

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO USO DA ÁGUA: proposta metodológica¹

Aderaldo de Souza Silva²
Luiz Carlos Hermes²
Cláudio Buschinelli²
Enio Silva³
Isis Rodrigues³
Zacarias Lourenço Vaz Ribeiro⁴

INTRODUÇÃO

Esta ocorrendo, a nível mundial, uma mudança de paradigma em relação às novas proposições de políticas de desenvolvimento que preservem o meio ambiente, até então pouco compreendidas. Também há uma busca incessante nos meios científicos de respostas convincentes de como lidar, eqüitativamente, com as três dimensões do ambiente: social, econômica e ecológica e suas interações. Esta busca de referências objetiva, a partir da unificação por meios estatísticos e matemáticos multidimensionais das três dimensões mencionadas, de forma equilibrada e fundamentada nos resultados alcançados, propor políticas públicas sob o conceito de *desenvolvimento sustentável*.

Apesar de utilizado no mundo inteiro, já foi superado o conceito de qualidade de água baseado apenas em parâmetros físicos e químicos. Hoje, a utilização desses parâmetros está direcionada a um conceito global, o qual integra todos os componentes do ecossistema, tanto no que se refere ao meio abiótico quanto biótico. Trabalhos recentes, desenvolvidos por equipes inter e multidisciplinares, têm demonstrado resultados significativos. Entre eles podem ser destacadas as contribuições metodológicas sobre o assunto, relatadas por Grande et al. (2001); Nações Unidas (2001) e IBGE (2002).

O ESI (2002), menciona a construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental, para o qual foram analisados 20 indicadores ambientais, institucionais, sociais e econômicos em 142 países. Como resultado, a Finlândia foi classificada em primeiro lugar (73,9), enquanto o Brasil ficou classificado em 20º lugar (59,6). Contudo, o Brasil ficou melhor classificado do que a Holanda (33º), França (34º), Espanha (46º) e Estados Unidos (51º).

A Comunidade Europeia apresentou um conceito mais amplo sobre a qualidade da água, descrita na *Diretiva Marco sobre a Água* (Grande et al., 2001). A política nacional de recursos hídricos europeia também define a bacia hidrográfica como unidade de gestão das águas, o que a mantém similar à política de recursos hídricos brasileira. No entanto, significativamente estão diferenciadas pelo conceito de Desenvolvimento Sustentável no que diz respeito à importância não destacada na Lei No 9.433 de 08/01/1977, sobre a necessidade de calcular o *estado ecológico*, comparando-o aos parâmetros dos diversos componentes dos ecossistemas aquáticos

¹ Palestra proferida na Conferência Interamericana de Recursos Hídricos, no período de 23 a 25 de julho de 2003, no Hotel Internacional de Foz de Iguaçu (PR), sob o auspício da Universidade das Águas (www.uniaguas.org.br). O presente estudo foi financiado pelo PROJETO GEF SÃO FRANCISCO (2002).

² Pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente (www.cnpma.embrapa.br). Fone 0++ 19.3867.8724. CEP 13.820 – 000 - Jaguariúna (SP).

³ Bolsistas do CNPq, Doutores (isis@cnpma.embrapa.br e enio@cnpma.embrapa.br).

⁴ Eng. Agro. M.Sc., Depto. Planejamento Estratégico da 3ª. D.R. da CODEVASF, em Petrolina (PE).

(lagos, barragens, poços, açudes, lagoas e rios), das bacias hidrográficas com características geoambientais homogêneas.

O presente trabalho apresenta o *Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA_ÁGUA)*, desenvolvido na Embrapa Meio Ambiente, o qual envolveu 35 sub-bacias hidrográficas e 73 municípios, regionalizando o Submédio do rio São Francisco. Este trabalho preenche uma lacuna no conceito global de qualidade das águas, pois realiza a delimitação de unidades territoriais homogêneas, em âmbito regional, do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, utilizando os indicadores sociais, econômicos e ecológicos.

As técnicas de regionalização já vêm sendo usadas em ecologia de rios, para estudo das comunidades biológicas e da qualidade físico-química das águas (Marchant et al., 2000). Contudo, no caso do rio São Francisco, foram analisados os efeitos das atividades sociais, econômicas e ecológicas sobre a rede fluvial natural, o que fez com que a metodologia utilizada seja considerada pioneira.

Também, para este trabalho, foi desenvolvida uma metodologia de apoio ao *Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos*, antecipando-se à nova cultura ecosocial da água. Para isso foram utilizadas informações secundárias geradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE (IBGE, 2002; CODEVASF, 2001), tratamento e geoprocessamento de imagens de satélite (Edwards, et al., 1990) e pesquisas de campo.

