fauna, flora, solo, temperatura e recursos hídricos em decorrência das pressões sofridas.

Para o componente de estado, de acordo com os níveis dos índices globais obtidos, houve uma pequena melhora a nível de desempenho com valores variando entre potencialmente bom e intermediário, porém com uma queda ente dos dois períodos:

- Ano 2005: Aratuba (0,45); Guaramiranga (0,77), Mulungu (0,61) e Pacoti (0,59);
- Ano 2013: Aratuba (0,40); Guaramiranga (0,59), Mulungu (0,63) e Pacoti (0,42).

Observa-se que para o componente de estado também diminuiu de valor em três dos quatro municípios evidenciando uma piora nas condições do meio frente às pressões exercidas, ou seja, tornando o ambiente mais fragilizado.

Os itens relacionados ao componente de resposta correspondem às ações empreendidas pelo Poder Público para atenuar os efeitos das pressões sofridas. É importante ressaltar que estas iniciativas se constituem, muitas vezes, em medidas paliativas e não são ações efetivas que possam promover a qualidade de vida das pessoas que habitam a região.

Em relação aos índices globais do componente resposta foram apresentadas melhoras nos níveis de desempenho de forma geral, atingindo o nível de potencialmente sustentável em Guaramiranga, no entanto, com um declínio em Pacoti, passando para o nível de potencialmente insustentável:

- Ano 2005: Aratuba (0,47); Guaramiranga (0,78), Mulungu (0,48) e Pacoti (0,49);
- Ano 2013: Aratuba (0,49); Guaramiranga (0,85), Mulungu (0,50) e Pacoti (0,31).

Verifica-se que para o componente de resposta, ao contrário dos outros índices globais, houve aumento de valor em três dos quatro municípios refletindo de forma positiva uma reação às condições adversas que foram se estabelecendo ao longo dos anos.

A grande maioria dos municípios apresentou, com relação aos componentes de pressão, estado, resposta, um nível de desempenho intermediário seguido de potencialmente sustentável, potencialmente insustentável e sustentável para os dois períodos:

- Potencialmente insustentável: 9 %;
- Intermediário: 71 %;
- Potencialmente Sustentável: 18 %;
- Sustentável: 2 %.

A partir dos resultados do Modelo PSR encontrados é possível fazer proposição de ações preventivas visando a diminuição da degradação ambiental e recuperação dos recursos naturais assim como auxiliar na aplicação de novas táticas de gestão visando a implementação de políticas públicas.

Desta forma, identificou-se que as principais forças de pressão da degradação ambiental na área de estudo estão relacionadas às atividades produtivas, dentre estas, a ocorrência acelerada do desmatamento com finalidades de implantação de atividades agropecuárias e turísticas.

Com relação à degradação ambiental dos principais recursos hídricos dos municípios, se relacionam a escassez de água, os múltiplos usos da água principalmente para irrigação e lazer, a poluição dos rios, destruição das matas ciliares, etc. As práticas agrícolas convencionais de agricultura têm colocado esses municípios em alto grau de riscos a degradação ambiental.

Apesar de existirem algumas repostas por parte dos governantes, estas não são suficientes para atenuar todos os efeitos provocados, especialmente

quando estas apresenta caráter de severidade. As políticas públicas atuais devem partir do princípio de convivência com a semiaridez.

Tais políticas públicas ainda apresentam-se em níveis incipientes, cuja abrangência é pouco expressiva, pois os benefícios sociais não atendem a todos os necessitados, seja pela excessiva burocracia, ou pela gestão inadequada de recursos, pessoas e equipamentos.

Outros estudos foram realizados aplicando o modelo estrutural PSR na região semi-árida. Este modelo foi utilizado para analisar o grau de acerto da política ambiental na gestão de municípios e de bacias hidrográficas no semi-árido. Consta-se que o grau de acerto (política reativa) é baixa e sugere que uma boa política ambiental nessa região depende muito da ação dos governos locais e não somente de condicionantes estruturais.

No Nível de Aglutinação II foram produzidos um total de 04 índices para cada município para cada período estudado. Para a composição dos índices, foi realizado um agrupamento em função de cada dimensão adotada a partir dos índices gerados no Nível de Aglutinação I:

- Índice Hídrico (IH);
- Índice Físico (IF);
- Índice Biótico (IB);
- Índice Antrópico (IA).

A seguir é feita uma análise dos resultados relacionados à caracterização dos índices de cada uma das dimensões no Nível de Aglutinação II. A análise foi realizada com o intuito de avaliar a reação de cada município individualmente e fazer comparações entre os quatro municípios que fazem parte da APA de Baturité.

O Modelo PSR mostra com bastante exatidão os pontos-chave que devem ser considerados e quais índices e indicadores pertencentes ÀS dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas estão exercendo a pressão sobre o ambiente,

os problemas causados e a resposta que precisa ser gerada, a fim de amenizar tais problemas.

A partir das informações geradas e do modelo Pressão-Estado-Resposta (PSR), selecionou-se um conjunto de indicadores de ordem hídrica, física, biótica e antrópica. Esses indicadores foram mensurados para se estabelecer relações comparativas entre os municípios da APA nos dois períodos analisados. Para cada indicador analisado, descrevem-se as suas funções, os parâmetros que o constituem e os índices ou valores determinados.

Portanto, os índices obtidos do modelo PSR, construídos no Nível de Aglutinação I, constituem uma análise complementar à análise principal, que trata das quatro dimensões escolhidos para compor o ISHA. A análise foi realizada para explicitar quais dimensões merecem mais atenção em relação aos resultados obtidos para os dois períodos. A dimensão hídrica retrata as condições essencialmente hídricas de disponibilidade e uso dos recursos hídricos. As dimensões físicas e bióticas representam as condições locais de relevo e uso e ocupação dos solos. E a dimensão antrópica retrata as condições de ocupação e qualidade de vida humana da comunidade.

Para tanto foi levado em consideração à compatibilização entre as formas de uso e ocupação do solo, a exploração dos recursos naturais e as características socioeconômicas da área de estudo.

A Tabela 5.5 e Tabela 5.6 mostram a listagem dos índices, organizados em função das dimensões adotadas produzidos no Nível de Aglutinação II para os quatro municípios selecionados na APA de Baturité para dois períodos distintos.

Também foi aplicado o diagrama da AMEBA nos quatro municípios estudados para os dois períodos dos seguintes índices: Índice Hídrico (IH), Índice Físico (IF), Índice Biótico (IB) e Índice Antrópico (IA), conforme mostra a Figura 5.7 a Figura 5.12.

Tabela 5.5 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação II (2005).

DIMENSÃO	ÍNDICES	MUNICÍPIOS							
		Aratuba		Guaramiranga		Mulungu		Pacoti	
		2005	Desempenho	2005	Desempenho	2005	Desempenho	2005	Desempenho
HÍDRICO	IH	0,34		0,57		0,48		0,48	
FÍSICO	IF	0,79		0,83		0,69		0,82	
BIÓTICO	IB	0,35		0,89		0,40		0,31	
ANTRÓPICO	IA	0,52		0,50		0,62		0,54	

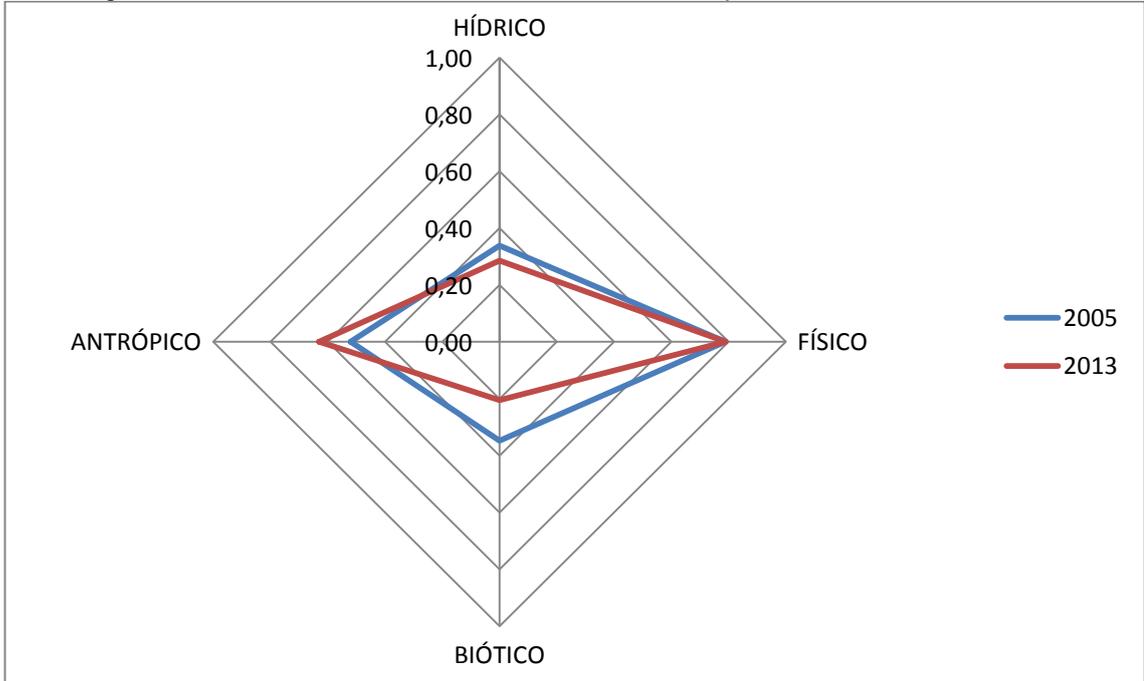
Fonte: Autor

Tabela 5.6 - Índices Produzidos no Nível de Aglutinação II (2013).

DIMENSÃO	ÍNDICES	MUNICÍPIOS – ANO 2013							
		Aratuba		Guaramiranga		Mulungu		Pacoti	
		Valores	Desempenho	Valores	Desempenho	Valores	Desempenho	Valores	Desempenho
HÍDRICO	IH	0,29		0,54		0,47		0,29	
FÍSICO	IF	0,79		0,61		0,71		0,21	
BIÓTICO	IB	0,20		0,68		0,39		0,27	
ANTRÓPICO	IA	0,63		0,84		0,59		0,66	

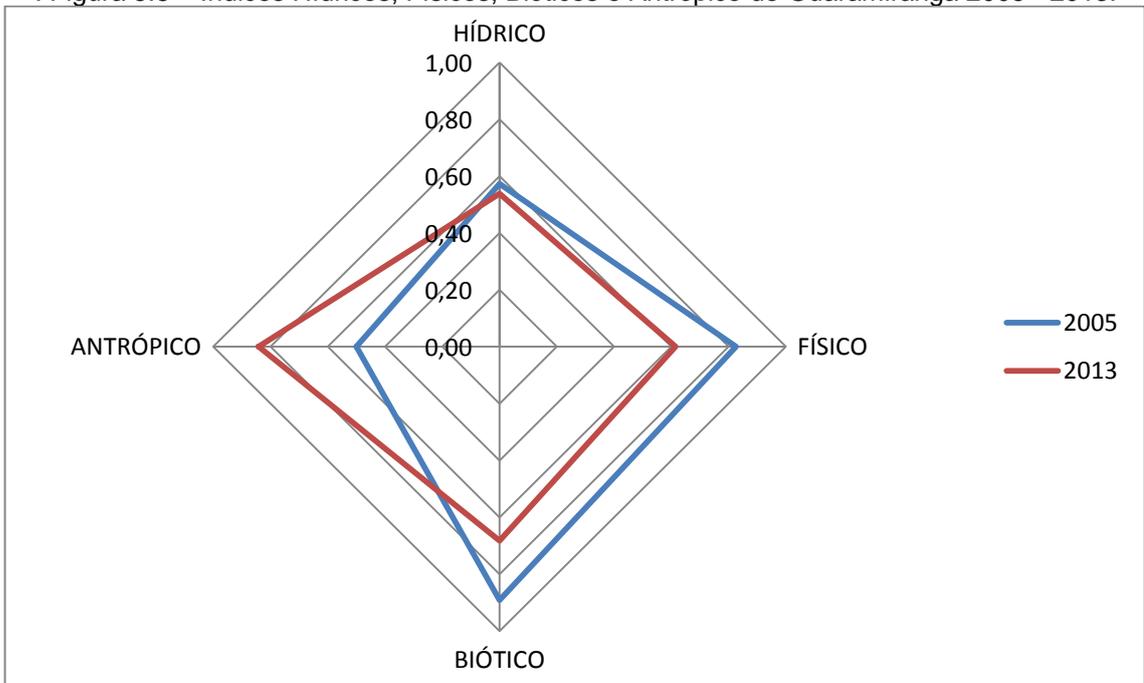
Fonte: Autor

Figura 5.7 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba 2005 - 2013.



