

## Aspectos Metodológicos do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água

Cláudio César de Almeida Buschinelli  
Aderaldo de Souza Silva  
Luiz Carlos Hermes

### 2.1. Base Conceitual

Neste trabalho foi utilizado o conceito de desenvolvimento sustentável consagrado, em 1987, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente - CMMA (IBGE, 2002a). Para indicadores, índices, normas e padrões, avaliação e monitoramento da qualidade das águas, foram seguidas as definições citadas pelo grupo de trabalho do Convênio de Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, formado pela Agência Brasileira de Cooperação (ABC) e a BMZ (*Bundesministerium fur Wirtschaftliche Zusammenarbeit*), junto ao Instituto Ambiental do Paraná (Paraná, 1994).

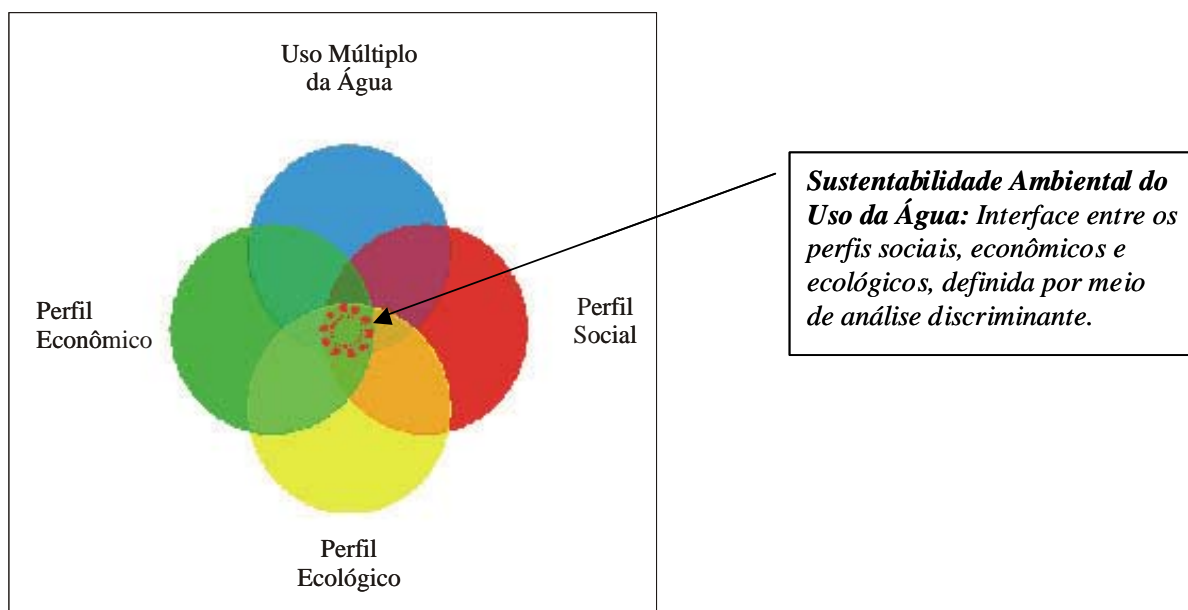
Dentro do marco conceitual da sustentabilidade ambiental, pode-se identificar, pelo menos, três componentes fundamentais e indissociáveis: a dimensão ecológica, a dimensão econômica e a dimensão social. Tais dimensões ou perfis definem e caracterizam os modos de uso e ocupação do território, no espaço e no tempo, pelas comunidades envolvidas. Na prática, deve-se buscar a integração de objetivos, muitas vezes conflitantes, entre esses componentes; já que os anseios de desenvolvimento dos setores da sociedade são variados e não lineares; porém, interdependentes.

Para tanto, o estudo procurou englobar estes perfis, de forma integrada, na avaliação das fontes de água, evitando a avaliação isolada de cada um deles. Cada perfil foi caracterizado por grandes temas, construídos com as informações provenientes de dados obtidos de levantamentos, realizados pela Embrapa Meio Ambiente durante quatro anos (1998 a 2002), do tratamento digital das imagens de satélite e da base cartográfica, além dos dados censitários disponibilizados pela Fundação IBGE (IBGE, 2002a, b).

O contexto do estudo é a bacia hidrográfica do Submédio São Francisco, pela compreensão de que este espaço representa um dos principais focos das avaliações ambientais no país. Muito embora seja bastante difícil a obtenção de dados censitários neste âmbito, já que as fronteiras políticas nem sempre seguem os divisores naturais das áreas de drenagem superficial, deve-se considerar estes diferentes contornos na integração dos dados e informações a serem avaliados. A Bacia Hidrográfica do Submédio São Francisco contém 35 sub-bacias e 73 municípios, cujas áreas estão total ou parcialmente na bacia.

O índice de sustentabilidade ambiental do uso da água (ISA\_ÁGUA), construído neste trabalho, representa a descrição real quantitativa e qualitativa de alguns dos componentes selecionados em cada tema formador dos perfis, aqui definidos como indicadores. Estes permitem que as unidades geográficas de análise (sub-bacias e municípios) manifestem-se espacialmente, de forma hierarquizada, como mapas temáticos sintéticos, após integração e análise estatística destes indicadores.

A integração dos perfis ecológico, econômico e social, envolvidos com o uso múltiplo da água em uma região, visando a construção do ISA\_ÁGUA, está representada de forma esquemática na Fig. 2.1.



**Fig. 2.1.** Modelo esquemático de integração dos perfis ecológico, social e econômico, utilizados na construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água.