Em função dos novos indicadores encontrados, foi realizada para todas as 35 sub-bacias hidrográficas estudadas na bacia do rio São Francisco, a extrapolação e convalidação metodológica das análises estatísticas multidimensionais (Coletânea, 1994; ANA, 2003). Entre os principais resultados alcançados citam-se a geração de dezesseis novos indicadores, quatorze índices de qualidade ambiental e igual número de mapas temáticos digitais. Para o melhor entendimento dos resultados obtidos, foram definidos quatro ecotipos, para cada tipo de indicador (referência) encontrado, convencionado-se as cores azul (grau elevado); verde (alto grau); amarelo (grau regular) e vermelho (baixo grau) para os representarem (Embrapa Meio Ambiente, 2003).

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio São Francisco está dividida em quatro sub-regiões: o Alto São Francisco, que compreende o trecho desde a nascente na Serra da Canastra no estado de Minas Gerais, até a confluência com o rio das Velhas; o Médio São Francisco, que vai desde a foz do rio das Velhas até a cidade de Remanso no estado da Bahia; o Submédio São Francisco, desde a cidade de Remanso até a barragem de Paulo Afonso na Bahia; e o Baixo São Francisco, situado entre Paulo Afonso e o oceano Atlântico (Brasil, 1974).

A bacia abrange uma superfície de 640.000 km², equivalente a 7,5% do território brasileiro. A região do Submédio do rio São Francisco, onde o presente estudo foi realizado (Ver Figura 1), ocupa uma área de 125 mil km² e tem uma população estimada de 2,5 milhões de pessoas.

A classificação dos municípios e das sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco, feita pela análise discriminante, segundo Andrade (1989) e Judez Asensio (1989), foi essencial para a confecção dos Mapas Temáticos sobre os indicadores dos perfis social, econômico e ecológico, permitindo a obtenção de seus perfis (IP_SOCI, IP_ECOL, (IP_ECON) e da construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA_ÁGUA)).

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, pode-se observar o número de temas e de suas respectivas variáveis para cada perfil e para o ISA_ÁGUA. Para maior detalhamento sobre as variáveis utilizadas ver Resumo Executivo do Subprojeto 1.4. do Projeto GEF_São Francisco, acessando a página “WEB” www.ana.gov.br/gefsf.

Tabela 1. Tipos de temas em que foram agrupados os nove indicadores estudados na construção do Perfil Social (IP_SOC) da região do Submédio do rio São Francisco. São citados os temas selecionados, o número de casos (municípios) e o número de variáveis contidas em cada tema analisado.

PERFIL	Temas	Número de casos	Número de variáveis
Social (IP_SOC) <i>(Nove temas 25 indicadores 244 variáveis)</i>	Educação	73	45
	Pessoal ocupado assalariado	73	16
	Resultado do universo	73	25
	Saúde	73	66
	Participação política	73	37
	Pessoal ocupado	73	16
	Estatística derivada	73	26
	Vida e risco de vida	73	12
	Índice de Desenvolvimento Humano	73	1

Tabela 2. Tipos de temas em que foram agrupados os nove indicadores estudados na construção do Perfil Econômico (IP_ECON) da região do Submédio do rio São Francisco. Citam-se os temas selecionados, o número de casos (municípios) e o número de variáveis contidas em cada tema analisado.

PERFIL	Temas	Número de casos	Número de variáveis
Econômico (IP_ECON) <i>(Nove temas 18 indicadores 229 variáveis)</i>	Empresa	73	23
	Produção extração vegetal	73	8
	Finanças públicas	73	52
	Instituições financeiras	73	6
	Salários e outras remunerações	73	14
	PIB municipal	73	1
	Unidades locais	73	14
	Lavoura permanente	73	40
	Lavoura temporária	73	54
	Pesquisa agropecuária	73	17

Tabela 3. Tipos de temas em que foram agrupados os nove indicadores estudados na construção do perfil ecológico (IP_ECOL) da região do Submédio do rio São Francisco. Citam-se os temas selecionados, o número de casos (municípios) e o número de variáveis contidas em cada tema analisado.

PERFIL	Temas	Número de casos	Número de variáveis
Ecológico (IP_ECOL) <i>(Quatorze temas 21 indicadores 100 variáveis)</i>	Balanço hídrico	73	28
	Fontes potenciais de poluição	73	25
	Qualidade físico-química das águas	73	18
	Qualidade biológica das águas	73	2
	Cobertura vegetal	73	5
	Degradação ambiental dos solos	73	6
	Densidade urbana	73	3
	Carga de agrotóxicos	73	5
	Qualidade ambiental das fontes de água	73	8

Tabela 4. Tipos de perfis em que foram agrupados os 65 indicadores estudados na construção do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA_ÁGUA) na região do Submédio do rio São Francisco. São destacados os perfis, o número de casos (municípios) e o número de variáveis contidas em cada perfil analisado.