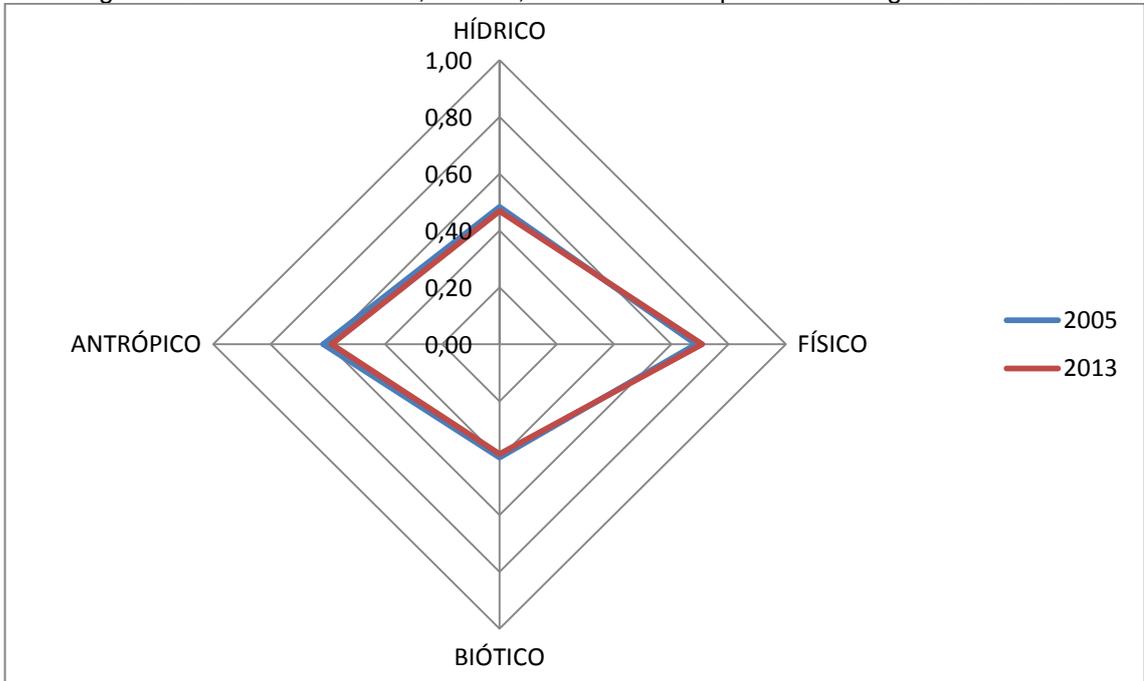
Fonte: Autor

Figura 5.8 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Guaramiranga 2005 - 2013.



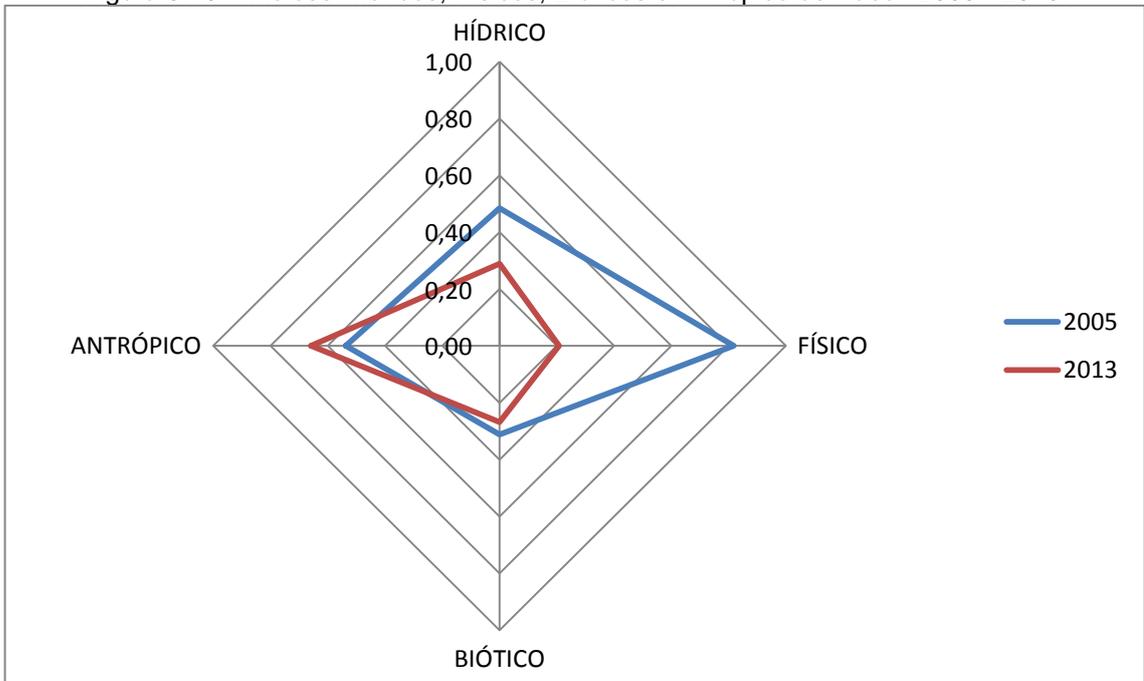
Fonte: Autor

Figura 5.9 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Mulungu 2005 - 2013.



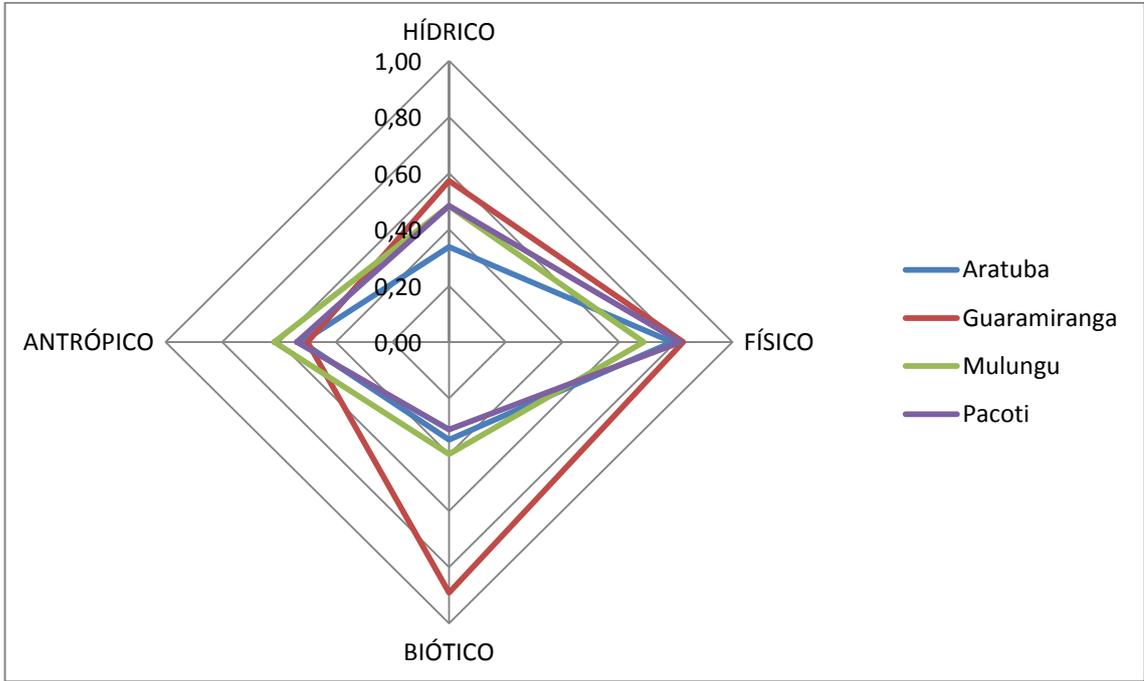
Fonte: Autor

Figura 5.10 – Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Pacoti 2005 - 2013.



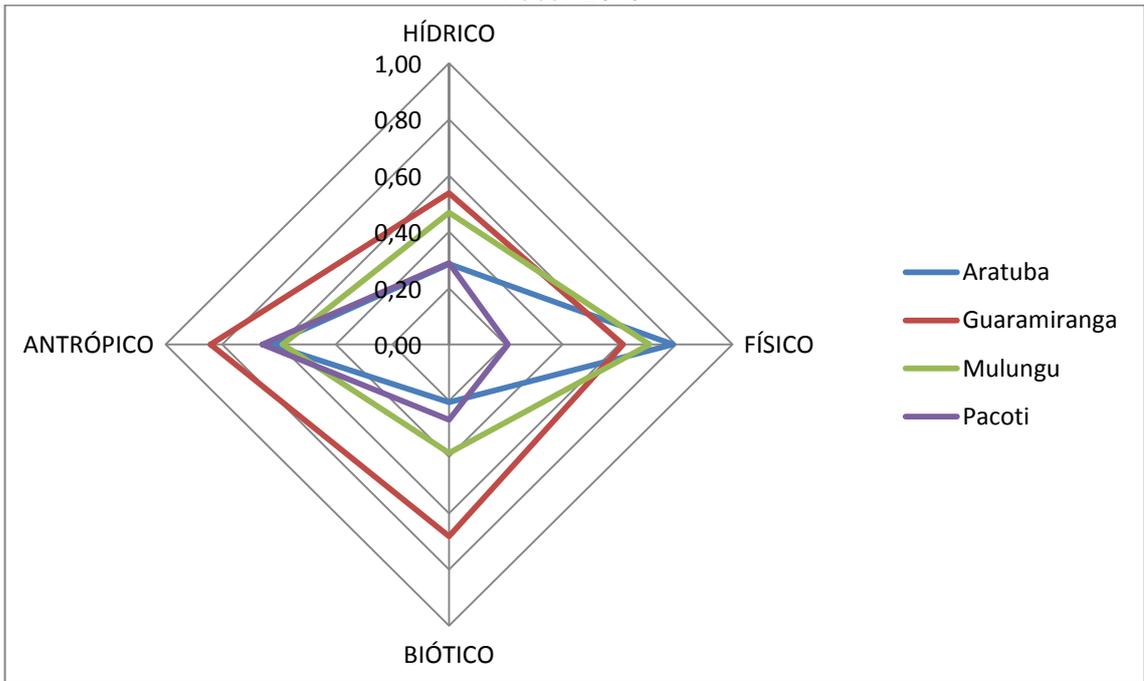
Fonte: Autor

Figura 5.11 - Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.



Fonte: Autor

Figura 5.12 - Índices Hídricos, Físicos, Bióticos e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.



Fonte: Autor

Ao analisarmos as tabelas e os diagramas dos índices para os dois períodos constata-se que foram encontrados valores que traduzem a situação dos municípios em relação às dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas. Para cada dimensão são agrupados índices e indicadores pertencentes aos componentes de pressão, estado e resposta do modelo estrutural adotado.

A dimensão hídrica foi a primeira a ser analisada através do IH (Índice Hídrico) demonstrando uma queda entre os dois períodos com resultados que variam entre potencialmente insustentável e intermediário:

- Ano 2005: Aratuba (0,34); Guaramiranga (0,57), Mulungu (0,48) e Pacoti (0,48);
- Ano 2013: Aratuba (0,29); Guaramiranga (0,54), Mulungu (0,47) e Pacoti (0,29).

O cenário da dimensão hídrica a situação se mostra precária revelando as condições críticas quanto a disponibilidade e utilização dos recursos hídricos em função da problemática hidroclimatológica que assola toda a região do semiárido, inclusive a APA de Baturité. Nos períodos secos as fontes de água superficiais evaporam dificultando a obtenção de água. As altas temperaturas elevam significativamente a taxa de evaporação na região, um dos principais responsáveis pelo colapso de reservatórios hídricos.

Os resultados demonstram uma situação de insustentabilidade que alguns municípios enfrentam, mostrando a necessidade de se definir programas de gestão mais eficazes com ênfase ao uso racional dos recursos hídricos e de preservação dos mananciais superficiais e subterrâneos no intuito de reverter esses cenários.

