

## Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro- Ambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará

Paulo Márcio Souza Vieira e Ticiano Marinho Carvalho Studart

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – UFC  
pamasovi@hotmail.com e ticiano@ufc.br

Recebido: 12/12/08 - revisado: 04/03/09 - aceito: 30/09/09

---

### 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 hidro-ambiental corresponde a uma análise multidisciplinar tratando de vários aspectos de interrelacionamento 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 Hidro-ambiental para áreas serranas do Semiárido brasileiro.

**Palavras-chave:** Índice de sustentabilidade; áreas serranas.

---

### INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará tem recebido nos últimos anos um considerável volume de investimentos, decorrente da instalação de unidades fabris pertencentes a grandes grupos empresariais e assim se deparou com um imenso desafio: desenvolver economicamente e socialmente o Estado, sem impactar os frágeis ecossistemas do semiárido, e tendo como principal obstáculo a sua histórica escassez hídrica.

A partir de 1987, com a criação da Secretaria de Recursos Hídricos, o governo estadual passa a atuar de forma ativa no sentido de abordar o velho problema de uma nova forma e adotar políticas para tratar de sustentabilidade e do tema água. Com a aprovação, em 1992, da Política Estadual de Recursos Hídricos, fica estabelecido um arcabouço jurídico-institucional para dar suporte a uma política de gestão integrada e de uso racional dos recursos hídricos, de forma a garantir um desenvolvimento sustentável.

Mas como se quantificar os avanços na direção da nova gestão? Como bem afirma DRUCKER

(1994), "o que não se pode medir, não se pode gerenciar". E assim, 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 desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental corresponde a uma análise multidisciplinar tratando de vários aspectos de interrelacionamento 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 – no norte do Estado.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para o desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental que permita auxiliar na caracterização da APA de Baturité assim como melhor atender as necessidades das atividades de monitoramento e gerenciamento e de apoiar os Sistemas de Suporte a Decisão do Estado do Ceará.

Podem-se relacionar alguns objetivos específicos que dão subsídios ao desenvolvimento da pesquisa:

- Processar informações e metodologias existentes sobre o tema;
- Propor um modelo estrutural de desenvolvimento de índices considerando: os ajustes dos referentes graus de importância; as especificidades da região; e os níveis de escalas espaciais e temporais;
- Propor uma metodologia de Índice de Sustentabilidade Hidro-ambiental para Áreas Serranas do Semiárido Brasileiro.

## DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo é a APA (Área de Proteção Ambiental) da Serra de Baturité, criada pelo Governo do Estado do Ceará e instituída através do Decreto Estadual N° 20.956/1990. A APA abrange uma área de 32.690 hectares e localiza-se na porção nordeste do Estado. Está delimitada pela cota 600 (seiscentos) metros e é composta de oito municípios sendo que, para a pesquisa, foram considerados apenas os municípios de Aratuba, Baturité, Guaramiranga, Mulungu e Pacoti, por estarem mais inseridos na área da APA conforme mostra a Figura 01.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Bases Conceituais

Antes de fazer uma abordagem sobre índices e indicadores, é importante compreender melhor o significado do conceito de desenvolvimento sustentável de uma maneira mais geral uma vez que este tema tem sido amplamente discutido por pesquisadores e tomadores de decisão.

Este conceito foi inicialmente discutido pela 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), pode ser definido como "O desenvolvimento que alcança as necessidades do presente sem comprometer as habilidades de gerações futuras para atingir suas próprias necessidades".

Segundo a SOCIEDADE AMERICANA DE ENGENHEIROS CIVIS - ASCE (1998), o conceito de sustentabilidade 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.

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.



Figura 1 – Localização da APA. Fonte: Semace (1992)

Para Sachs (1997), 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.

Rodrigues (2004) também estabeleceu cinco temas importantes relacionados ao desenvolvimento sustentável: ambiental, social, espacial, cultural e econômico.

Outro conceito que deve ser levantado no intuito de facilitar o entendimento sobre a utilização de indicadores está relacionado aos processos de obtenção de dados e informações, os sistemas de monitoramento.

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).