ÍNDICE	Perfis	Número de casos	Número de variáveis
Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA_ÁGUA) <i>(Trinta e dois temas 65 indicadores (573 variáveis)</i>	Social	73	244
	Econômica	73	229
	Ecológica	73	100

Como é possível verificar através da análise das Tabelas 1, 2, 3 e 4 o ISA_ÁGUA é o integrador dos demais perfis mencionados. Este tipo de procedimento analítico, somente é possível por meio de análise multivariada ou de agrupamento (Riley, 2001; Nações Unidas, 2001).

A abordagem metodológica, permitiu o levantamento e cruzamento de informações complexas, gerando resultados concretos e eficazes que possibilitarão, aos Gestores dos Recursos Hídricos, avaliar melhor os problemas regionais e municipais e suas causas e indicar as ações mitigadoras, no momento em que estas acontecem (Workshop, 2002; Water, 2002).

RESULTADOS

Índice do Perfil Ecológico (IP_ECOL)

O perfil ecológico do Submédio São Francisco foi composto por 21 indicadores caracterizados por 100 variáveis. Através da análise fatorial estas variáveis foram agrupadas em quatro grandes grupos denominados Fatores:

- Fator 1 - disposição de resíduos, que classificou 21 municípios, com 41,3% da carga fatorial total.

- Fator 2 - concentração fundiária, classificando 5 municípios, com 22,0% da carga fatorial total.
- Fator 3 - déficit hídrico, que classificou 42 municípios, com 21,7% da carga fatorial total.
- Fator 4 - atividades de mineração, com 5 municípios classificados, com 15,0% da carga fatorial total.

A carga fatorial cumulativa destes quatro fatores foi de 45,83.

Posteriormente, estas informações permitiram elaborar o Índice do Perfil Ecológico (IP_ECOL). Este índice diz respeito ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, ambos relacionados com as atividades antrópicas como agropecuária, industrialização, comércio, distribuição e serviços públicos na região.

A classificação dos municípios de acordo com o Perfil Ecológico foi baseada na análise de Cluster das principais variáveis consideradas para a caracterização da condição ecológica de cada um dos municípios com relação a esta condição estabelecida para a região. Atribuiu-se a elas o Índice do Perfil Ecológico representados por IP_ECOL elevado (cor azul), IP_ECOL alto (cor verde), IP_ECOL regular (amarelo) e IP_ECOL baixo (vermelho).

A descarga de poluentes nos corpos de água, decorrente das atividades dos setores produtivos primário, secundário e dos serviços públicos, foi considerada como a causa fundamental do problema que retrata o uso não sustentável da água, segundo o Perfil Ecológico no Submédio São Francisco (Figura 2).

Figura 2. Índice do Perfil Ecológico (IP_ECOL) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio do rio São Francisco.

O Índice do Perfil Ecológico (IP_ECOL), elevado, em cor azul, foi atribuído somente ao município de Floresta, o qual caracteriza-se por um índice de cobertura vegetal elevado, de concentração urbana baixo e por um Índice de qualidade de água alto, o que favoreceu muito esta classificação, em relação à região do Submédio São Francisco.

Com IP_ECOL alto (em verde), foram classificados 44 municípios, associados à ocupação do solo de forma menos intensa, o que comprometeu menos o recurso hídrico em questão. Com IP_ECOL regular (em amarelo), já aparecem importantes municípios com relação ao desenvolvimento econômico regional e estrutura urbana como suporte às atividades desenvolvidas na área. Juazeiro destaca-se como o principal representante dos cinco municípios classificados com este IP_ECOL.

Por fim, com IP_ECOL baixo, em vermelho, encontram-se os 23 municípios restantes, destacando-se a presença de Petrolina entre eles. O município de Petrolina, assim como Juazeiro, diferencia-se dos demais municípios da Região com relação à estrutura urbana e rural para o desenvolvimento das atividades produtivas, assim como, para o estabelecimento de sua população residente, também superior em números absolutos.