Como os termos usados neste estudo podem ter diferentes interpretações, define-se, a seguir, o sentido em que eles foram utilizados pelo grupo de trabalho:

- **Desenvolvimento sustentável:** "...é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações futuras...";
- **Indicador:** é uma observação ou medição, em termos quantitativos, que permite que um componente ou uma ação de um sistema ambiental seja descrito dentro dos limites dos conhecimentos atuais;
- **Norma:** corresponde aos valores de um indicador que expressam limites dentro dos quais deve situar-se a ocorrência do componente escolhido, de forma a não ser prejudicial para o homem ou o ambiente;

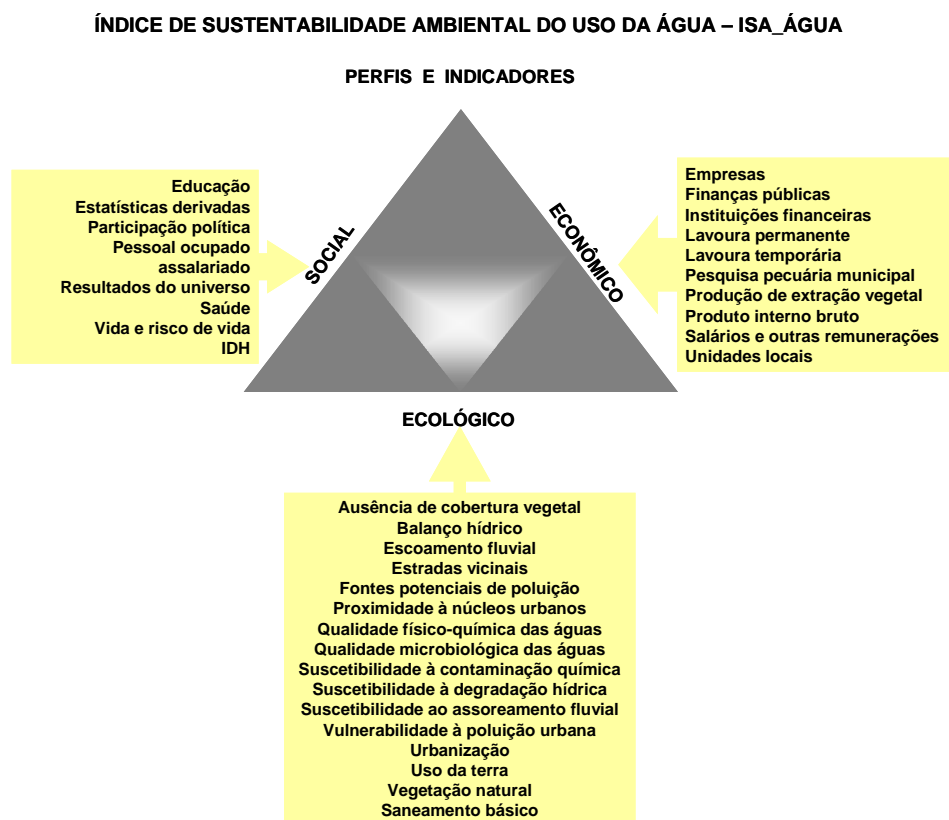
- **Índice:** em geral, um índice relaciona o valor observado (indicador) de um componente escolhido, com os padrões estabelecidos para aquele componente, e expressa até que ponto esse componente é desejável ou indesejável em relação ao homem e ao meio ambiente;
- **Análise fatorial (Varimax rotacionado):** é uma técnica de análise multivariada. A análise fatorial é um instrumento mais complexo e preciso que a de componentes principais (ACP), porque possibilita não só a rotação dos eixos (fatores) que sintetizam as informações contidas na matriz de dados como o estabelecimento de eixos não-ortogonais que representam o mútuo relacionamento entre fatores que são interdependentes, mas de acordo com as associações observadas na realidade (pesquisas de campo);
- **Análise discriminante:** esta técnica de análise multivariada permite testar a significância de uma classificação prévia e determinar quais são as variáveis que têm o poder de distinguir o grupo onde devam entrar as unidades geográficas (sub-bacias e municípios) que estão sendo pesquisadas. Este método foi utilizado na análise regional como um esquema analítico de hierarquização, visando classificar as sub-bacias hidrográficas em graus elevado, bom, regular e baixo, como forma de distinguir as diferenças potenciais ecológicas, sociais e econômicas, para atingir a sustentabilidade do uso da água;
- **Avaliação da qualidade da água:** é todo o processo de avaliação de natureza física, química ou biológica em relação à qualidade natural das águas. Quantifica as interferências antropogênicas e usos pretendidos, principalmente aqueles que possam afetar a saúde humana e a saúde do próprio sistema aquático;
- **Monitoramento da qualidade da água:** é a coleta de informações para um determinado local, em intervalos regulares, com o intuito de obter dados que possam ser utilizados para definir as condições presentes e estabelecer tendências dos recursos hídricos visando o uso sustentável.

## 2.2. Considerações metodológicas

A proposta metodológica do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água, aqui descrita, trata de uma nova visão sobre gestão dos recursos hídricos, com foco em dois tópicos principais. O primeiro sugere a incorporação do conceito de gestão ambiental, amparado pela norma ISO 14.001, no processo de gestão dos recursos hídricos. O segundo desloca o foco, hoje preponderante, da utilização quantitativa e qualitativa da água de usos múltiplos, para uma dimensão de sustentabilidade ambiental do recurso por bacia, sub-bacia ou microbacia hidrográfica, criando-se instrumentos de mensuração, tais como indicadores de sustentabilidade ambiental dos municípios situados na região avaliada.

Os indicadores de sustentabilidade são considerados ferramentas precisas e de amplo uso em diferentes âmbitos e estratégias, como por exemplo, na hierarquização da performance de desenvolvimento de países (OECD, 1999; 2000), no manejo e planejamento ambiental de bacias hidrográficas (Armitage, 1995), ou na avaliação da sustentabilidade do manejo das terras na escala de propriedades (Smyth & Dumanski, 1995). A utilização destes indicadores foi consagrada de forma individualizada no "International Expert Meeting on Information for Decision: Making and Participation", de 2000, realizado no Canadá (ONU, 2002).