Existem basicamente dois tipos de monitoramento. O primeiro enfoca as mudanças de "status" de um sistema onde uma organização tem sua responsabilidade. Indicadores utilizados neste tipo de monitoramento são conhecidos como "indicadores de status". O segundo, por sua vez, mede o desempenho de uma política de intervenção, ou um programa, ou um processo onde uma organização específica possui a responsabilidade de converter as informações de entrada em produtos de forma sistemática. Este tipo de indicadores são denominados de "indicadores de desempenho" (UNITED NATIONS, 2004).

Os sistemas de monitoramento são, portanto, baseados em uma série de indicadores. As abordagens recentes 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 sócio-econômica.

### **Indicadores e Índices**

O termo indicador tem origem no latim, da palavra *indicare*, que significa apontar, estimar, descobrir. Para a OECD (1993) "um indicador pode ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros que apontam e fornecem informações sobre o estado ou um fenômeno, com uma extensão significativa".

De acordo com Bellen (2005), os indicadores podem ser definidos como informações de cunho quantitativo que estabelecem relações

entre duas ou mais variáveis. 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.

Hák et al (2009) afirmou que o grande desafio no uso de indicadores é a habilidade para escolher adequadamente o indicador para a tomada de decisão no tempo correto.

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.

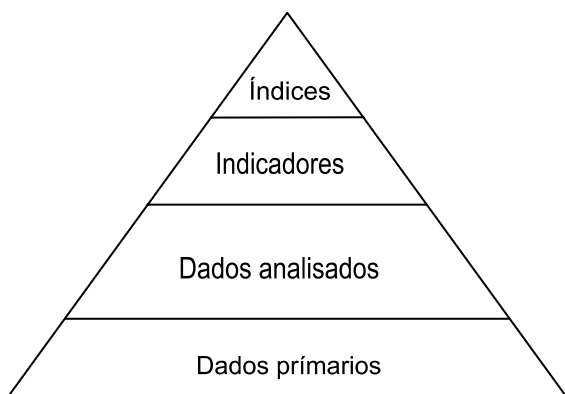
Os indicadores podem ser descritivos ou normativos, podendo indicar informações qualitativas e quantitativas e com aplicações em dimensões temporais e espaciais. Segundo Tunstall (1994) as principais funções dos indicadores são:

- **Descrição:** descreve o estado de um recurso sempre se referindo a um contexto;
- **Tendências:** Fornece medidas regulares que possibilitem prover informações para o sistema em funcionamento ou respostas ao gerenciamento;
- **Comunicação:** comunicação de 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 à indicadores em séries temporais podem ser estimados para prognósticos futuros.

Os índices são compostos por indicadores e consistem de dados, variáveis ou valores que representam um conjunto de informações de um sistema (Gallopín, 1996). Segundo Luna (2006), o índice pode ser considerado uma informação estatística e para a sua construção é importante a escolha dos componentes, da fórmula e do período base e a fonte de dados.

O objetivo principal do índice é de proporcionar informações compactas e objetivas para o gerenciamento e para as políticas de desenvolvimento de tal forma que os decisores e o público possam entendê-los e relacioná-los.

A pirâmide de informações (Figura 02) 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 complexa, como uma resposta a um modelo de simulação (Hammond et al., 1995).



**Figura 2 – Pirâmide de informações.**  
**Fonte: Hammond (2005)**

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.

## Modelos Conceituais de Indicadores

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 Magalães (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”.

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

O desenvolvimento de indicadores se baseia no profundo entendimento do sistema ou processo em análise e preferencialmente em alguns modelos conceituais. Os principais modelos conceituais de desenvolvimento 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

Segundo OECD (1994) um dos mais conhecidos e estudados modelos conceituais sobre indicadores é a estrutura Pressão-Estado-Resposta (PSR). O sistema PSR (Figura 03) em anexo, segundo Bell e More (2006) assume a existência de causa efeito entre os elementos que compõem o sistema. Estes modelos 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.



Figura 3- Fluxograma do modelo Pressão - Estado - Resposta. BELL & MORE (2006)

A escolha ou a utilização de indicadores 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.

#### 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 ambiental e dos recursos hídricos.

- **Indicadores de Gestão dos Recursos Hídricos**

A utilização de indicadores na gestão integrada e participativa dos recursos hídricos tem evoluído a medida que os instrumentos de gestão, previstos nas legislações federal e estaduais são implementados.