As causas ecológicas para o uso não sustentável da água no Submédio São Francisco foram estatisticamente definidas como sendo:

- Carga total de poluentes na água devido às atividades industriais, comerciais e de serviços públicos (esgotamento sanitário e vazadouro a céu aberto).
- Aplicação de agrotóxicos e descarte de embalagens de agrotóxicos na área rural.
- Concentração fundiária.
- Desequilíbrio no balanço hídrico regional.
- Atividades impactantes de mineração.
- Geração de resíduos químicos provenientes dos usos agrícola e doméstico.

Índice do Perfil Econômico (IP_Econ)

O perfil econômico do Submédio São Francisco foi elaborado com 229 variáveis, agrupadas em dez indicadores. Estas variáveis foram agrupadas através da análise fatorial, resultando em quatro grupos denominados Fatores.

- O fator 1 – Gastos Públicos em Infraestrutura, com 56,1% da carga fatorial total. As variáveis que distinguem os municípios neste Fator são caracterizadas pelos efeitos decorrentes dos investimentos em saúde e saneamento, capacidade de arrecadar tributos municipais e capacidade de endividamento municipal, sistema de produção agrícola estruturado e estrutura privilegiada de captação de receitas.
- Fator 2 - Agricultura Irrigada, com 26,8% da carga fatorial total. As variáveis principais referem-se às lavouras permanentes e temporárias, especialmente coco da baía, maracujá, manga e cana-de-açúcar.
- Fator 3 - Outras Culturas de Comercialização Sazonal (9,4% da carga fatorial total). Novamente o indicador lavoura temporária seleciona os municípios da região, representada pelas culturas de feijão, milho e mandioca, o que evidencia a agricultura de subsistência.
- Fator 4 - Agricultura de Sequeiro (com 7,6% da carga fatorial total). Variáveis representando as culturas de cebola, arroz e sazonais. Salienta-se que este último grupo, mesmo dispondo de áreas com agricultura irrigada, detém uma significativa parte da população rural, dedicada

a agricultura dependente de chuva. A carga fatorial total (Final Commuality Estimates) é igual a 151.16.

Baseados nestes resultados e pela análise de cluster das variáveis mais representativas da condição econômica municipal, e relativa a esta condição na região, foi construído o Índice do Perfil Econômico (IP-ECON) com quatro atributos de qualificação: elevado (cor azul), alto (cor verde), regular (cor amarela) e baixo (cor vermelha). Os resultados obtidos com o Índice do Perfil Econômico (IP_ECON) sinalizam uma desigualdade econômica, altamente significativa entre municípios (Figura 3).

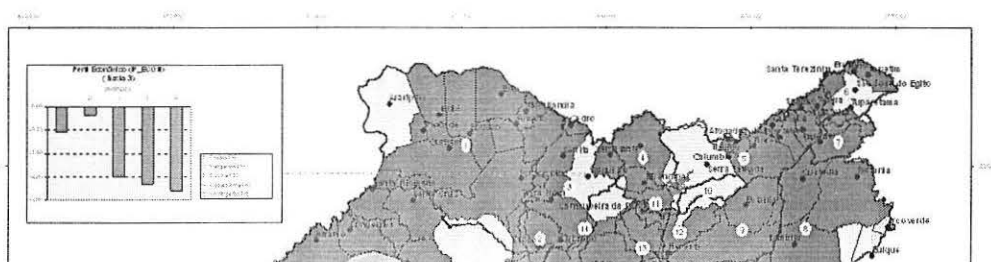


Figura 3 Índice do Perfil Econômico (IP_ECON) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio do rio São Francisco.

O município melhor classificado foi Petrolina, PE, com IP_ECON elevado, em cor azul. Juazeiro (BA) apresentou IP_ECON alto, em cor verde. No terceiro grupo homogêneo, ficou agrupado com IP_ECON regular (cor amarela) os municípios de Araripina (PE), Arco-Verde (PE), Casa Nova (BA), Petrolândia (PE), Salgueiro (PE), Santa Maria da Boa Vista (PE), São José do Egito (PE) e Serra Talhada (PE). Enquanto 97,8% dos 73 municípios pesquisados (63 municípios) ficaram no último grupo, com IP_ECON baixo (cor vermelha).

4.4. Índice do Perfil Social (IP_SOCIAL)

Os componentes sociais são incorporados na definição das metas de desenvolvimento e conservação ambiental, sobretudo em países que comportam grandes problemas sociais e deparam com a necessidade de alternativas ao manejo de áreas comprometidas ambientalmente (Marchante et al., 2000; Oliveira et al., 2000), mas, contudo, abertas à possibilidade de uso e ocupação do solo com atividades econômicas.