A Fig. 2.2 apresenta uma modificação do clássico triângulo da sustentabilidade proposto por Nijkamp (1990), onde o uso sustentável da água é o centro claro do triângulo menor, o qual visa de forma ideal a harmonia entre os fatores ecológicos, econômicos e sociais que competem pelos recursos naturais de uma região. São também apresentados os indicadores de sustentabilidade utilizados neste trabalho, os quais são descritos resumidamente a seguir.



**Fig. 2.2.** Relação dos perfis e indicadores utilizados nas análises multivariadas para a construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água na região do Submédio São Francisco.

### 2.2.1. Perfil Ecológico

O perfil ecológico dos indicadores de desenvolvimento sustentável analisa a degradação ambiental provocada pelo homem no uso dos recursos naturais, uma vez que solo, água e vegetação são recursos não renováveis e finitos e estão distribuídos de forma desigual no território do Submédio São Francisco. O perfil também enfoca os objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, considerados fundamentais para benefício das gerações futuras (IBGE, 2002a).

A proteção do meio ambiente como meta do manejo ambiental é de difícil conceituação operacional, devido à complexidade dos ecossistemas. Também é difícil encontrar indicadores ecológicos que mensurem a saúde do ambiente, pois diferentes indicadores enfocam diferentes aspectos da saúde do ecossistema, sendo necessário aplicar vários indicadores simultaneamente para se obter uma imagem de sua integridade (Neher, 1992).

O perfil ecológico foi construído por meio da análise integrada de 16 indicadores, representados por:

- ausência de cobertura vegetal;
- balanço hídrico;
- escoamento fluvial;
- estradas vicinais;
- fontes potenciais de poluição;
- qualidade físico-química das águas;
- qualidade microbiológica das águas;
- suscetibilidade à contaminação química;
- proximidade a núcleos urbanos;
- suscetibilidade à degradação hídrica;
- suscetibilidade ao assoreamento fluvial;
- vulnerabilidade à poluição urbana;
- urbanização;
- uso da terra;
- vegetação natural; e
- saneamento básico.

Os pontos de coleta pesquisados “in loco”, visando à construção do perfil ecológico foram georreferenciados, como é possível observar na Figura 2.3, que ilustra o momento da medida da qualidade da água utilizando a sonda multiparâmetro em um açude, no município de Ibimirim, em Pernambuco.



**Fig. 2.3.** Inventário da qualidade de água utilizada para consumo humano e irrigação em Ibimirim, PE.

Os dados primários são oriundos de levantamentos de campo, como, por exemplo, as análises físico-químicas e microbiológicas da qualidade da água, a aplicação dos inventários nos municípios da região do Submédio São Francisco, tratamento digital das imagens de satélite e da base cartográfica da região em estudo.

Já os dados secundários foram provenientes de levantamentos censitários do IBGE (2002b) e outras instituições, como a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF, 2001), Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2002), Federação das Indústrias dos Estados da Bahia (FIEB, 2002), Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco (FIEPE, 2000), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Companhia...2002). A terminologia usada para definição de cada indicador do perfil ecológico é a mesma utilizada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002a). Procedimento similar foi utilizado para a construção dos perfis econômico e social.

Os indicadores do perfil ecológico emergem do tratamento estatístico das variáveis utilizadas neste perfil, gerando, ao final, um índice específico para cada unidade geográfica avaliada, chamado de IP\_ECOL – Índice do Perfil Ecológico. Este índice caracteriza e classifica o desempenho de cada unidade geográfica, podendo ser expresso na forma de um mapa temático.

### **2.2.2. Perfil econômico**

O perfil econômico expressa as diferenças referentes às estruturas econômicas regionais (ou de cada região), entre os municípios e as sub-bacias hidrográficas. Por outro lado, segundo o IBGE (2002a), este é um perfil que incorpora em sua análise objetivos de eficiência dos processos produtivos e alterações nas estruturas de consumo, orientadas à produção econômica sustentável em longo prazo.

Os diferentes aspectos do perfil econômico da sustentabilidade ambiental foram sintetizados em dez indicadores:

- empresas;
- finanças públicas;
- instituições financeiras;
- lavoura permanente;
- lavoura temporária;
- pesquisa pecuária municipal;
- produção de extração vegetal;
- produto interno bruto;
- salários e outras remunerações, e
- unidades locais.

Estes indicadores retrataram os perfis macroeconômico e financeiro, indicando o consumo e a demanda relativa aos recursos materiais e uso dos recursos naturais, sobretudo por meio das atividades econômicas desenvolvidas na área.

De maneira similar à descrita para o perfil ecológico, os indicadores do perfil econômico geraram o IP\_ECON – Índice do Perfil Econômico, que expressa de maneira hierárquica o desempenho das unidades geográficas estudadas na forma de um mapa temático específico.

### **2.2.3. Perfil social**

O perfil social da região apresenta características demográficas da comunidade são-franciscana, retratando seus anseios, o atendimento aos serviços básicos, o comprometimento da qualidade de vida e justiça social, abrangendo os temas população, equidade, saúde, educação, habitação e segurança (IBGE, 2002b). Foram incluídos oito indicadores:

- educação;
- estatísticas derivadas;
- participação política;
- pessoal ocupado assalariado;
- resultados do universo;
- saúde;
- vida e risco de vida; e
- IDH – Índice de Desenvolvimento Humano.

Estes indicadores foram utilizados buscando-se apresentar um resumo da situação social, da distribuição de renda e das condições de vida da população residente nas sub-bacias hidrográficas e nos seus municípios correspondentes.

Com estes indicadores, foi possível gerar o IP\_SOCI – Índice do Perfil Social para as unidades geográficas avaliadas, expresso na forma de mapa temático específico deste perfil.

## **2.3. Tratamento Geral da Informação**

São descritos, a seguir, os principais procedimentos aplicados na integração das informações utilizadas no trabalho para a geração do Índice de Sustentabilidade do Uso da Água – ISA\_AGUA.