Prosseguindo a análise, passando-se para a dimensão física, de acordo como os níveis de desempenho obtidos também houve uma queda entre os períodos com nível de desempenho variando entre sustentável, potencialmente sustentável, intermediário e potencialmente insustentável para os dois períodos:

- Ano 2005: Aratuba (0,79); Guaramiranga (0,83), Mulungu (0,69) e Pacoti (0,82);
- Ano 2013: Aratuba (0,79); Guaramiranga (0,61), Mulungu (0,71) e Pacoti (0,21).

Em relação à dimensão biótica, da mesma forma, houve decréscimos entre os períodos com nível de desempenho variando entre potencialmente insustentável, intermediário e sustentável:

- Ano 2005: Aratuba (0,35); Guaramiranga (0,89), Mulungu (0,40) e Pacoti (0,31);
- Ano 2013: Aratuba (0,20); Guaramiranga (0,68), Mulungu (0,39) e Pacoti (0,27).

No que se referem às dimensões físicas e bióticas os níveis de desempenho também se mostram instáveis, baixos e com tendência a queda. Em função dos municípios estudados estarem inseridos numa APA de uso sustentável existe normas que regulamentam o uso e ocupação dos solos. É preciso adotar práticas preservacionistas da vegetação nativa assim como das áreas marginais de nascentes e cursos d'água e impedir os processos desordenados de expansão urbana.

Neste sentido, é necessário que a sociedade passe a cobrar das instâncias competentes providências no sentido de mitigar esta situação, a partir de ações direcionadas à busca de soluções para o problema, principalmente nas áreas de APP's, que incluem nascentes, áreas marginais de rios e riachos e topos de morros. As áreas úmidas em geral também merecem cuidado especial, visto que garantem funções vitais e possuem proeminente importância sócio ambiental para o município.

É importante também implementar medidas preventivas para a manutenção da cobertura vegetal nativa e controle dos processos erosivos e de expansão urbana tendo em vista a fragilidade dos recursos naturais e a dificuldade de se atingir níveis satisfatórios de sustentabilidade.

Finalmente na dimensão antrópica percebe-se que o nível de desempenho dos índices dessa categoria obteve melhoras com nível de desempenho variando entre bom, potencialmente sustentável e intermediário:

- Ano 2005: Aratuba (0,52); Guaramiranga (0,50), Mulungu (0,62) e Pacoti (0,54);
- Ano 2013: Aratuba (0,63); Guaramiranga (0,84), Mulungu (0,59) e Pacoti (0,66).

Com relação a dimensão antrópica houve uma melhora do nível de desempenho que está relacionada eficiência dos serviços públicos de saneamento e energia assim como dos níveis de arrecadação das prefeituras e nível de renda da população. É importante que os municípios busquem outras fontes alternativas de recursos para que não dependam, exclusivamente, de recursos provenientes de verbas intergovernamentais. Nessas comunidades não existem políticas fortes de geração de renda a partir das potencialidades locais. Essa questão também se reflete no componente de resposta do modelo PSR.

Os indicadores pertencentes a dimensão antrópica estão associadas a prejuízos sociais, econômicos e culturais para as populações, havendo um período de tempo considerável para se refazerem.

A grande maioria dos municípios apresentou níveis de desempenho potencialmente insustentável, seguido de intermediário, potencialmente sustentável e sustentável para os dois períodos:

- Potencialmente insustentável: 32 %;
- Intermediário: 28 %;
- Potencialmente sustentável: 28 %;
- Sustentável: 12 %.

Ao analisar as dimensões adotadas para o presente estudo constata-se que a dimensão hídrica a reflete a oferta e a demanda dos recursos hídricos e os níveis de escoamento disponíveis para cada município. A dimensão física diz

respeito aos aspectos ambientais principalmente relacionados ao relevo e á processos ligados ao uso do solo como o desmatamento e a erosão. Por se tratar de uma APA a dimensão biótica trata da cobertura vegetal, especificamente das áreas que sofreram interferência antrópica e das áreas de preservação permanente. E a dimensão antrópica está relacionada aos aspectos socioeconômicos, onde as necessidades básicas da população como energia, saneamento básico, educação e saúde são avaliadas.

De maneira geral pode-se afirmar que os aspectos relacionados às dimensões hídrica e biótica são as que necessitam de mais ações com vistas às melhorias, uma vez que nelas residem entraves consideráveis relacionados a sustentabilidade dos municípios e da APA de Baturité como um todo. Em virtude dessa análise, a avaliação realizada quanto às dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas e tendo em vista a degradação ambiental ocorrida nos últimos nos na APA de Baturité, pode-se afirmar que a situação dos municípios na região é precária.

### **5.3 ISHA**

Para a construção do ISHA primeiramente foram gerados todos os valores produzidos ou levantados dos índices e indicadores para o desenvolvimento do trabalho. Em seguida esses índices e indicadores foram agregados em quatro dimensões gerando índices intermediários agrupados em três níveis de aglutinação resultantes da aplicação do modelo estrutural PSR. O produto final, o ISHA foi aplicado para os quatro municípios estudados e na APA de Baturité como um todo nos dois períodos distintos.

Cabe destacar que o Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA), corresponde ao Nível de Aglutinação III e é produto da composição dos índices gerados no Nível de Aglutinação II (IH, IF, IB e IA). Também para o ISHA foi utilizada a mesma escala de desempenho com a legenda de cores correspondentes.

O ISHA é o indicador global que sintetiza os resultados encontrados para as dimensões adotadas e permite ressaltar as potencialidades e as vulnerabilidades

da região. A Tabela 5.7 e Tabela 5.8 mostram os índices gerados no nível de aglutinação III (ISHA) para os quatro municípios e para a APA nos dois períodos distintos.

Tabela 5.7 - Índices do Nível de Aglutinação III (2005).

ISHA			
MUNICÍPIOS – ANO 2005			
Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
0,50	0,70	0,55	0,54

Fonte: Autor

Tabela 5.8 - Índices do Nível de Aglutinação III (2013).

ISHA			
MUNICÍPIOS – ANO 2013			
Aratuba	Guaramiranga	Mulungu	Pacoti
0,48	0,67	0,54	0,36

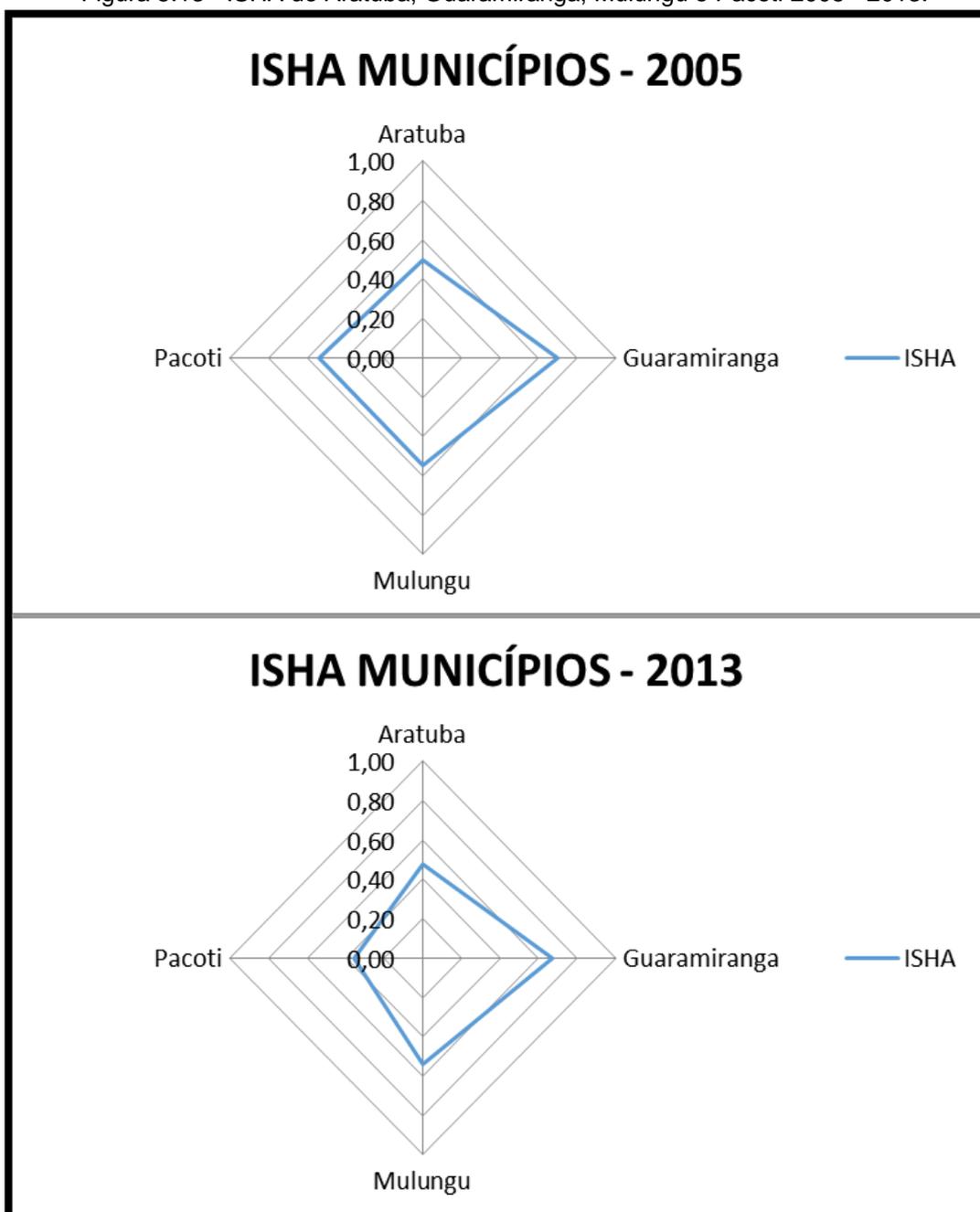
Fonte: Autor

O Diagrama da Ameba foi aplicado para e o Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) nos quatro municípios estudados para os dois períodos distintos conforme mostra a Figura 5.13. A partir dos diagramas apresentados é possível visualizar melhor os níveis de sustentabilidade hidroambiental dos municípios.

As estimativas obtidas dos ISHA's evidenciados nas tabelas e diagramas refletem coerentemente os cenários observados nos municípios localizados na APA de Baturité. Observa-se que no ano de 2005 os municípios de Aratuba, Mulungu e Pacoti apresentam uma situação intermediária na escala da sustentabilidade enquanto que Guaramiranga apontou um nível potencialmente sustentável. Já no ano de 2013 apresentaram níveis intermediários para Aratuba e Mulungu e de potencialmente sustentável para Guaramiranga ao passo que o município de Pacoti sofreu uma queda para potencialmente insustentável. O Quadro 5.2 e

Quadro 5.3 mostra o desempenho do ISHA entre 2005 e 2013, para os quatro municípios.

Figura 5.13 - ISHA de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005 - 2013.



Fonte: Autor

Quadro 5.2 - Desempenho do ISHA de 2005.

<b>Desempenho do índice de Sustentabilidade Hidroambiental</b>			
<b>MUNICÍPIOS – ANO 2005</b>			
<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
Intermediário	Potencialmente Sustentável	Intermediário	Intermediário

Fonte: Autor

Quadro 5.3 - Desempenho do ISHA de 2013.

<b>Desempenho do índice de Sustentabilidade Hidroambiental</b>			
<b>MUNICÍPIOS – ANO 2013</b>			
<b>Aratuba</b>	<b>Guaramiranga</b>	<b>Mulungu</b>	<b>Pacoti</b>
Intermediário	Potencialmente sustentável	Intermediário	Potencialmente insustentável

Fonte: Autor

Também foi feito um índice geral para toda a APA nos dois períodos, conforme mostra a Tabela 5.9. No que se refere ao desempenho do sistema quanto ao ISHA foi possível observar que a média geral dos municípios localizados na APA de Baturité é aceitável, ou seja, de nível intermediário, em torno de 0,57 para 2005 e 0,51 para 2013.

Tabela 5.9 - Desempenho Global do ISHA.

<b>ISHA GLOBAL - ANO 2005</b>
<b>0,57</b>
<b>ISHA GLOBAL - Ano 2013</b>
<b>0,51</b>

Fonte: Autor

Estes municípios vêm sendo afetados por uma grande quantidade de questões relevantes para atingir a sustentabilidade, tais como problemas de ordem ambiental, baixa capacidade produtiva, deficiência de infraestrutura de saneamento e baixos níveis de crescimento econômico.