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 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.

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.

- **Índice de Pobreza 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 em Recursos Hídricos, 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.

- **Indicadores Ambientais**

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 pelo órgãos ambientais e de saneamento básico são: fiscalização ambiental; coleta e disposição de lixo; tratamento de esgotos; poluição difusa de origem agrícola ou urbana; cobertura vegetal; recuperação ou manutenção de áreas ou cursos d’água degradados; outros.

Rogers et al (2006) afirma 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.

**Tabela 1 – Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Sócio-Econômicos selecionados**

MEIO	PARÂMETROS
1. Recursos Hídricos	Disponibilidade de Águas Superficiais
	Disponibilidade de Águas Subterâneas
	Vazão Regularizada
	Precipitação
	Deflúvio Médio Anual
	Demanda Hídrica para Consumo Humano
	Demanda Hídrica para Consumo Humano Rural
	Demanda Hídrica para Consumo Animal
	Demanda Total
	Balço Hídrico p/ Município
2. Físico	Temperatura
	Evaporação
	Umidade
	Relevo
	Declividade
	Uso e Ocupação do Solo
	Tipo de Solos
3. Biótico	Cobertura Vegetal
	Áreas de Preservação Permanente
	Vegetação Antrópica
4. Antrópico	População Urbana
	População Rural
	Infra-estrutura de Educação
	Infra-estrutura de Saúde
	Infra-estrutura de Saneamento Básico

▪ **Índice de Sustentabilidade Ambiental – ISA**

Em virtude da sustentabilidade permitir uma leitura multidisciplinar e integrada, os Índices de Sustentabilidade Ambiental devem relacionar não só o meio ambiente e a economia, mas também os aspectos sociais de uma população (Quiroga, 2001).

De acordo com Vargas (2005), o ISA 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.

▪ **Índice de Desenvolvimento Humano – IDH**

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. O índice vem sendo usado desde 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento em seu relatório anual. Os critérios de avaliação utilizados são educação, longevidade e renda.

**METODOLOGIA**

A metodologia adotada no presente trabalho envolve as seguintes etapas: seleção dos parâmetros físicos, hídricos, bióticos sócio-econômicos, índices e indicadores; definição do modelo a ser adotado; e por fim, a geração de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental.

**Seleção de Parâmetros Hídricos, Físicos, Bióticos e Sócio-Econômicos**

A identificação e seleção dos parâmetros físicos e sócio-econômicos existentes na área em estudo são fundamentais para o desenvolvimento dos indicadores e do índice proposto. Os parâmetros físicos e sócio-econômicos podem ser agrupados em dois blocos distintos: os fatores perenes e os fatores variáveis no tempo.

Os fatores perenes não variam no tempo (relevo, altitude, declividade), portanto, sua configuração de classes não depende de sua distribuição temporal, apenas da espacial. O mesmo não ocorre com os fatores variáveis no tempo (precipitação, evapotranspiração, vegetação), que necessitam de um intervalo de tempo para a sua análise. A escolha dos parâmetros físicos e hidrológicos está condicionada tanto pela sua representatividade e influência na caracterização regional quanto pela disponibilidade das informações. A Tabela 01 mostra a seleção de todos os parâmetros levantados da área em estudo.