### **2.3.1. Fatores que interferem na qualidade da água e unidades geográficas do estudo**

Os indicadores de sustentabilidade do uso da água descritos refletiram as situações e especificidades sócioeconômicas e ecológicas de cada unidade geográfica (sub-bacias ou municípios) da região do Submédio São Francisco. Na caracterização das sub-bacias, foram identificadas relações diretas entre estes indicadores e os fatores antrópicos presentes na região, além de considerar as características e potencialidades da base de recursos naturais presentes, conforme apresentados esquematicamente na Fig. 2.4.

Apesar deste estudo ter como objetivo principal a avaliação da sub-bacia hidrográfica, foi necessário proceder a alguns ajustes nas informações para o âmbito dos municípios que compõem a região, já que os mecanismos de gestão e administração públicas estão dirigidos para o território municipal. Além disso, a maioria dos dados censitários estão disponíveis para este contexto.

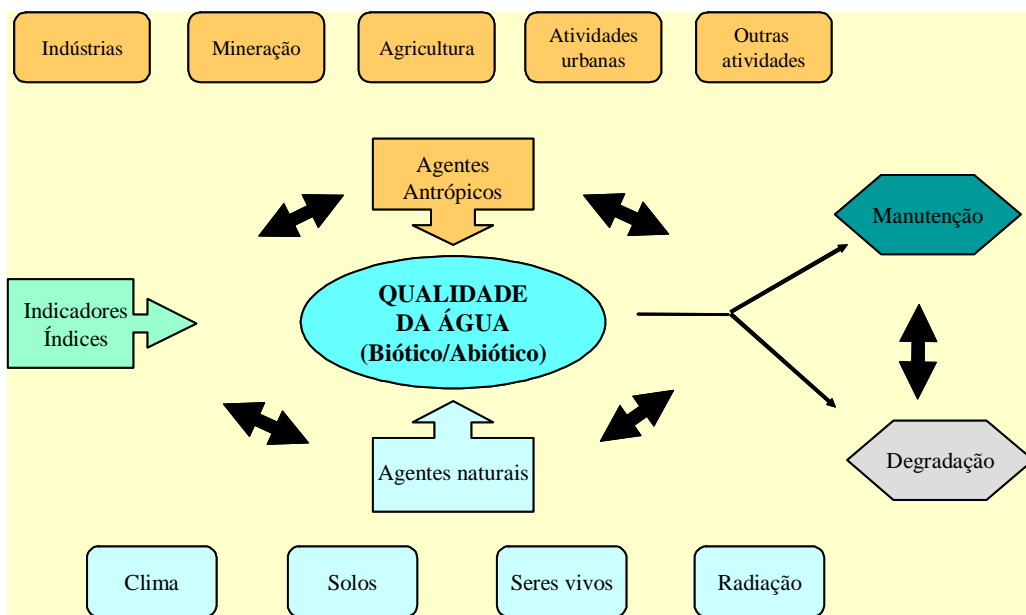


Fig. 2.4. Fatores e indicadores que interferem na qualidade das águas.

A divisão das sub-bacias componentes do Submédio São Francisco foi realizada tendo como base de referência as 63 cartas topográficas do IBGE (escala 1:100.000) que recobrem a região, seguindo o sistema “ottobacias” (Pfafstetter, 1989). Deste processo, resultou uma base digital georreferenciada com 35 sub-bacias.

Na Tabela 2.1, estão relacionadas as sub-bacias com seus respectivos identificadores, nomes e superfícies. A disposição espacial das mesmas pode ser consultada na Fig. 2., na Introdução desta publicação.

Tabela 2.1. Relação das sub-bacias e respectivas superfícies da região do Submédio São Francisco.

Número	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Número	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )
1	Riacho da Brígida	13.639	19	Riacho do Pontal	6.047
2	Riacho Paredão	984	20	Riacho Campo Largo	3.427
3	Riacho Terra Nova	3.917	21	Riacho do Mocó	850
4	Riacho S. Cristóvão	2.127	22	Riacho Grande	2.552
5	Médio Alto Pajeú	4.653	23	Riacho Tanque Real	6.173
6	Alto Pajeú	1.796	24	Riacho da Jibóia	908
7	Riacho Pau do Fumo	1.057	25	Alto Sobradinho	870
8	Rio Moxotó	9.785	26	Pilão Arcado	900
9	Riacho do Navio	3.303	27	Riacho Basaú	1.604
10	Riacho S. Domingos	651	28	Médio Baixo Sobradinho	2.441
11	Riacho da Posse	606	29	Baixo Sobradinho	2.551
12	Médio Baixo Pajeú	1.387	30	Baixo Salitre	1.711
13	Baixo Pajeú	1.258	31	Rio Pacuí	1.040
14	Riacho Ipueira	1.624	32	Riacho do Morim	1.380
15	Riacho Barreira	6.268	33	Alto Salitre	2.787
16	Alto Itaparica	6.637	34	Vereda da Canavieira	2.624
17	Riacho da Vargem	4.049	35	Riacho Poção	11.105
18	Riacho das Graças	12.170		<b>Total</b>	<b>124.881</b>



Para a identificação dos municípios avaliados no trabalho, o critério de seleção foi a localização da sede municipal dentro do território do Submédio São Francisco. Assim sendo, de um total de 88 municípios inicialmente identificados (Tabela 2.2) foram considerados somente 73.