Mesmo considerando que os valores obtidos foram abaixo do ideal, os resultados encontrados para o ISHA demonstram a necessidade de definição de políticas dos gestores públicos dos municípios em busca de melhorar tais resultados, sendo necessários investimentos em vários setores de produção e implementando novas políticas de preservação e uso racional dos recursos naturais. Na ótica do desenvolvimento sustentável fica clara a necessidade de melhorar esse quadro em busca de uma situação ideal de modo que possa contribuir para a sustentabilidade da região.

Os valores encontrados variam entre os níveis de desempenho potencialmente insustentável, intermediário, potencialmente sustentável e sustentável demonstram que as atividades exercidas afetam diretamente os níveis de sustentabilidade da região principalmente em função das políticas públicas adotadas.

A partir da análise dos resultados observa-se que as informações obtidas são relevantes para a gestão ambiental, pois possibilita sua aplicação em qualquer lugar que vem sofrendo com problemas ambientais principalmente relacionados às ações antrópicas.

#### **5.4 Análises Comparativas do ISHA**

É importante avaliar e fazer análises comparativas da evolução do ISHA e dos índices referentes a cada dimensão ao longo dos dois períodos e dos resultados obtidos para os municípios e para a APA como um todo de forma a viabilizar análises objetivas e dar suporte aos processos de planejamento e gestão.

No decorrer desse processo foram construídos diversos resultados de índices produzidos ao longo dos Níveis de Aglutinação utilizados para fazer análises comparativas entre períodos, municípios, na APA como um todo ou entre os próprios índices obtidos associados aos mapeamentos temáticos de cobertura vegetal e uso e ocupação dos solos.

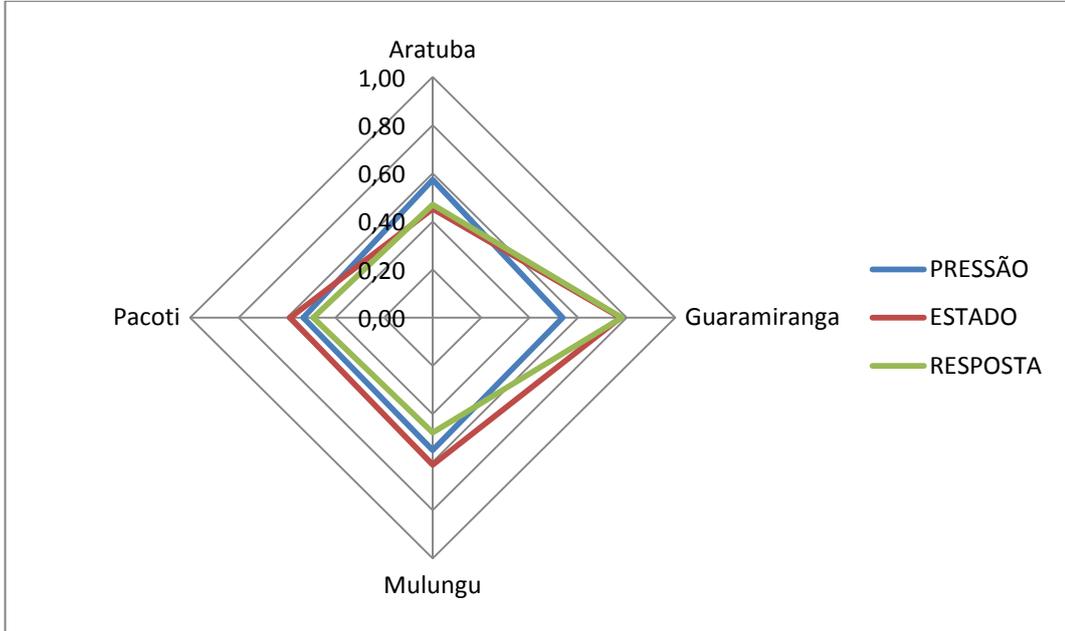
Na análise dos mapas de cobertura vegetal dos dois períodos constatou-se uma diminuição das áreas verdes, provocadas principalmente pelo desmatamento descontrolado para exploração do turismo de veraneio e exploração agrícola, e que também podem ser identificados nos resultados referentes aos índices bióticos produzidos na dimensão biótica.

A seguir são evidenciados os resultados relacionados à caracterização dos ISHA analisados de forma comparativa entre os quatro municípios que fazem parte da APA de Baturité, através da Tabela 5.10, Quadro 5.4,

Tabela 5.11 e dos Diagramas de Ameba

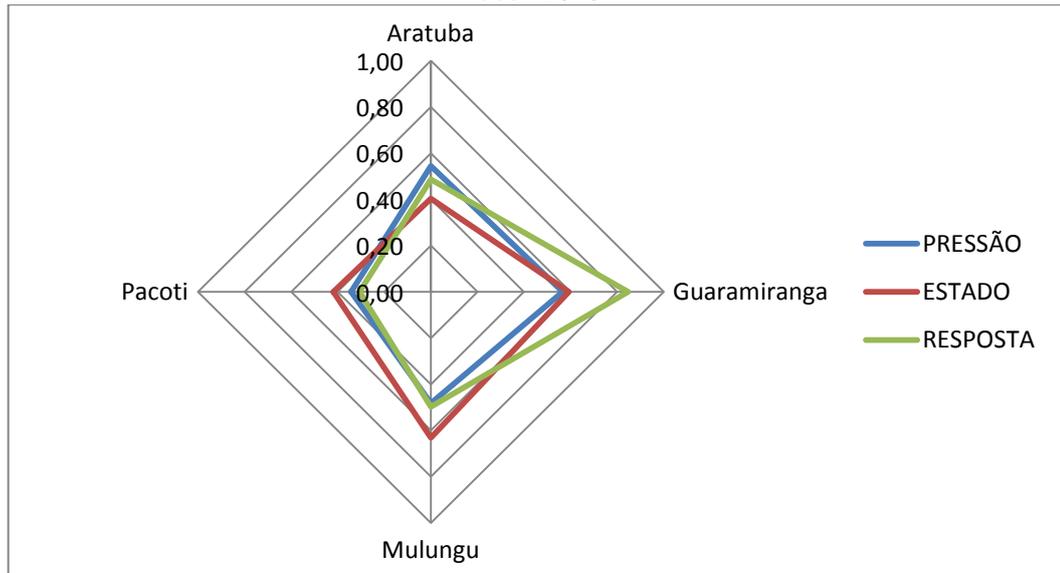
Figura 5.14 a Figura 5.17.

Figura 5.14 - Comparação de Pressão Estado e Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.



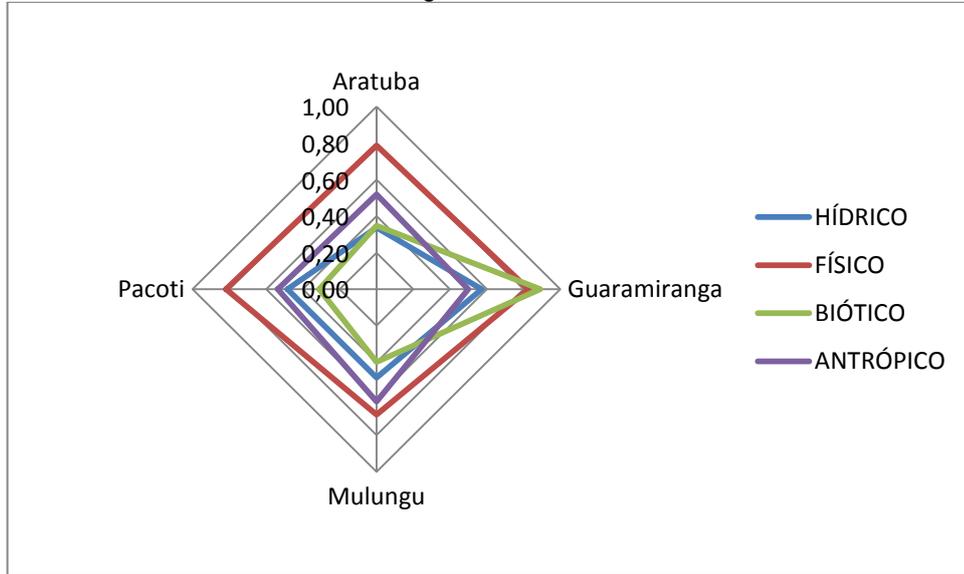
Fonte: Autor

Figura 5.15 - Comparação de Pressão Estado e Resposta de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.



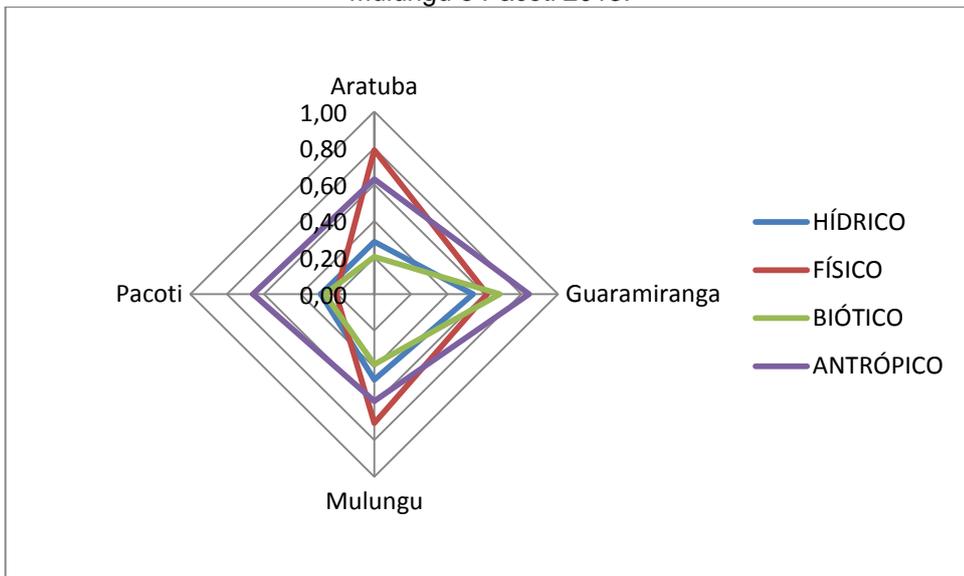
Fonte: Autor

Figura 5.16 - Comparação dos Meios Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2005.



Fonte: Autor

Figura 5.17 - Comparação dos Meios Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico de Aratuba, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti 2013.



Fonte: Autor

Tabela 5.10 - Desempenho dos Municípios nos Índices Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico..

MEIO	ÍNDICES	MUNICÍPIOS (2005 e 2013)															
		Aratuba				Guaramiranga				Mulungu				Pacoti			
		2005	Desempenho	2013	Desempenho	2005	Desempenho	2013	Desempenho	2005	Desempenho	2013	Desempenho	2005	Desempenho	2013	Desempenho
HÍDRICO	IH	0,34		0,29		0,57		0,54		0,48		0,47		0,48		0,29	
FÍSICO	IF	0,79		0,79		0,83		0,61		0,69		0,71		0,82		0,21	
BIÓTICO	IB	0,35		0,20		0,89		0,68		0,40		0,39		0,31		0,27	
ANTRÓPICO	IA	0,52		0,63		0,50		0,84		0,62		0,59		0,54		0,66	

Fonte: Autor

Quadro 5.4 - Classificação e representação dos níveis do índice de Sustentabilidade Hidroambiental – ISHA (2005 e 2013).

Classificação e representação dos níveis do índice de Sustentabilidade Hidroambiental – ISHA (2005 e 2013)							
Aratuba		Guaramiranga		Mulungu		Pacoti	
2005	2013	2005	2013	2005	2013	2005	2013
Médio/intermediário	Médio/intermediário	Bom /potencialmente sustentável	Bom /potencialmente sustentável	Médio/intermediário	Médio/intermediário	Médio/intermediário	Pobre/potencialmente insustentável

Fonte: Autor

Tabela 5.11 - Desempenho Global do ISHA 2005 - 2013.