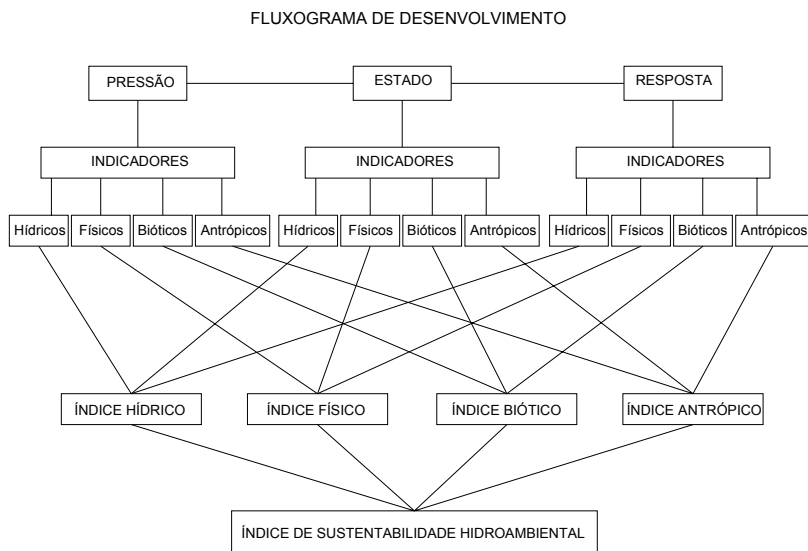


Figura 04 – Fluxograma de desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidro-Ambiental

### Seleção de Índices e Indicadores

A escolha final dos índices e indicadores se deu em virtude do contexto hídrico, ambiental, social e econômico da área em estudo, uma vez que a região vem se desenvolvendo ao longo do tempo de forma descontrolada, principalmente em virtude do turismo de veraneio, aumentando as taxas de urbanização e ocupação e transformando as atividades econômicas locais. Foram escolhidos os índices e indicadores existentes mais importantes no intuito de traduzir a realidade existente na área. O levantamento dos índices e indicadores está mostrado na Tabela 2.

### Geração do Modelo PSR

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

Para melhor ilustrar o modelo construído para o desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Hidro-ambiental foi elaborado um fluxograma estrutural (Figura 04 em anexo) partindo do modelo PSR adotado.

A partir das dimensões de Pressão, Estado e Resposta foi identificado os componentes Hídricos,

Físicos, Bióticos e Antrópicos e seus respectivos indicadores.

O componente *hídrico* traduz a disponibilidade e as demandas das águas superficiais e subterrâneas além de fornecer informações referentes aos níveis de escoamento; o componente *físico* diz respeito aos aspectos ambientais principalmente relacionaos a água, ao relêvo e á processos ligados ao uso do solo como o desmatamento e a erosão; o componente biótico trata da cobertura vegetal, especificamente das áreas que sofreram interferência antrópica e das áreas de preservação permanente; e o componente antrópico está relacionado ao aspecto sócioeconômico, onde as necessidades básicas da população como energia, saneamento básico, educação e saúde são analisadas.

### Geração do Índice de Sustentabilidade Hidro-ambiental

O resultado do presente trabalho diz respeito a uma proposta metodológica de desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidro-ambiental. Esta metodologia partiu de uma análise criteriosa e, em seguida, da identificação de vários parâmetros e indicadores existentes.

Alguns critérios foram aplicados para se fazer uma escolha adequada, tais como: saber se o indicador permite a mensuração do que efetivamen-

te se quer medir; estimar a facilidade do seu uso; ou estimar uma boa relação custo-benefício decorrente da sua adoção. A Tabela 03 mostra os índices e indicadores a serem utilizados e sua distribuição dentro de cada componente e dimensão.

**Tabela 02 – Relação de índices e indicadores selecionados**

MEIO	ÍNDICES E INDICADORES
1. Recursos Hídricos	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. Físico	Índice de Distribuição de Chuvas
	Declividade
	Índice de Uso e Ocupação do Solo
	Taxa de Erosão
3. Biótico	Índice de Cobertura Vegetal
	Índice de Áreas Nativas
	Índice de Áreas Cultivadas
	Índice de Áreas de Preservação
4. Antrópico	Densidade Populacional Total
	Densidade Populacional Urbana
	Densidade Populacional Rural
	Índice de Urbanização
	PIB per Capita
	Taxa de Abastecimento de Água
	Taxa de Esgotamento Sanitário
	Taxa de Lixo Coletado
	Índice de Desenvolvimento Humano
	Índice Municipal de Alerta
	Porcentagem de Bolsas Família
	Taxa de Crescimento Anual da População
	Taxa de Energia Elétrica
	Taxa de Alfabetização
Taxa de Mortalidade Infantil	