**Tabela 2.2.** Relação dos municípios situados na sub-bacia do Submédio São Francisco.

Nº	Município	Microrregião	Estado	Nº	Município	Microrregião	Estado
1	Água Branca	Serrana do Sertão Alagoano	AL	45	Dormentes	Petrolina	PE
2	Delmiro Gouveia	Alagoana do Sertão do São Francisco	AL	46	Exu	Araripina	PE
3	Inhapí	Serrana do Sertão Alagoano	AL	47	Flores	Pajeú	PE
4	Mata Grande	Serrana do Sertão Alagoano	AL	48	Floresta	Itaparica	PE
5	Pariconha	Serrana do Sertão Alagoano	AL	49	Granito	Araripina	PE
6	Abaré	Paulo Afonso	BA	50	Ibimirim	Sertão do Moxotó	PE
7	Campo Formoso	Senhor do Bonfim	BA	51	Iguaraci	Pajeú	PE
8	Casa Nova	Juazeiro	BA	52	Inajá	Sertão do Moxotó	PE
9	Chorrochó	Paulo Afonso	BA	53	Ingazeira	Pajeú	PE
10	Curaçá	Juazeiro	BA	54	Ipubi	Araripina	PE
11	Glória	Paulo Afonso	BA	55	Itacurubá	Itaparica	PE
12	Jacobina	Jacobina	BA	56	Itaíba	Vale do Ipanema	PE
13	Jaguarari	Senhor do Bonfim	BA	57	Itapetim	Pajeú	PE
14	Jeremoabo	Jeremoabo	BA	58	Jatobá	Itaparica	PE
15	Juazeiro	Juazeiro	BA	59	Lagoa Grande	Petrolina	PE
16	Macururê	Paulo Afonso	BA	60	Manari	Sertão do Moxotó	PE
17	Miguel Calmon	Jacobina	BA	61	Mirandiba	Salgueiro	PE
18	Mirangaba	Jacobina	BA	62	Moreilândia	Araripina	PE
19	Morro do Chapéu	Jacobina	BA	63	Orocó	Petrolina	PE
20	Ourolândia	Jacobina	BA	64	Ouricuri	Araripina	PE
21	Paulo Afonso	Paulo Afonso	BA	65	Parnamirim	Salgueiro	PE
22	Pilão Arcado	Juazeiro	BA	66	Petrolândia	Itaparica	PE
23	Remanso	Juazeiro	BA	67	Petrolina	Petrolina	PE
24	Rodelas	Paulo Afonso	BA	68	Quixabá	Pajeú	PE
25	Sento Sé	Juazeiro	BA	69	Salgueiro	Salgueiro	PE
26	Sobradinho	Juazeiro	BA	70	Santa Cruz	Araripina	PE
27	Uauá	Euclides da Cunha	BA	71	Stª Cruz da Baixa Verde	Pajeú	PE
28	Umburanas	Senhor do Bonfim	BA	72	Santa Filomena	Araripina	PE
29	Várzea Nova	Jacobina	BA	73	Santa Maria da Boa Vista	Petrolina	PE
30	Afogados da Ingazeira	Pajeú	PE	74	Santa Terezinha	Pajeú	PE
31	Afrânio	Petrolina	PE	75	São José do Belmonte	Salgueiro	PE
32	Araripina	Araripina	PE	76	São José do Egito	Pajeú	PE
33	Arcoverde	Sertão do Moxotó	PE	77	Serra Talhada	Pajeú	PE
34	Belém de São Francisco	Itaparica	PE	78	Serrita	Salgueiro	PE
35	Betânia	Sertão do Moxotó	PE	79	Sertânia	Sertão do Moxotó	PE
36	Bodocó	Araripina	PE	80	Solidão	Pajeú	PE

continua...

**Tabela 2.2.** Relação dos municípios situados na sub-bacia do Submédio São Francisco.

...continuação

Nº	Município	Microrregião	Estado	Nº	Município	Microrregião	Estado
37	Brejinho	Pajeú	PE	81	Tabira	Pajeú	PE
38	Buíque	Vale do Ipanema	PE	82	Tacaratu	Itaparica	PE
39	Cabrobó	Petrolina	PE	83	Terra Nova	Petrolina	PE
40	Calumbi	Pajeú	PE	84	Trindade	Araripina	PE
41	Carnaíba	Pajeú	PE	85	Triunfo	Pajeú	PE
42	Carnaubeira da Penha	Itaparica	PE	86	Tupanatinga	Vale do Ipanema	PE
43	Cedro	Salgueiro	PE	87	Tuparetama	Pajeú	PE
44	Custódia	Sertão do Moxotó	PE	88	Verdejante	Salgueiro	PE

Nota: os municípios não avaliados no trabalho estão representados pelas células destacadas em cinza.

### 2.3.2. Análise Estatística

Apresentamos a seguir os principais procedimentos estatísticos realizados para a obtenção dos resultados do trabalho.

#### 2.3.2.1. Análise Multivariada

Para aplicação dos métodos estatísticos, inicialmente foram construídas matrizes contendo nas colunas as diferentes variáveis correspondentes aos indicadores de cada perfil (Fig. 2.2) e nas linhas os 73 municípios e as 35 sub-bacias hidrográficas, respectivamente.

Como as variáveis estudadas possuem grandezas não comparáveis, foi necessária a padronização das variáveis, gerando, assim, novas matrizes de dados ( $z_i$ ), segundo Bourroche & Saporta (1980) e Andrade (1989), obtidas a partir da equação:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{s_i} \quad (1)$$

em que:

$x_i$  = valor da variável  $i$ ;

$\bar{x}_i$  = valor médio da variável  $i$ ;

$s_i$  = desvio padrão da variável  $i$ ;

#### Análise Fatorial

A análise fatorial é um método estatístico de análise multivariada, que tem como objetivo básico construir um conjunto de variáveis  $F_i$ , (a partir de uma transformação linear das variáveis iniciais  $X_i$ ), denominadas "Fatores" ou "Componentes Principais" independentes, ou seja, ortogonais, de acordo com o seguinte modelo matemático (Andrade, 1989):

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + a_{i3}F_3 + \dots + a_{ik}F_k + e_i \quad (2)$$

Cada uma das "k" variáveis observadas é descrita linearmente em termos das "k" componentes não correlacionadas ( $F_i$ ), e os " $a_{ik}$ " são os pesos ou cargas fatoriais que compõem a combinação linear. Os  $F_i$  são calculados de forma que o primeiro Fator  $F_1$  explique a maior parcela da variação total das variáveis ( $X_i$ ); o segundo Fator ( $F_2$ ) explique a segunda maior parcela; e, assim, sucessivamente, onde " $e_i$ " corresponde ao erro (Bouroche & Saporta, 1980; Andrade, 1989).