<b>ISHA (2005 e 2013)</b>							
<b>MUNICÍPIOS</b>							
<b>Aratuba</b>		<b>Guaramiranga</b>		<b>Mulungu</b>		<b>Pacoti</b>	
<b>2005</b>	<b>2013</b>	<b>2005</b>	<b>2013</b>	<b>2005</b>	<b>2013</b>	<b>2005</b>	<b>2013</b>
0,50	0,48	0,70	0,67	0,55	0,54	0,54	0,36

Fonte: Autor

A realização do presente trabalho permitiu verificar o nível de sustentabilidade hidroambiental de municípios pertencentes à APA de Baturité, fazendo análises comparativas e evidenciando qual a situação dos municípios em relação a sustentabilidade de acordo com os padrões de escala adotados no estudo.

Pode-se afirmar que os aspectos relacionados às dimensões adotadas necessitam de ações com vistas às melhorias, uma vez que nelas residem entraves consideráveis relacionados a sustentabilidade da região.

Os resultados evidenciam que os indicadores conseguem quantificar e transmitir a informação de caráter técnico e científico de maneira sintética e compreensível, possibilitando o estabelecimento de um diagnóstico representativo da situação real de cada município individualmente e da APA como um todo para os dois períodos distintos.

O estudo pode ser de muita utilidade como um primeiro passo na concepção de políticas para diversos setores dos municípios localizados na APA de Baturité. Esses resultados obtidos, no geral, recomendam medidas relevantes para um cenário de desenvolvimento sustentável.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho buscou avaliar o Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) para os Municípios de Aratuba, Pacoti, Guaramiranga e Mulungu, localizados na APA de Baturité, com o intuito de propor informações essenciais para o planejamento das políticas e gestão dos recursos naturais, sendo, portanto, uma ferramenta fundamental na busca pela sustentabilidade da região.

Para tanto, utilizou-se o modelo estrutural PSR (Pressão-Estado-Resposta), que possui um caráter inovador, além de mostrar-se adequado aos objetivos do trabalho por integrar diferentes dimensões em sua análise agregando índices e indicadores de diferentes escalas espaciais e temporais. O modelo reforça a interação entre as causas dos problemas ambientais, o estado e as respostas da sociedade, de uma forma integrada.

No que diz respeito aos objetivos propostos, que encaminhava no sentido de desenvolver um índice de sustentabilidade hidroambiental, de ampla aplicação, inter-relacionando as dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas. a experiência da pesquisa contribuiu para o entendimento de que, um diagnóstico hidroambiental, pode constituir-se em condição para a obtenção de resultados proeminentes e duradouros, ou seja, para a efetividade da gestão ambiental de uma determinada unidade espacial estudada, podendo ser um município, uma unidade de conservação ou uma bacia hidrográfica.

Também cabe ressaltar que a pesquisa identificou parâmetros e indicadores relevantes para sua análise, traduzindo alterações no ambiente analisado e contribuindo para o entendimento dos processos de degradação ambiental ao longo de um determinado período de tempo.

Os índices e indicadores foram mensurados para se estabelecer relações comparativas entre os municípios da APA nos dois períodos analisados. Para cada indicador analisado, descrevem-se as suas funções, os parâmetros que o constituem permitindo a elaboração de um diagnóstico realista da situação da área estudada e de sua variação no período 2005-2013.

O Método do PSR mostrou-se adequado para a análise da problemática em foco, tendo em vista que a sistematização e caracterização dos índices e indicadores permitem uma melhor compreensão das vulnerabilidades as quais a população está submetida, constituindo ferramenta útil na busca de mecanismos de melhoramento para a região visando sempre atender de forma satisfatória a sociedade e o meio ambiente no processo de tomada de decisão dos órgãos públicos e privados.

Aplicações do modelo estrutural PSR (Pressão-Estado-Resposta) vêm obtendo grande sucesso na gestão dos recursos naturais. Esses modelos tem elevada eficiência para identificar políticas públicas a serem adotadas e quais os problemas ambientais mais relevantes. É importante considerar que se trata de uma metodologia que vem adquirindo cada vez mais embasamento e respeito na área acadêmico-científica, tanto na esfera nacional como na internacional.

Este modelo poderá ser aperfeiçoado com a evolução das metodologias de avaliação e capacidade de mensuração dos parâmetros e indicadores. Estudos complementares poderão ser realizados estabelecendo pesos para os indicadores e índices considerados mais relevantes e definindo melhor as escalas de níveis de aglutinação. O avanço desses estudos poderá aprimorar o padrão de intervalo e as faixas de variação de cada índice e indicador assim como estabelecer ajustes mais coerentes com o nível de influência de cada índice ou indicador.

A partir da análise dos resultados constatou-se que os valores do ISHA encontrados para os municípios de Aratuba (0,50 – 0,48) e Mulungu (0,55 – 0,54) se mantiveram em níveis intermediários de sustentabilidade com uma pequena queda entre os dois períodos. O melhor resultado apresentado foi para o município de Guaramiranga (0,70 – 0,67) que permaneceu potencialmente sustentável apesar de também ter mostrado um leve decréscimo entre os dois períodos. No entanto o Município de Pacoti (0,54 – 0,36) apresentou uma queda acentuada, passando do nível intermediário de sustentabilidade para o patamar de potencialmente insustentável.

Entre outros aspectos, constataram-se comprometimentos maiores COM os índices pertencentes a dimensão hídrica para Aratuba (0,34 – 0,29) e Pacoti (0,29) e a dimensão biótica para Aratuba (0,35 – 0,20), Mulungu (0,40 – 0,39) e Pacoti (0,31 – 0,27), com níveis de desempenho potencialmente insustentáveis. Estes valores decorrem principalmente das deficiências hídricas causadas por anos de escassez e de processos de desmatamentos provocados por atividades agrícolas e de turismo de veraneio.

Guaramiranga, por sua vez, foi o único município a apresentar níveis de desempenho sustentável tanto para as dimensões físicas e bióticas quanto para a dimensão antrópica. Esse município vem, ao longo dos anos, adotando políticas públicas favoráveis às questões ambientais e desenvolvimento sustentável, com bons níveis de saneamento básico e medidas preservacionistas.

Ficou constatado também que os índices relacionados aos componentes de pressão, estado e resposta do modelo PSR se mantiveram, nos dois períodos, com níveis de desempenho variando de intermediário a potencialmente sustentável para os municípios de Aratuba, Guaramiranga, Pacoti e Mulungu. Apenas o município de Pacoti apresentou índices de desempenho potencialmente insustentável com relação aos índices de resposta. O município de Guaramiranga, no componente resposta, demonstrou desempenho muito bom, atingindo a sustentabilidade.

Em função dos resultados obtidos nesse estudo, concluímos que os índices estimados para os três níveis de aglutinação, compreendendo os componentes do modelo pressão-estado-resposta, as dimensões hídricas, físicas, bióticas e antrópicas assim como o índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) apresentaram valores que correspondem a situação de cada município estudado individualmente e em relação a APA para os dois períodos distintos.

Constata-se também que o ISHA mostrou-se ser uma ferramenta adequada ao propósito do estudo, não só pelo produto final como também através dos índices intermediários construídos nos diversos níveis de aglutinação. A análise

dos mesmos permitiu a realização de um diagnóstico de situação dos municípios e da APA como um todo, de fácil interpretação e replicação.

Sendo assim, a proposta de desenvolvimento do ISHA pode ser considerada como uma eficaz contribuição, pois poderá fornecer novos dados e informações, referentes ao planejamento ambiental além de propiciar uma melhor avaliação de como a política pública na área ambiental está sendo executada na região.

No entanto a deficiência de dados sistemáticos e de registros de informações no âmbito federal, estadual e municipal constituiu-se numa limitação deste trabalho e no seu desdobramento. A ausência de modernas ferramentas com capacidade de disponibilização de dados estatísticos ou de um sistema de informação restringem o planejamento e a gestão e limita o potencial de utilização dos índices e indicadores no direcionamento do processo de tomada de decisões.

A disponibilização sistemática dos índices e indicadores produzidos tem como finalidade possibilitar uma melhor atuação do poder público na formulação de propostas e busca por soluções direcionadas ao desenvolvimento sustentável e à melhoria da qualidade de vida das populações.

Nesse contexto, a implementação de um sistema de informação de índices e indicadores, com o emprego de novas formas de avaliação, mensuração e divulgação de resultados periódicos podem auxiliar na confecção de leis, metas e estratégias de ações públicas, bem como no fortalecimento de organizações civis e ambientais e no aperfeiçoamento dos serviços públicos. São medidas importantes para que se tenham informações sistemáticas adequadas ao diagnóstico, prognóstico, monitoramento, assessoramento e avaliação de políticas públicas.

Sendo assim, os resultados obtidos atendem plenamente aos objetivos propostos. Recomenda-se, então, a continuidade de trabalhos na mesma linha de pesquisa buscando sempre aprofundar ou complementar os estudos que por dificuldade temporal ou estrutural não tenham sido plenamente realizados.

Recomenda-se também que a aplicação da metodologia utilizada seja realizada periodicamente de forma a se verificar a sua variação temporal E OS consequentes planos e programas de melhoria da sustentabilidade hidroambiental. O uso do modelo PSR assim como a aplicação de índices sintéticos é relevante para a gestão ambiental de municípios, unidades de conservação ou bacias hidrográficas. Relacionar a existência do problema ambiental com as respectivas ações tomadas pelos gestores é o passo inicial para se avaliar as políticas públicas. O passo seguinte seria avaliar a eficiência e eficácia dessas políticas públicas.

Sugere-se também que a metodologia seja aplicada em outras APA's ou regiões protegidas do semiárido para propiciar uma visão cada vez mais ampla do desenvolvimento sustentável regional. O ISHA poderá ser aplicado facilmente em outras áreas protegidas e até em áreas não protegidas desde que haja grande relevância dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento sustentável e sejam estabelecidas as condições necessárias ao monitoramento especializado. A sua variabilidade no tempo e no espaço indica a necessidade de mudanças de políticas públicas adequadas à região estudada assim como à estudos comparativos de regiões semelhantes.

As políticas públicas adotadas no estado do Ceará ainda apresentam-se em níveis bastante incipientes, cuja abrangência é pouco expressiva, com benefícios sociais limitados causados, principalmente pela excessiva burocracia, pela gestão inadequada de recursos ou ainda pela falta de planejamento dos nossos tomadores de decisão.

Finalizando este estudo, cabe enfatizar que esta pesquisa poderá servir de subsídios para novos estudos e aplicações possibilitando o acompanhamento da evolução do ISHA ao longo do tempo e sua comparação entre áreas diferenciadas. Entende-se que esta linha de pesquisa poderá conduzir a novas pesquisas em trabalhos acadêmicos de mestrado e doutorado de modo a propiciar conhecimento cada vez mais profundo na área de recursos hídricos, de tão grande importância para o Nordeste como também para todo o país.

## REFERÊNCIAS

ABDALA, V. L.; NISHIYAMA, L.; MACHADO, M. F.; VALLE JUNIOR, R. F.; GUIDOLINI, J. F.: **Zoneamento da área de proteção ambiental da Bacia do Rio Uberaba**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4893.

ABNT NBR ISO 14031.: **Gestão ambiental – avaliação de desempenho ambiental – diretrizes**. Norma Brasileira. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2004.

ALMEIDA, N. G.: **Um indicador de sustentabilidade para o café ecológico**. Dissertação de mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, PRODEMA, 2002.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.: **Caracterização dos efeitos das secas no semiárido paraibano**. Departamento de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2013.

ANDRADE, F. M.; PIROLI, E. L.: **Uso do sensoriamento remoto aplicado ao estudo das áreas de preservação permanente (APP's) do município de Cerquilha, SP, Brasil**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4078.

ASCE – AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS.: **Sustainability criteria for water resources systems**. Task Committee of Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division, ASCE and Working Group, UNESCO, 1998.

ÁSFORA, M. C.; ROCHA, J. C. S.; REZENDE, A. C.: **Sistema de informações de recursos hídricos de Sergipe – modelo conceitual**. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracajú – SE, 25 a 20 de novembro de 2001.

ASSIREU, A. T.; FREITAS, R. M.; NOVO, E. M. L. M.; PACHECO, F. S.; SILVA, F. R.; STECH, J. L.: **Índice de criticalidade da água em lagos e reservatórios: Uma proposta de metodologia baseada em variáveis estáticas e dinâmicas**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 4639-4646.

BELL, S.; MORSE, S.: **Measuring Sustainability – Learning from Doing**. Earthscan. London. 2006.

BELLEN, H. M. V.: **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro. Editora FGV, 2005.