**Tabela 03 – Distribuição dos índices e indicadores dentro das dimensões do modelo Pressão - Estado – Resposta**

Dimensão	Componentes	Indicadores
Pressão	Hídrico	Índice de Aridez
		Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo
		Demanda Hídrica
		Déficit Hídrico
	Físico	Taxa de Erosão
	Biótico	Índice de Áreas Cultivadas
		Antrópico
Índice de Urbanização		
Taxa de Crescimento Anual da População		
		Taxa de Mortalidade Infantil
Estado	Hídrico	Coeficiente de Escoamento Superficial
		Vazão Específica
	Físico	Índice de Distribuição de Chuvas
		Declividade
	Biótico	Índice de Cobertura Vegetal
		Índice de Áreas Nativas
	Antrópico	Longevidade
		PIB Per Capita
		Taxa de Alfabetização
		Porcentagem de Bolsas Família
Resposta	Hídrico	Disponibilidade de Água Per Capita
		Índice de Utilização de Disponibilidade
	Físico	Taxa de Uso e Ocupação do Solo
	Biótico	Índice de Áreas de Preservação Permanente
		Antrópico
	Taxa de Lixo Coletado	
	Taxa de Esgotamento Sanitário	
	Taxa de Energia Elétrica	



A partir da estruturação e da definição dos indicadores e sua distribuição nos respectivos componentes decidiu-se integrar os indicadores de forma a compor índices que permitissem medir de forma resumida e objetiva a condição e as características dos municípios selecionados. Foram então, baseado nos componentes utilizados, criados os seguintes índices: Índice Hídrico, Índice Físico, Índice Biótico e Índice Antrópico. Cada índice será estimado através do produto da combinação dos indicadores selecionados. A Tabela 04 mostra a composição dos índices através dos indicadores.

Tabela 04 – Composição dos Índices

ÍNDICES	INDICADORES
Índice Hídrico (IH)	Índice de Aridez
	Déficit de Evapotranspiração Potencial Relativo
	Déficit Hídrico
	Coefficiente de Escoamento Superficial
	Vazão Específica
	Demanda Hídrica
	Disponibilidade de Água Per Capita
	Índice de Utilização de Disponibilidade
Índice Físico (IF)	Taxa de Erosão
	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 Popouacional Total
	Índice de Urbanização
	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	

As questões relativas às escalas devem ser cuidadosamente observadas. No intuito de ajustar (normalizar) os dados de cada indicador para evitar que o mesmo tenha o valor maior que 1 será empregado o seguinte cálculo (Equação 01):

$$X_i \text{ normal} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (01)$$

Onde:

$X_i$  – é o valor medido;  
 $X_{\min}$  – é o valor mínimo da variável  $X$ ;  
 $X_{\max}$  – é o valor máximo da variável  $X$ ;

Serão usados pesos iguais para cada índice, não importando se possuem 4, 8 ou 12 indicadores, uma vez que todos eles são considerados igualmente importantes. Para compor os índices todos os indicadores terão seus valores somados e então será calculada a média ponderada. A função matemática utilizada para o cálculo dos índices pode ser descrita da seguinte forma (Equação 02):

$$I_n = \frac{\sum_{i=1}^N w_i X_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (02)$$

Onde:

- $I$  é o Índice
- $n$  é o tipo de índice (Hídrico, Físico, Biótico e Antrópico)
- $X_i$  é o indicador  $i$  para cada município;
- $w_i$  é o peso de cada indicador.

O resultado mostrará a posição relativa e a posição absoluta de cada município dos seguintes índices: IH, IF, IB, IA. Uma vez calculado todos os índices será utilizado o mesmo procedimento para a estimativa do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISHA) de cada município utilizando os índices acima citados. O cálculo será realizado da seguinte maneira (Equação 03):

$$ISHA = \frac{\sum_{i=1}^N w_i I_n}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (03)$$