As cargas fatoriais expressam os coeficientes de correlação entre cada uma das variáveis e seus respectivos Fatores; enquanto a comunalidade final, obtida a partir do somatório dos quadrados das cargas fatoriais ( $a_{ik}$ ), representa a proporção da variação de cada variável envolvida nos Fatores definidos nas análises.

Em cada Fator, as variáveis mais representativas são aquelas cujas cargas fatoriais são as mais elevadas e devem sempre ser superiores a 0,30; por outro lado, quando a carga fatorial apresenta sinal negativo (-), significa influência negativa desta variável no Fator (Bouroche e Saporta, 1980; Andrade, 1989).

### Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento compreende técnicas e algoritmos iterativos, cujo objetivo é classificar "objetos" em grupos de acordo com seu grau de similaridade ou de dissimilaridade. Neste estudo, os "objetos" são representados pelos indicadores selecionados para cada perfil estudado: ecológico, econômico e social.

Normalmente, para medir o grau de dissimilaridade entre "objetos" utilizam-se medidas de distância. A distância euclidiana ( $d_{(a,b)}$ ) é a mais utilizada em estudos de agrupamento, sendo  $X_a$  e  $X_b$  as variáveis. Segundo Bussad *et al.* (1990), a distância euclidiana ( $d_{(a,b)}$ ) pode ser representada pela expressão:

$$d_{(a,b)} = \left[ \sum_{j=1}^p \frac{(X_{i(a)} - X_{i(b)})^2}{p} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Para as análises, foi utilizado o pacote Statistic Analysis System - SAS<sup>®</sup> (SAS Institute, 1999), sendo que, em vez de utilizar o método de Análise de Componentes Principais (ACP), utilizou-se o método Fatorial (Varimax rotacionado), já que este define mais claramente quais variáveis estão mais associadas com um dado Fator e quais não estão.

Na análise de agrupamento, foi utilizado o método Ward, uma vez que este maximiza a inércia entre os diferentes grupos (Andrade, 1989; Bussad *et al.*, 1990). Este método de agregação consiste em considerar inicialmente cada observação como sendo uma classe. Para decidir se duas classes irão formar uma classe maior, examina-se a maior inércia entre as

classes. O agrupamento será considerado ótimo quando existir máxima distância ou heterogeneidade entre as classes, o que equivale à mínima distância entre intraclasses.

### 2.3.3. Processamento das Informações em Sistemas de Informação Geográfica - SIG

As bases de dados primários e secundários referentes a cada perfil avaliado tiveram distintas origens. O processamento dos perfis social e econômico foi realizado, principalmente, com dados secundários originários do IBGE (IBGE, 2002b). Já os dados primários, gerados pelo próprio subprojeto 1.4- “Desenvolvimento de um sistema de monitoramento da qualidade da água na Região do Submédio São Francisco – Ecovale” no período de 1998 a 2002, foram fundamentais para a geração dos indicadores ecológicos, além de auxiliarem nos ajustes e co-validação das informações obtidas nas análises dos perfis social e econômico. Os distintos inventários realizados em campo que compuseram estas bases de dados foram:

- Inventário da qualidade ambiental das fontes de água, segundo norma ISO 14.001;
- Inventário das fontes potenciais de poluição;
- Inventário sócio-ambiental;
- Inventário de poços tubulares e cadastro de usuários;
- Inventário das fontes de água superficiais e cadastro de usuários;
- Inventário fito-ecológico.
- Monitoramento em campo da qualidade físico-química e microbiológica das águas superficiais e subterrâneas, mediante a utilização de sondas multiparâmetros e kits de determinação microbiológica rápida de coliformes (total e fecal).

As bases de dados referentes a cada perfil foram homogeneizadas para um adequado cruzamento e integração com os planos cartográficos de referência. Foi empregada a técnica de geoprocessamento de imagens de satélite, abrangendo toda a região (125 mil km<sup>2</sup>), com objetivo de obter índices de âmbito regional, e co-validação e extrapolação de resultados para outras sub-bacias hidrográficas.

Para o processamento do Índice de Sustentabilidade do Uso da Água, foi construída uma base de dados única, formada pela integração das três bases já citadas. Embora utilizando informações do âmbito municipal, foi possível a extrapolação e a obtenção de resultados para um âmbito geográfico mais realista do ponto de vista de uso e ocupação do território, a sub-bacia hidrográfica.

As informações em formato digital foram integradas, analisadas e processadas tendo como unidade mínima de estudo cada um dos 73 municípios que compõem a região, já que o município é a menor unidade geográfica com informação oficial disponibilizada até o momento pelo IBGE. Entretanto, destaca-se que essas informações foram sistematizadas e espacializadas no âmbito das 35 sub-bacias hidrográficas que compõem a área de estudo.

A partir da hipótese de que a qualidade das águas é função dos fatores que interferem em suas propriedades (Fig. 2.4), a análise multivariada foi utilizada no processamento de todos os indicadores, com o objetivo de se definir a estrutura analítica de cada indicador e de seus respectivos índices, associados a sua variabilidade espacial.

Uma vez homogeneizada a base de dados e definida a unidade geográfica mínima de estudo (município), foi realizado o tratamento estatístico dos dados através de análise discriminante. Esta análise serviu para classificar grupos homogêneos de forma natural, maximizando a separação entre grupos e homogeneizando os parâmetros no âmbito interno de cada grupo. Assim, como resultados da análise, foram obtidos quatro grupos homogêneos de municípios e de sub-bacias hidrográficas, os quais foram hierarquizados e expressos por um índice específico.