BESSA, O. J.; MULLER, A. C. P.: **Indicadores ambientais georreferenciados para a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba**. Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, Paraná, 2000.

BOURSCHEIDT, D. M.; DALCOMUNI, S. M.: **Indicadores de desenvolvimento sustentável: o desafio brasileiro na mensuração da sustentabilidade do desenvolvimento**. IX Encontro Nacional da ECOECO. Brasília, DF. Outubro de 2011.

BRAGATTO, R. D.; MARTINI, C. A.; STEFFANI, M. A.; ZOREL JR, H. E.; BARRETO, R.; M.: **Indicadores ambientais de sustentabilidade sistematizados pelo modelo pressão-estado-resposta (PER): análise de águas superficiais na microbacia hidrográfica Passo da Pedra, em Pato Branco – PR**. Revista Brasileira de Agroecologia. Rev. Bras. de Agroecologia. 7(2): 87-103 (2012).

BRASIL: **LEI N.º 9.985, de 18 de julho de 2000: Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 19/07/2000.

BRASIL: **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 e Decreto 4.340 de 22 de agosto de 2002**. Ministério do Meio Ambiente, 2ª ed. (aumentada). Brasília, 2002.

BRASIL: **Lei n º 9.985, de 18 de julho de 2000: Dispõe sobre a instituição do SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação.** Brasília, DF:IBAMA, 2002.35p.

BRUNER, A. G.; GULLISON, R. E.; RICE, R. E.; FONSECA, G. A. B.: **Effectiveness of parks in protecting biodiversity.** Science, v. 291, n. 125, p. 125-128, 2001.

CÂMARA, G. ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas: Visão atual e perspectivas de evolução.** In: Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura. EMBRAPA. Brasília-DF, 15-37 p, 1993.

CAMPOS, J. N.: **Vulnerabilidades hidrológicas do semiárido às secas.** Projeto Áridas RH. Brasília, 1995.

CAMPOS, H. K. T.: **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A.; MEURER, S. A.: **A importância dos indicadores de desempenho ambiental nos sistemas de gestão ambiental (SGA).** IX ENEMA – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, Paraná, novembro/2007.

CARDOSO, G. F.; SOUZA, T. C.: **Aplicação do sensoriamento remoto na detecção de ilícitos ambientais na Estação Ecológica da Terra do Meio e no Parque Nacional da Serra do Meio e no Parque Nacional da Serra do Pardo, Estado do Pará, Amazônia, Brasil.** VII congresso brasileiro de unidades de conservação. III Simpósio internacional de conservação da natureza. Natal RN. Anais. Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza 2012.

CARVALHO, F. H. J.: **Estudos de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza-**

CE. Tese de Doutorado em Engenharia Civil e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2013.

CARVALHO, J. R. M.; CÂNDIDO, G. A.; CURI, W. F.; CARVALHO, E. K. M.: **Proposta e validação de indicadores de sustentabilidade hidroambiental para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do Rio Piranhas, PB.** VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 12 e 13 de agosto de 2011.

CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C.; GREEN, A. L.; OLIVEIRA, S. M. M.: **Indicadores para a avaliação da gestão ambiental municipal com base no modelo Pressão-Estado-Resposta.** Trabalho apresentado no XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambú - MG – Brasil, de 29 de Setembro a 3 de outubro de 2008

CARVALHO, P. G. M.; BARCELLOS, F. C.; MOREIRA, G. G.: **Políticas públicas para meio ambiente na visão do gestor ambiental – uma aplicação do modelo PER para o semiárido.** VII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica” – Fortaleza, 28 a 30 de novembro de 2007.

CAVICHIOLO, G. R.; BRAGA, C. B.: **Estudo de Qualidade de Água, com Especialização Através da Aplicação de Sistema de Informações Geográficas.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Paraná, 2003.

CIRILO, J. A.: **Instrumentos de Gestão: Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-PR, 23 a 27 de Novembro de 2003.

CLEMENTE, F.; FERREIRA, M. F.; LÍRIO, V. S.: **Avaliação do Índice de sustentabilidade (IDS) do Estado do Ceará.** RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico. Ano XIII. Salvador, Bahia. Dezembro, 2011.

COELHO, A. C. P.; HARDT, À. L. P. A.: **Ocupação territorial regional e disponibilidade dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento**

**sustentável.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, 23 a 27 de novembro de 2004.

COSTA, A. M. B.; SILVA, F. M.; GOMES, C.; CUELLAR, M. Z.; ALMEIDA, S. A. S.; AMORIM, R. F.; CARVALHO, M. J. M.: **Comportamento espacial do índice de desenvolvimento humano no Rio Grande do Norte com uso do programa TerraView (desenvolvido pelo INPE).** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 5159-5166.

COSTA, C. D. O.; TEMÓTEO, A. S.; ZIMBACK, C. R. L.: **Caracterização de uma bacia hidrográfica quanto a suscetibilidade à erosão, utilizando técnicas de geoprocessamento.** XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 3689-3695.

COURA, P. H. F.: **Mapeamentos de áreas de preservação na área de proteção ambiental de Petrópolis.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4647.

CRAVEIRO, J. R. V.: **Caracterização das unidades de conservação: referências sobre o sistema nacional de unidades de conservação da natureza.** Primeiro Simpósio de Pós-graduação em Geografia do Estado de São Paulo – SIMPGEO. VII Seminário de Pós-graduação em Geografia de UNESP – Rio Claro. 17 a 19 de novembro de 2008. UNESP, Rio Claro, São Paulo.

CROSTA, A. P.; SOUZA, C. R.: **Sensoriamento Remoto. In: Anuário Fator GIS: o guia de referência do geoprocessamento.** Curitiba – PR: Sagres, 1997.

DA SILVA, S. S. F.; CÂNDIDO, G. A.; RAMALHO, A. M. C.; FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.: **Sistema de indicador de sustentabilidade Pressão-Estado-Impacto-Resposta na análise das condições ambientais resultantes dos resíduos sólidos urbanos: um estudo no Município de Cuité-PB.** Qualit@s Revista Eletrônica ISSN 1677 4280 Vol.13. No 2(2012).

DE ASSIS, J. S.: **O uso do sensoriamento remoto no planejamento de unidades de conservação**. Aracaju, Sergipe, 2012.

DERISIO, J. C.: **Introdução ao controle de poluição ambiental**, São Paulo: CETESB, 1992.

DIEGUES, A. C.: **O mito moderno da natureza intocada**. São Paulo: HUCITEC / NUPAUB / USP, 2004. 169p.

DRUCKER, P. F.: **The age of social transformation**. The Atlantic Monthly Company, v. 274, n. 5, p. 53-80, nov. 1994.

DURÃES, M. C.; MELLO, C. R.: **Índice de perturbação hidrossedimentológica aplicado a bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais**. Revista de Ciência e Agrotecnologia. Editora UFLA Lavras, MG-Brasil, 2014.

ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C.; SALDANHA, D. L.; GUERRA, T.; PORTO, M. L.: **Análise do diagnóstico ambiental do Vale do Taquari – RS – Brasil, utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 5191-5198.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RUBERT, O. A. V.: **Um sistema de suporte a decisão para análise de cheias em bacias complexas**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Belo Horizonte-MG, Brasil, 1999.

FARIA, H. H.: **Eficácia de gestão de Unidades de Conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo, Brasil**. Prudente, 2004. 401p. Tese (Doutorado em Geografia). FCT, UNESP, Presidente Prudente, SP, 2004.

FELGUEIRAS, C. A.; ERTHAL, G. J.; PAIVA, J. A. C.; ALVES, D. S.: **Metodologia de integração de dados em sistemas de informações geográficas**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, Departamento de Processamento de Imagens. São José dos Campos-SP, 732-735, 1990.

FELIPPE, M. F.; RODRIGUES, B. H. M.; JUNIOR, A. P. M.: **Uso de técnicas de sensoriamento remoto na análise da dinâmica morfológica da foz do Rio São Francisco no período de 1979-2008.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 3737-3744.

FENZL, Norbert: **O conceito de desenvolvimento sustentável em sistemas abertos.** Publicado em Poematropic. 1998.

FERNANDES, M. F.; BARBOSA, M. P.: **Aplicações dos Indicadores socioeconômicos e ambientais no Modelo DPSIR (Força Motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta) e influências na desertificação nos municípios de Araripina-PI, Crato e Barbalha-CE e Marcolândia-PI.** Revista brasileira de Geografia Física. N. 04, 722-737, 2011.

FERNANDES, R.: **Índice de desenvolvimento da educação básica – IDEB.** EDITORIA Inep/MEC – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasília, DF. 2007.

FERNANDES, R. S.; PETTA, R. A.; DUARTE, C. R.; ARAÚJO; L. P.; CASTELLANI, R.: **Mapeamento geoambiental com uso de imagens de alta resolução espacial do sistema lagunar-estuarino Nísia Floresta-Papeba-Guaíras no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 523-530.

FERNANDES, S. C.; CERNESSON, F.; EID, N. J.: **Avaliação de imagens de alta e muito alta resolução espacial como subsídio à gestão dos recursos hídricos.** XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

FERREIRA, M. B.; BRAGA, P. M.: **Propostas de indicadores ambientais na gestão de recursos hídricos na comunidade de Ponta Grossa dos Fidalgos, Lagoa Feia – RJ: utilização do Modelo Força Motriz/Pressão-Situação-Impacto-Resposta.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 5 n. 2, p. 11-26, jul. / dez. 2011.

FIGUEIRÊDO, T. N.; ROSSETE, A. N.: **Análise do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Córrego Capim Branco, Torixoréu – MT.** XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p.5225-5231.

FOLHES, M. T.: **Um índice de bem-estar econômico sustentável para o Ceará.** Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. PRODEMA, 2000.

FONSECA, F. D. N.; BRAGA, A. L.; OLIVEIRA, A. M. S; OLIVEIRA, J. C.: **Uso dos sistemas de informações geográficas na determinação das características físicas de uma bacia hidrográfica.** XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE.

FORTES, P. T. F. O.; OLIVEIRA, G. I. M.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.: **Geoprocessamento aplicado ao planejamento e gestão ambiental na Área de Proteção Ambiental de Cafuringa, Distrito Federal. Parte 1: Processamento Digital de Imagens.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis-SC, 21 a 26 de abril de 2007. INPE p. 2613-2620.

FRANCISCO, C. N.; OLIVEIRA, C. A. V.: **Sustentabilidade hídrica da região hidrográfica da Baía da Ilha Grande, RJ.** XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 4707-4714.

FUNCEME: **Levantamento e mapeamento do grau de conservação versus degradação ambiental da serra de Baturité-CE, Através de Sensoriamento Remoto.** Fortaleza-CE. 1991.

FUNCEME: **Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso/Ocupação do Solo da APA da Serra de Baturité, Ceará.** Fortaleza-CE. 2006.

FUSHITA, A. T.; SOUSA E SILVA, A. C. P.; SANTOS, L. M; BARBOSA, J. M.: **Estudo de uso e ocupação da terra no entorno do Parque Ecológico de Guarapiranga.** São Paulo, 2011.

BORGES, J. A. S.; SEIXAS, K. C. C. ; MANTOVANI, N. A. M.: **Caracterização do uso e ocupação do Parque Ecológico do Guarapiranga (São Paulo – SP) seu entorno**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 3071.

GALLOPÍN, G. C.: **Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators**. A system approach. Environmental Modelling & Assessment. 1: 101-117, 1996.

GALLOPIN, G.C.: **Indicators and Their Use: Information for Decision-Making, in Bedrich Moldan, Suzanne Billharz and Robyn Matrovers (eds.), Sustainability Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development**, Wiley, Chichester, England, 1997.

GALVAO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. C.: **Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto**. Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR), 2007.

GASPAR, J.; FRANSCSCHINI, M. H. D.; DEMATTÊ, J. A. M.; ALKIMIM, A., F., CASTRO, A., C.: **Uso de Imagens SPOT na identificação, quantificação, e planejamento de Áreas de Proteção Permanente e Reserva Legal**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 5849.

GELEDETE, C.; VIEIRA, P. R.; SILVA, R. R.: **Demarcação das Unidades de Conservação ao longo da BR-319**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 3111.

GLEICK, P: **Vulnerability of water systems in climate changes and US water resources**. New York, 1989.

GONDIM FILHO, J.; G.; C.: **Sustentabilidade do desenvolvimento do semiárido sob o ponto de vista dos recursos hídricos**. Brasília, Projeto Áridas, 1995.