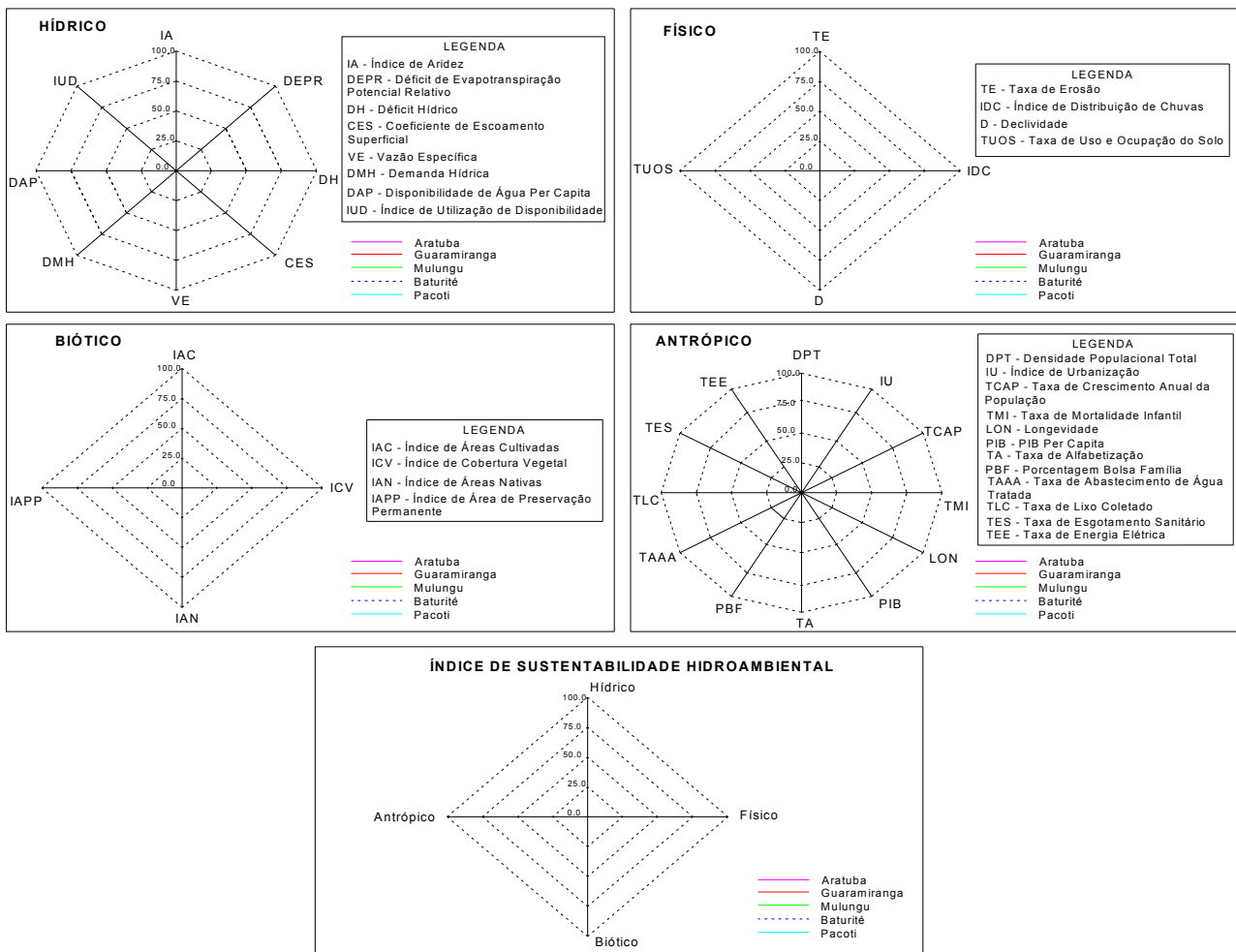


Figura 05 – Representação dos índices no diagrama da Ameba

A integração dos indicadores e índices pode ser representada de forma numérica, como no modelo acima, como também por meio de diagramas. O diagrama denominado de 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. A Figura 05 ilustra como os índices serão representados através do diagrama da "AMEBA". A Figura 05 não representa uma aplicação de resultados, apenas um modelo de como serão distribuídos os índices no diagrama da ameba.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma proposta viável para uma metodologia de um Índice de Sustentabilidade Hidro-ambiental a ser gerado a partir da aplicação do modelo Pressão-Estado-Resposta utilizando diversos indicadores levantados para os municípios referentes a APA de Baturité, no estado do Ceará. O modelo estrutural adotado leva em consideração o desenvolvimento de uma base de dados com as informações referentes aos indicadores e seus diferentes graus de importância, as especificidades da região assim como os níveis de escalas espaciais e temporais.