O processamento das distintas fontes de dados e sua posterior integração em ambiente de Sistema de Informação Geográfica - (SIG) foram desenvolvidos conforme apresentado na Fig. 2.5, onde se encontram os principais planos de informação, como as cartas topográficas e planos derivados (hidrografia, imagens de satélite e os resultados de sua classificação), assim descritos:

- Cartas topográficas do IBGE na escala de 1:100.000 (62 folhas);
- Imagens LANDSAT TM5 e TM7 de passagens recentes (1998 a 2001), compondo um mosaico de 12 cenas originais nas bandas 3, 4 e 5. Além de 62 imagens recortadas e georreferenciadas sobre as correspondentes cartas topográficas do IBGE;
- Mapa de ocupação do território;
- Mapa de rede de drenagem.

Destacam-se, também, as informações de outras fontes de dados em formato digital, produzidas por outras entidades públicas, utilizadas na construção dos indicadores de desenvolvimento sustentável, tais como:

- HIDROGEO - Base Cartográfica Regiões e Estados do Brasil (ANA, 2001a) e HIDROGEO - Mosaicos Georreferenciados: Regiões e Estados do Brasil (ANA, 2001b);
- ZANE (Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico) (Embrapa Solos, 2000);
- Cadastro da Fruticultura Irrigada do Nordeste do Brasil (CODEVASF, 2001);
- Informações censitárias dos municípios da área estudada, STATCART - Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas (IBGE, 2002b).

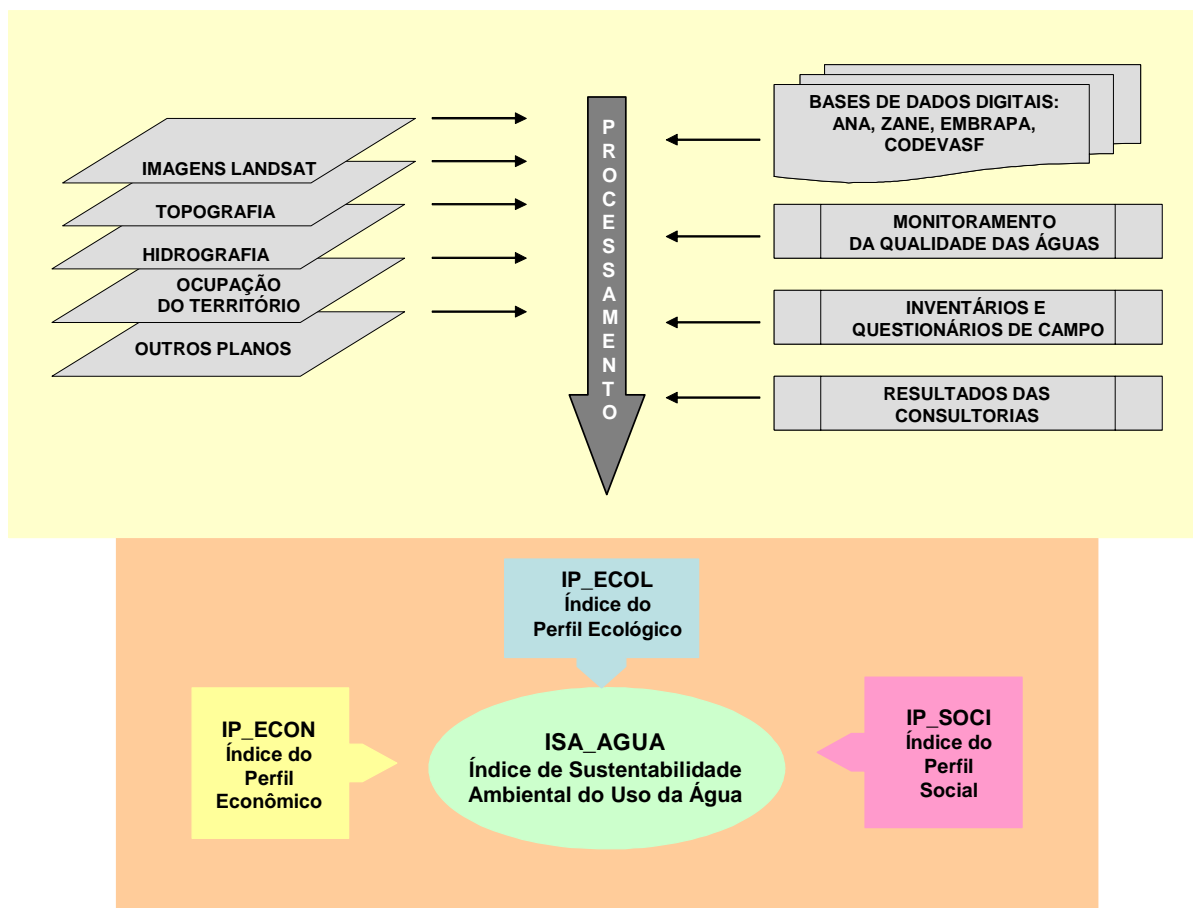


Fig. 2.5. Esquema metodológico geral do tratamento da informação.

Para o processamento em ambiente de SIG, foram empregados diferentes programas, sendo o ArcMap8.2<sup>®</sup> (ESRI, 2001) o software básico para a espacialização, edição e saídas gráficas dos resultados. Para os procedimentos de tratamento digital das imagens de satélite e processamento digital das bases vetoriais e raster, utilizou-se o IdrisiWin2.0<sup>®</sup> (Eastman, 2000).

#### 2.4. Construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA\_ÁGUA)

As análises foram realizadas isoladamente para cada um dos perfis (ecológico, econômico e social), através de matrizes de correlação das variáveis e das unidades geográficas de estudo, gerando ao final os índices específicos IP\_ECOL, IP\_ECON e IP\_SOCI.