GONDIM, R. S.; FUCK JUNIOR, S. C. F.; EVANGELISTA, S. R. M.; CASTRO, M. A. H.; TEIXEIRA, A. S.: **Impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração em nível de bacia hidrográfica utilizando um sistema de informações geográficas**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 16 n.2. Abr/Jun, 2011.

GROSS, J. E., NEMANI, R. R., TURNER, W., MELTON, F. 2006. **Remote sensing for the national parks**. Park Science, 24, 30–36.

GUIMARÃES, L. T.: **Proposta de um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável para bacias hidrográficas**. Tese de doutorado. Curso de pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2008.

GUIMARÃES, L. T.; TURETTA, A. P. D.; COUTINHO, H. L. C.: **Uma proposta para avaliar a sustentabilidade da expansão do cultivo da cana de açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul**. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.22, n.2, agosto/2010.

GUIMARÃES, R. P.: **Aterrizando una cometa: indicadores territoriales de sustentabilidad**. Santiago do Chile: CEPAL/ILPES, 1998.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q.: **Desafios da construção de indicadores de sustentabilidade**. Ambiente & Sociedade, Campinas, SP, v. XII, n. 2, jul-dez, 2009.

HÁK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A. L.: **Sustainability Indicators – a scientific assessment**. Scientific Committee on Problems of the Environment, of the International Council for Science. Washington D.C., 2009.

HAMILTON, K: **Policy Driven Indicators for Sustainable Development**. Mediterranean Blue Plan Environmental Performance Indicators Workshop. Damasco, World Bank, 1996.

HAMMOND, A. *et al.*: **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, D. C. World Resources Institut, 1995.

HARDI, P.; JESINGHAUS, J.: **Dashboard of sustainability: indicator guidance do 21 st century**. In: World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa, 2002.

HERCULANO, L.; C.: **A qualidade de vida e seus indicadores. Livro Qualidade de Vida e Riscos e Ambientais**. Eduff. Niterói, 2000.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Ed. IBAMA, PNUMA. GeoBrasil, 2002.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: **Roteiro metodológico de planejamento: Parque Nacional, Reserva Biológica e Estação Ecológica**. Brasília, MMA/IBAMA/DIREC. 135 p, 2002.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: **Efetividade de Gestão das Unidades de Conservação Federais do Brasil: Implementação do Método RAPPAM- Avaliação Rápida e Priorização da Gestão de Unidades de Conservação**. ONAGA, C.A. e DRUMMOND, M.A. (Orgs.), IBAMA, WWF-Brasil. Brasília: IBAMA, 96 p, 2007.

IBAMA E WWF-Brasil: **Efetividade de gestão das unidades de conservação federais do Brasil. Implementação do método Rappam – Avaliação Rápida e Priorização da Gestão de Unidades de Conservação**. Brasília. DF, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Produto Interno Bruto dos Municípios 1999 – 2003**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 16, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008**. Rio de Janeiro, Rj, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2012**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia, v. 9, 2012.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: **Situação Social Brasileira: monitoramento das condições de vida 02**. Brasília, Ipea, 2012.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará: **Ceará em Números 2011**. Fortaleza: IPECE, 2012.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará: **Ceará em Mapas: Caracterização Territorial – Limites e Regionalizações - Região Metropolitana de Fortaleza – RMF**. Ceará, 2013.

IPLANCE: **Atlas do Ceará, Fortaleza**. SEPLAN, escala 1:1.500.000, 1989 , 56p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: **Fundamentos do Geoprocessamento**. São José dos Campos, 2004.

IUCN. (INTERNACIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES); UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME); WWF (WORLD WILDLIFE FOUND): **World conservation strategy: living resource conservation for sustainable development**. Gland, Switzerland & Nairobi, Kenya: IUCN, UNEP, WWF, 1980.

IWMI – Internacional Water Manegement Institute: Disponível: <http://www.cgiar.org/iwmi/home/wsmmap.htm>. Julho de 2006.

JANNUZZI, P. M.: **Análise multicritério e a decisão em políticas públicas: Implementação da técnica no aplicativo Pradin e aplicações**. Texto para

discussão número 29, Escola Nacional de Ciências Estatísticas – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2010.

JANNUZZI P. M.; GRACIOSO, L. S.: **Produção e disseminação da informação estatística**. São Paulo em Perspectiva. São Paulo, 16(3), pp. 92-103, 2002.

LUDKA, M.; MEDEIROS, R.: **Panorama da avaliação da efetividade do manejo de unidades de conservação ambiental**. VII congresso brasileiro de unidades de conservação. III Simpósio internacional de conservação da natureza. Natal RN. Anais. Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2012.

JAMEL, C. E. G.; FIGUEIRÊDO, C. R.; FRANÇA, C. R. D.; COSTA, R. F.; PINTO, D. O. R.: **Utilização do geoprocessamento no zoneamento de unidades de conservação – o caso do Parque Nacional do Desengano – RJ**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p.2737-2743.

KAZMIERCZAK, M. L.; SEABRA, F. B.: **Índice de sustentabilidade de degradação ambiental (ISDA) em áreas do Cerrado paulista**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 2745-2752.

KINOUCI, M. R.: **Pactuando termos: A implementação e a consolidação de uma Unidade de Conservação**. VII congresso brasileiro de unidades de conservação. III Simpósio internacional de conservação da natureza. Natal RN. Anais. Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza 2012.

LEITE, E. F.; ROSA, R.: **Sensoriamento remoto multitemporal na bacia hidrográfica do Rio Nioaque, MS**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 5903-5908.

LIMA, L.; H.: **Contabilidade ambiental – avanços internacionais e atraso no Brasil**. Congresso Acadêmico sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

LIMA, J.; D.: **Modelos de Apoio à Decisão para Alternativas Tecnológicas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologias e Ciências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

LIRA, W. S.: **Sistema de gestão do conhecimento para indicadores de sustentabilidade – SIGECIS**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba, 2008.

LUNA, R. M.: **Adaptação do Índice de Pobreza da Água ao Semiárido Nordestino. Estudo de Caso: Bacia do Curu**. Ceará, março de 2006.

MACHADO, G. V.: **Matriz de indicadores de sustentabilidade dos estados brasileiros**. *Revista Brasileira de Planejamento e Orçamento*. RBPO, Brasília, vol.2 n. 1 , 2012.

MACHADO, D. C.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J. L. B.: **Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas**. *Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.3, n.4, out/dez 2002.

MAGALHÃES, A. P. JR.; NETTO, O. M. C; NASCIMENTO; N. O.: **Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – resultados de um painel de especialistas**. RBRH – *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 8 nº 4. Out/Dez, 2003.

MAGALHÃES, A. P. JR.: **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Ed. Bertrand Brasil. 2010.

MALVEIRA, V. T. C.; TEIXEIRA, A. T.; VIEIRA, V. P. P. B: **Uso de SIG na caracterização da evolução do armazenamento superficial de água no Estado do Ceará – período 1901 a 2004**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

MARANHÃO, N.: **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. Tese de doutorado do curso de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MARTINS, M. H. B.; COSTA, L. A.; OLIVEIRA, M. A. F.; PINTO, T. J. M.: **Análise multitemporal da antropização da Área de Proteção Ambiental da Margem Direita do Rio Negro, setor Paduari-Solimões**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4519.

MARZALL, L.: **Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Agronomia. UFRS. Porto Alegre, RS, 1999.

MATEUS, A.; DUARTE, M.: **Indicadores econômicos: sua interpretação**. Instituto Politécnico de Coimbra. Portugal, 2007.

MELO e SOUZA, R.: **Redes e tramas – identidade cultural e gestão ambiental na APA de Piaçabuçu**. Alagoas, 2003.

MENDES, C. A. B.: **Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 1, n 1, Jan/Jun, 1996.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A.: **Geoprocessamento em recursos hídricos – princípios, integração e aplicação**, ABRH, 533p, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA: **A Agenda 21 e os Objetivos do Milênio: As Oportunidades para o Nível Local**. Caderno de Debate Agenda 21 e Sustentabilidade. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N.: **Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e**

**esgotamento sanitário.** Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária – ABES. Volume 9, 2004.

MIRANDA, J. I.: **Fundamentos de sistema de informações geográficas.** Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005, 425p.

MOORE, K. A.; BROWN, B.V.; SCARUPA, H.J.: **The uses and misuses of social indicators: implications for public policy.** Child Trends Research Brief Publ. 2003-1, Washington, pp. 1-6, 2003.

MORAES, A. R.; BERNARDES, R. S.: **Alterações no uso do solo da Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná (MS/PR/SP) durante a década de 2000.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 6121.

MORAES, R. C.; LIMA, L. P.: **Utilização do SIG como ferramenta na gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA).** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 4057 – 4064.

MORENO, J.; TEJADA, K. S.: **Análise e mapeamento do uso do solo e suas implicações ambientais através de módulos de apoio a tomada de decisão em SIG – caso de estudo: bacia do ribeirão Piracicamirim / Piracicaba, SP.** Santa Bárbara D’oeste, UNIMEP, 2002.

MORENO, J.; TEJADA, K. S.: **O uso de instrumental SIG na análise de parâmetros hidrológicos com vistas as ações de gestão territorial, estudo de caso: a bacia hidrográfica do ribeirão do Piracicamirim – Piracicaba, SP.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, 23 a 27 de novembro de 2004.

MOTA, M. S.; PONS, N. A. D.: **Uso do geoprocessamento para análise do uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente do município de Itajubá MG – Brasil.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4586.

MOTA, S: **Preservação de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro : ABES, 1988.

MOTA, S: **Introdução a Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro : ABES, 1997.

MOTA, S: **Água e desenvolvimento sustentável no Semiárido**. Fortaleza, Ceará, 2002.

MOTTA, R. S.: **Indicadores ambientais no Brasil: aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos**. Brasília: IPEA, 1996.

MOURA, M. E.; SANTOS, M. E.; JESUS, T. S.; SOUZA, R. M.: **Desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade urbano-regional**. X Encontros de Geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

MUANIS, M.M; SERRRÃO, M.; GELUDA, L.: **Quanto custa uma unidade de conservação federal, uma visão estratégica para o financiamento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Rio de Janeiro: Funbio, 52p. 2009.

NAPOLEÃO, R. P.; MATTOS, J. T.: **O uso de geotecnologias como subsídio à gestão dos recursos hídricos: o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Capivari (SP)**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, Curitiba, Paraná, INPE, 2011.

NASCIMENTO, M. C.; SILVA, M. P.; JUNIOR, S. A. M. G.: **Geoprocessamento aplicado a análise dos impactos ambientais na cobertura vegetal da Área de Proteção Ambiental de Santa Rita, Alagoas – Brasil**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 4101-4108.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P. RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA E.: **Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio alegre**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Goiás, Brasil, abril 2005, INPE.

NATIONAL WATER QUALY MONITORING COUNCIL: **Population and Water Resources**. Disponível em: <http://www.un.org/popin/fao/water.html>. 2007.

NEW SOUTH WALES ENVIRONMENTAL PROTECTION AUTHORITY: **State of the Environment Report**. Sidney, Department of Environment and Conservation, 2003.

OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT): **Organization for Economic Cooperation and Development: core set of indicators for environmental performance reviews; a synthesis report by the group on the state of the environmental**. Paris: OECD, 1993.

OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT): **Environmental Indicators**. Paris: OECD, 1994.

OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT): **Environemntal Indicators – Development, Measurement and Use**. In: <http://www.oecd.org/env>, 2003.

OCDE (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT). **Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the group of state environment**. Paris: OCDE, 1993.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K.: **Delimitação de áreas de preservação permanente: um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG)**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 4119 - 4128.

ONO, S.; BARROS, T. L.; CONRADO, G. N.: **A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**. 2006.

PAGANI, M. I.; RIBIEIRO, M. C.; NALON, M. A.; ZANCHETTA, D.: **Proposta de um protocolo de indicadores ambientais para a categoria de manejo de Unidades de Conservação de Proteção Integral Estação Ecológica**. VII congresso brasileiro de unidades de conservação. III Simpósio internacional de conservação da natureza. Natal RN. Anais. Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza 2012.

PAIVA, M. F. A., CIRILO, A., GARRIDO, R. J. S., ASFORA, M. C.: **Sistema Computacional de Suporte à Decisão para Análise e Controle de Outorgas**. Pernambuco, 1999.