Com o desenvolvimento desta metodologia proposta será possível confeccionar uma ferramenta capaz de fornecer informações sistematizadas e gerar mapeamentos para diversas unidades espaciais de consultas de modo a permitir um diagnóstico hidro-ambiental da região. Estes mapeamentos poderão sofrer processos de superposição, baseado na combinação de classes a serem estabelecidas e na cartografia básica e temática produzida.

A organização de indicadores em sistemas de informações, amparado não só por informações de fontes diversas mas também por uma base de dados de dimensão espacial, constitui um instrumento versátil capaz de otimizar o uso das informações e estabelecer um procedimento sistemático na gestão ambiental e no processo de tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- 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 : FGV, 2005.
- CAMPOS, J. N.: **Vulnerabilidades hidrológicas do semiárido às secas**. Projeto Áridas RH. Brasília, 1995.
- DERISIO, J. C.: **Introdução ao controle de poluição ambiental**, São Paulo : CETESB, 1992.
- DRUCKER, P. F.: **The age of social transformation**. The Atlantic Monthly Company, v. 274, n. 5, p. 53-80, nov. 1994.
- FENZL, N.: **O conceito de desenvolvimento sustentável em sistemas abertos**. Publicado em Poematropic. 1998.
- 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.
- 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 Matravets (eds.), Sustainability Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development, Wiley, Chichester, England, 1997.
- GLEICK, P.: **Vulnerability of water systems in climate changes and US water resources**. New York, 1989.
- 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.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS: **Geo-Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**: Ed, IBAMA, PNUMA. 2002.
- 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.cgjar.org/iwmi/home/wsmmap.htm>, julho de 2006.
- IPLANCE: **Atlas do Ceará, Fortaleza** : SEPLAN, escala 1:1.500.000, 56p., 1989.
- LUNA, R. M.: **Adaptação do Índice de Pobreza da Água ao Semiárido Nordestino. Estudo de Caso: Bacia do Curu**, Março, 2006.
- MAGALHÃES, 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.
- 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.
- 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): **Environmental Indicators – Development, Measurement and Use.** In: <http://www.oecd.org/env>, 2003.
- PAIXÃO, M. P.; STUART, 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-CE, 2002.
- PINHEIRO, M. I. T.; VIEIRA, V. P. P. B.; STUART, T. M. C.; BEZERRA, V. M. J. B.; LUNA, R. M.: **Indicadores Ambientais: Uma Análise Compartiva.** ABRH, VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2006.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SEMACE: **Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité: diagnóstico e diretrizes.** Fortaleza-CE. 109p., 1992.
- UNITED NATIONS: **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: **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: **Guidelines on strategic planning and management of water resources.** Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. New York, 2004.
- VARGAS, S. M. V. C.: **Índice de sustentabilidade ambiental 2005.** Nota Técnica. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2005.
- VIEIRA, V. P. P. B.: **A água e o desenvolvimento sustentável no nordeste.** IPEA – Instituto Econômico de Pesquisa Aplicada. Brasília, 2000.
- WCED: World Commission on Environment and Development. **Our Common Future.** Oxford: Oxford University Press, 1987. In: NELISSEN, N., STRATEEN, J. V. D. & KLINTERS, L., **An overview of Classic Texts in Environmental Studies.** Utrecht: International Books, 1987.

***Methodological Proposal for the Development of a Hydrological and Environmental Index For Highlands in the Brazilian Semi-Arid Case Study: Maciço of Baturité, Ceará***

**ABSTRACT**

*In order to support an integrated management policy and the rational use of water resources for sustainable development, it is essential to seek effective instruments to measure the performance of hydrological and environmental systems. Indicators and indexes are used to express a specific situation numerically, and show the sustainability status of that region to the decision-maker. The development of a hydro-environmental sustainability index complies with 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, population access to water and environment impact. In order to develop such an index in the State of Ceará a representative area of the semiarid highland environment was chosen: Baturité APA (Environmental Protection Area). A model structure based on the Pressure-State-Response approach was considered, resulting in the proposal of a Hydro-Environmental Sustainability Index for the highlands in the Semiarid Brazilian Region.*

*Keywords: Sustainability Index; highlands*