A análise fatorial identificou, entre todas as variáveis utilizadas em cada perfil, aquelas que mais se correlacionam e interferem nos fenômenos observados em cada unidade geográfica; possibilitando, ainda, identificar, por meio das cargas fatoriais, a variável ou o conjunto de variáveis (fatores) que mais caracteriza e discrimina as unidades de análise frente ao universo em estudo.

O tratamento seguinte é a análise de agrupamento, pela qual são formadas classes homogêneas das unidades geográficas, de maneira hierárquica, para cada perfil. Neste trabalho

foram definidas quatro classes, representando os índices elevado, alto, regular e baixo, expressos em mapas temáticos específicos nas cores azul, verde, amarelo e vermelho, respectivamente.

O mesmo procedimento estatístico foi adotado para o cálculo do ISA\_AGUA, integrando todas as variáveis dos perfis ecológico, econômico e social numa única matriz de correlação.

A espacialização destes índices na forma de mapas temáticos, utilizando o SIG, permite a integração de diferentes planos de informação e, assim sendo, a elaboração de zoneamentos das unidades geográficas segundo o tema ou característica de interesse, constituindo-se em importante instrumento de planejamento para políticas públicas, subsidiando as tomadas de decisão na definição das prioridades.

## 2.5. Considerações Finais

Em se tratando de um trabalho de avaliação no âmbito regional, a utilização das modernas técnicas e métodos somente foi possível pelo desenvolvimento e disponibilidade de ferramentas de campo e de programas computacionais de elevado desempenho, bem como pela dedicação da equipe de pesquisadores, técnicos e dos parceiros do projeto.

Esta abordagem metodológica permitiu o levantamento e cruzamento de informações que ainda não haviam sido analisadas conjuntamente, gerando um resultado que permitirá aos gestores dos recursos hídricos conhecer os problemas, as causas e indicar as ações que possam ser tomadas para que os problemas encontrados sejam eficazmente solucionados.

## 2.6. Referências

- ANA. **Hidrogeo** – Base cartográfica: regiões e estados do Brasil: versão preliminar. Brasília, 2001a. 1 CD-ROM. (Série Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Naturais, 7).
- ANA. **Hidrogeo** – Mosaicos georreferenciados: regiões e estados do Brasil. Brasília, 2001b. 1 CD-ROM. (Série Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Naturais, 8).
- ANDRADE, T. A. Métodos estatísticos e econométricos aplicados à análise regional. In: HADDAD, P. R.; FERREIRA, C. M. de C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T. A. (Ed.). **Economia regional: teorias e métodos de análise**. Fortaleza: BNB-ETENE, 1989. p. 427-507.
- ANP. **Petróleo e derivados, abastecimento, consulta de postos**: 2002. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2002.
- ARMITAGE, D. An integrative methodological framework for sustainable environmental planning and management. **Environmental Management**, New York, v. 19, n. 4, p. 469-479, 1995.
- BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980. 116 p.

BUSSAD, W. de O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. de. Introdução à análise de agrupamentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 9., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABE, 1990. p. 106.

CODEVASF. **Cadastro da fruticultura irrigada**. Brasília, 2001. 1 CD-ROM. Versão preliminar.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Listagem dos jazimentos minerais** [2000]. Folhas: Serra Talhada, Jaguaribe, Jacobina, Belém do São Francisco. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 8 set. 2002.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows**: release 2.0. Worcester: Clark University, 2000. 1 CD-ROM.

EMBRAPA SOLOS. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil**: diagnóstico e prognóstico - ZANE digital. Fernando Barreto Rodrigues e Silva et al. Recife: Embrapa Solos-Escritório Regional de Pesquisa e Desenvolvimento Nordeste; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. (Embrapa Solos. Documentos, n. 14). 1 CD-ROM.

ESRI. **ArcMap**: release 8.2. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2001. 1 CD-ROM.

FIEB. **Guia industrial do estado da Bahia**: 2002. Disponível em: <<http://www.fieb.org.br>>. Acesso em: 12 mar. 2002.

FIEPE. **Cadastro industrial de Pernambuco**: 2000. Disponível em: <<http://www.fiepe.org.br>>. Acesso em: 14 mar. 2002.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2002. Rio de Janeiro, 2002a. 195 p. (Estudos e Pesquisas. Informação geográfica, n. 2).

IBGE. **Base de informações municipais**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2002b. CD-ROM.

NEHER, D. Ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement. **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton, v. 2, n. 3, p. 51-61, 1992.

NIJKAMP, P. Regional sustainable development and natural resource use. In: WORLD BANK ANNUAL CONFERENCE ON DEVELOPMENT AND ECONOMICS, 1990, New York. **Proceedings...** Washington, D.C.: World Bank, 1990. p. 124-139.

OECD. **Sustainable development**: OECD policy approaches for the 21st century. Paris, 1999. 196 p.

OECD. **Towards sustainable development**: indicators to measure progress. Paris, 2000. 420 p. Proceedings of the Rome Conference, held in december 15-17, 1999.

ONU. Divisão para o Desenvolvimento Sustentável. **Indicators of sustainable development**: guidelines and methodologies: 2001. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/isd.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2002.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Instituto Ambiental do Paraná. **Coletânea de textos traduzidos**: valoração do meio ambiente, custos da poluição e benefícios da proteção ambiental:1. O valor econômico do meio ambiente: 2. Princípios da valoração de impactos ambientais: 3. Custos da poluição ambiental e benefícios da proteção do meio ambiente. Curitiba: IAP-GTZ, 1994. Paginação irregular.



PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas**: sistema de codificação. Brasília: [s.n.], 1989. Não paginado. Não publicado.

SAS INSTITUTE. **The SAS system**: release 8.2. Cary: SAS Institute, 1999. 1 CD-ROM.

SMYTH, A. J.; DUMANSKI, J. A framework for evaluating sustainable land management. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 401-406, 1995.