PAIXÃO, M. P.; STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.; CARVALHO, R. M.: **Aplicação de indicadores de performance na avaliação de sistemas hídricos: um estudo de caso**. Fortaleza, Ceará, 2002.

PAULA JR, D. R.; POMPEMAYER, R. S.: **Indicadores de sustentabilidade para análise comparativa de bacias hidrográficas**. Revista brasileira de Ciências Ambientais, N. 6, 2007.

PAZ, J.M.; SANCHEZ, J.; VISCONTI, F.: **Combined use o GIS and environmental indicators for assesment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterreanean region**. Journal of Environmental Management. Valencia, Espanha. 79, 150-162. 2005.

PINHEIRO, M. I. T; VIEIRA, V. P. P. B.; STUDART, T. M. C.; BEZERRA, V. M. J. B.; LUNA, R. M.: **Indicadores Ambientais: Uma Análise Compartiva**. ABRH, VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2006.

PNAP: **Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas**, estabelecido pelo Decreto Nº. 5.758, de 13 de abril de 2006.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO: **Millenium Project**, 2006.

POLAZ, C.N.M.; TEIXEIRA, B.A.N.: **Utilização de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos/SP**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2007.

PRADO, R, B.; COUTINHO, H. L. C.; BARBOSA, J.C. ABOIM, M. C. R.; PEREZ, P. R. N.; ANDRADE, A. G.; LEITE;A. A. S.; DART, R. O.: **Indicadores de qualidade do solo e água na avaliação da dinâmica de nutrientes na paisagem: subsídios para gestão de bacias hidrográficas**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

PRODHAM - Projeto de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará PROGERIRH: **Relatório do Sistema de Monitoramento Global**. Julho de 2005.

QUIROGA, R. M: **Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas**. Division de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Santiago, Chile, 2001.

QUIROGA R.; M.: **Los indicadores de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe**. Santiago: CEPAL - Nações Unidas, 2007.

REIS, R. B.; CARDOSO, P. V.; CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.: **Mapeamento e caracterização das áreas de preservação permanente (APP's) na Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico Leão Dourado**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 5397-5404.

RIBEIRO, A. I.; VILARES, G. N.; MEDEIROS, G. A.; JUNIOR, V. M.; LOURENÇO, R. W.: **Utilização do modelo Pressão, Estado e Resposta (PER) no Parque Municipal da Água Vermelha “João Cândio Pereira” – Sorocaba-SP.** III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012.

RIBEIRO, C. B. M.; ROTUNNO, O. C. F.; BRENNY, F.; RAUPP, I. P.: **Monitoramento de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica através de técnicas de sensoriamento remoto.** XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracajú – SE, 25 a 20 de novembro de 2001.

RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, XAVIER, L. S.: **Indicadores de desenvolvimento sustentável: um estudo da estrutura brasileira.** VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, agosto /2008.

RIBEIRO, S. R. A.; BAHR, H. P. JORGE, S. C.: **Integração de imagens de satélites e dados complementares para a delimitação de unidades de paisagem usando uma abordagem baseada em regiões.** Boletim Ciências Geodésicas, Curitiba, v.8, n.1, p. 47-57, 2002.

ROCHA, S. S.; HADLICH, G. M.: **Características do meio físico e uso do solo na APA Serra do Ouro, Bahia.** XV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, PR, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4798.

RODRIGUES, S. F; KRAHL, I. M.; ZAMPLERON, G. M.; SCHENINI, C. A.; VEIA, J. A. A.: **Indicadores de sustentabilidade e uma agenda positiva para o comércio exterior brasileiro.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

RODRIGUES, S. W. P.; SOUZA FILHO, P. W. M.: **Índice de sensibilidade ambiental (ISA) a partir do processamento de imagens Landsat TM para o noroeste do Pará (Caruçá – PA, Brasil).** XV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, PR, Brasil, abril 2011, INPE, p. 5070.

ROGERS, P. P.; FALAL, K. F.; BOYD, J. A.: **An introduction do sustainable development The Continuing Education Division, Havard University and Glen Educational Foundation.** Canada, 2006.

ROSA, R.: **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia: Editora UFU, 248p 2007.

SACHS, I.: **Desenvolvimento sustentável, bioindustrialização descentralizada e novas configurações rural-urbanas. Os casos da Índia e do Brasil.** In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Orgs.): *Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental.* São Paulo: Cortez, 1997.

SAGAR, A. D.; NAJAM, A.: **The human development index: a critical review.** *Ecological Economics* 25, 249-264, 1998.

SANTOS, A. V.; PERTOVT, L. E.; SILVA, I. M.; COELHO, O. G. W.: **Utilização de ferramentas de geoprocessamento para mapeamento de aptidão de uso solo na região do Arroio Feitosa no município de Ivoti/RS.** XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 3105-3107.

SANTOS, A. V.; SOUSA, L. H. G.; NETO, C. F. S.: **Análise de uso e ocupação do solo da Área de Proteção Ambiental Tambaba – litoral sul da Paraíba.** XV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, PR, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4526.

SEMACE.: **Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité: diagnóstico e diretrizes.** Fortaleza-CE. 109p. 1992.

SILVA, A. M.; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A.: **Avaliação de sustentabilidade no município de João Pessoa. Formas de Aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas.** Campina Grande, PB: Ed. UFCG, 2010.

SILVA, J. X.: **Geoprocessamento e análise ambiental**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 54, p. 47-61, 1992.

SILVA, M. K. A.; ROSA, R.: **Diagnóstico do meio físico da bacia hidrográfica do São Francisco, no Estado de Minas Gerais/Brasil**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 4393-4400.

SLOVINSCKI, N. C.; SOUZA, N. C.; DORNELAS, T. S.: **Uso de produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento como subsídio para análise morfométrica de bacias hidrográficas: um estudo de caso das bacias dos rios Capivari, Bacaxá e Alto São João – RJ**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 4409-4416.

SIMÕES, F. F. L. F.: **Gestão de recursos hídricos em áreas do semiárido nordestino para o desenvolvimento sustentável**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

SOARES, C. B. S. S.; TEIXEIRA, W. G. T.; PINTO W. H. A. P.; COSTA, L. A.: **Geotecnologia aplicada ao estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Encontro das Águas – Iranduba – AM**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, abril 2007, INPE, p. 3163-3170.

SOUTO, R. D.: **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil: análise e contribuições**. Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGG/UFRJ). Rio de Janeiro, RJ, 2012.

SOUZA, J. D.; AMARAL, S. B.; FERREIRA A. M.: **Sistema de informações geográficas para gestão dos recursos hídricos da bacia do Alto Iguaçu**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba – PR, 23 a 27 de novembro de 2004.

SOUZA, C. G.; ZANELLA, L.; BÓREM, R. A. T.; CARVALHO, L. M. T.; SOUZA, K. R., VIEIRA, T. G. C.: **Estrutura Fisiográfica da Área de Proteção Ambiental**

**Coqueiral – MG, Brasil.** XV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 3827.

SOUZA, F. F. A.: **Descrição da Arquitetura do Sistema de Suporte a Decisão da COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos-CE**, XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Belo Horizonte, Brasil, 1999.

SOUZA, J. H.; PAULLELA , E. D.; TACHISAWA, T.; POZO, H.: **Desenvolvimento de indicadores síntese para o desempenho ambiental**. Saúde Soc. São Paulo – SP, 2009.

TÁVORA, G. S. G.; TURETTA, A. P. D.: **Delimitação de áreas de proteção permanente (APP) em uma bacia de drenagem sob uso agrícola na região serrana do Rio de Janeiro**. XV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, PR, Brasil, abril 2011, INPE, p. 4149.

TEBALDI, M. R.: **Vulnerabilidade e gestão das Unidades de Conservação Estaduais do Espírito Santo. VII congresso brasileiro de unidades de conservação**. III Simpósio internacional de conservação da natureza. Natal RN. Anais. Rede Nacional Pró-Unidades de Conservação: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza 2012.

TEIXEIRA, M. A.; CORREIA, B. A. N.: **Indicadores de sustentabilidade para gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica do Tiete-Jacaré, SP**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, Curitiba, Paraná, INPE, 2011.

TREVISAN, G. V.; ADAMI, M.: **Avaliação do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente com dados de sensores remotos**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 6337-6344.

TUNSTALL, D.: **Developing and using indicators of sustainable development in Africa**. In: The Network for environment and Sustainable Development in Africa

(NESDA), Thematic Workshop On Indicators of Sustainable Development. Banjul, Bambia, 1994.

TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E.: **Serviços ambientais no Brasil: do conceito a prática. Manejo e Conservação do Solo e da água no Contexto das Mudanças Ambientais**. 01 ed. Rio de Janeiro, 2010, v.01, p. 239-254.

Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E., & Steininger, M.: **Remote sensing for biodiversity science and conservation**. Trends in Ecology and Evolution, 18, 306–314, 2003.

UMBELINO, G.; SATHLER, D.; MACEDO, D.; FELIPPE, M.: **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a preservação dos recursos hídricos e estudos da vulnerabilidade socioambiental**. XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, abril 2009, INPE, p. 5541-5549.

UNITED NATIONS (2003): **The world water crisis. Water for all, water for life**. Un World Water Development Report. In: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwrd>. Acesso em julho de 2006.

UNITED NATIONS (2003): **Sighning progress: indicators mark the way. Water for all, water for life**. Un World Water Development Report. In: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwrd>. Acesso em julho de 2006.

UNITED NATIONS (2004): **Guidelines on strategic planning and management of water resources**. Economic and Social Comission for Asia and the Pacific. New York, 2004.

UNPD: **Human development report**. Oxford University Press. New York, 1990.

UNPD: **Human development report**. Oxford University Press. New York, 1993.

UNPD: **Human development report**. Oxford University Press. New York, 1997.

VAN BELLEN, H. M.: **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2. Ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

VARGAS, S. M. V. C.: **Índice de sustentabilidade ambiental 2005**. Nota Técnica. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF. 2005.

VASCONCELOS, A. C. F. de; ANDRADE E. de O.; MACEDO, N. M. N. M.; SILVA, R. M. da; CÂNDIDO, G. A.: **Análise da sustentabilidade entre municípios Paraibanos do Brejo Paraibano: Uma aplicação do índice de desenvolvimento sustentável – IDSM. Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de Aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas**. Campina Grande, PB: Ed. UFCG, 2010.

VASCONCELOS, A. O.; LANDAU, L.; MIRANDA, F. P.: **Análise multitemporal do uso e cobertura do solo da área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim para definição de áreas de sensibilidade ambiental e derrames de óleo**. XIII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Curitiba, Brasil, abril 2011, INPE, p. 5560.

VEIGA, J. E.: **Indicadores de sustentabilidade**. Estudos Avançados, 2010.

VERMA, A. K.; COOKE, R. A.; HIRSHI, M. C.; MITCHELL, J. K.: **GIS and GPS assisted variable rate application (VRA) or agrichemicals**. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Ontario, v.2, n.1, p. 17-22. 1998.

VIANA, M. O. L.; RODRIGUES, M. I. V.; LIMA, P. V. P. S.; ARAÚJO, R. C.; MOURA, H. J.: **IDS – Construção de um índice sintético de desenvolvimento sustentável para os municípios do estado Ceará, Brasil**. Universidade Federal do Ceará, 2009.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C.: **Proposta metodológica para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental de áreas serranas do semiárido brasileiro – estudo de caso: maciço de Baturité, Ceará**.

RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 14 n. 4 Out/Dez 2009, 125-136.

VIEIRA, V. P. P. B.: **A água e o desenvolvimento sustentável no nordeste**. IPEA – Instituto Econômico de Pesquisa Aplicada. Brasília, 2000.

VILLA, F.; MCLEOD, H.: **Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: guidelines and applications**. Environmental Management, vol. 29, n. 03, 2002.

WACKERNAGEL, M.; REES, W.: **Ecological footprint method. Gabriola Island**. New Society Publishers, 1996.

WCED: World Commission on Environment and Development: **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

NELISSEN, N., STRATEEN, J. V. D. & KLINTERS, L.: **An overview of Classic Texts in Environmental Studies**. Utrecht: International Books, 1997.

ZAMPROGNO, D. P.; PORTO R. L. L.: **O sig como ferramenta de apoio na análise multiespectral feita para localização de reservatórios**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 20 a 24 de novembro de 2005.