Como produto da análise de agrupamento, foi observado que com IP_SOCI elevado houve somente um município, Petrolina em cor azul. Com IP_SOCI alto, também, um único município formou um grupo, representado por Juazeiro da Bahia, em cor verde. Entretanto, por meio do índice IP_SOCI regular se obteve seis municípios formando um grupo homogêneo, recebendo a cor amarela. Por fim, com IP_SOCI refletindo a condição social baixa, foram incorporados os 65 municípios restantes, com a cor vermelha.

Pode-se concluir dessa análise que o atendimento às necessidades básicas da população, quando analisada na dimensão regional, é altamente desigual e reflete os problemas sociais da região semi-árida nordestina, no tocante ao acesso à educação e a saúde, a qual é altamente significativa para uma pequena parcela da população.

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO USO DA ÁGUA

Na Tabela 5, é demonstrada, em ordem hierárquica, a classificação das dez (10) variáveis mais significativas e de seus respectivos indicadores, que melhor explicaram o uso sustentável das águas superficiais e subterrâneas na região do Submédio do Rio São Francisco. Estas foram obtidas por meio do método *stepwise* e expressam o resultado da matriz integrada, com 573 variáveis, pertencentes aos perfis ecológico, econômico e social.

Quadro 5. Classificação das dez (10) variáveis mais significativas e de seus respectivos indicadores, que compõem o Uso Sustentável da Água na região do Submédio do rio São Francisco, por meio do método *stepwise*. Os parâmetros abaixo relacionados em forma hierárquica, expressam o resultado da matriz integrada com 573 variáveis, pertencentes aos perfis ecológico, econômico e social.

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	5503.70024	550.37002	69.34	<.0001
Error	61	484.17476	7.93729		
Corrected Total	71	5987.87500			

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Type III SS	F Value	Pr > F
Indicador - Intercept	11.45262	0.97920	1085.77509	136.79	<.0001
Finanças públicas (Receitas)	-0.00030946	0.00009641	81.77883	10.30	0.0021
Finanças públicas (Despesas - agricultura)	0.00001273	0.00000172	435.69635	54.89	<.0001
Pesquisa pecuária municipal (Muare)	0.00401	0.00128	77.64008	9.78	0.0027
Pesquisa pecuária municipal (Ovinos)	0.00011906	0.00001514	491.03358	61.86	<.0001
Fontes de poluição (Mármore)	-19.08844	4.73769	128.84850	16.23	0.0002
Qualidade de água superficial (TDS)	102.95891	13.31321	474.71657	59.81	<.0001
Qualidade de água superficial (Salinity)	-107.60370	16.58553	334.09339	42.09	<.0001
Balanco hídrico (Déficit no mês de julho)	-8.82763	0.89873	765.77651	96.48	<.0001
Educação (Ensino pré-escolar federal)	-0.35317	0.10872	83.76408	10.55	0.0019
Saúde (Óbitos - mulheres)	-0.18476	0.02886	325.41485	41.00	<.0001

Obs: Variable muare (PEC015) Entered: R-Square = 0.9191 and C(p) = .

Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA_Água)

O desenvolvimento sustentável do uso da água na região do Submédio do Rio São Francisco, é um processo em construção, cuja quantificação e qualificação procurou-se expressar por meio de quatro novos fatores. A concepção da sustentabilidade por meio do índice ISA_Água foi elaborada com a finalidade de classificar as sub-bacias hidrográficas, municípios, qualidade das águas, qualidade ambiental das fontes segundo a norma ISO 14.001 e as fontes de poluição.

A determinação deste índice envolveu cálculos complexos em ambiente multi-dimensional. Para a aplicação da análise fatorial, foi elaborada uma matriz de correlação, envolvendo as três bases de dados, correspondentes a cada perfil: ecológico, econômico e social. Posteriormente, extraiu-se os fatores iniciais, seguido da rotação dos fatores e cálculo dos escores fatoriais, para analisar a posição de cada município em cada fator, bem como de cada sub-bacia hidrográfica.

A matriz final do ISA_Água conteve 573 variáveis, distribuídas de acordo com a análise fatorial. Estas variáveis foram agrupadas em quatro grupos denominados fatores:

- Fator 1 - dinâmica da poluição urbana e uso da água, foram associadas 331 variáveis, correspondendo a 60,4% da carga fatorial total.
- Fator 2 - agricultura irrigada, foram 75 variáveis, correspondendo a 21,0% do total.
- Fator 3 - agricultura familiar e pecuária, foram associadas, 97 variáveis, com 11,0% do total.
- Fator 4 - qualidade de vida e segurança alimentar, 71 variáveis, correspondendo a 7,6% do total.

O ISA_Água obtido em função das análises integradas dos indicadores sociais, econômicos e ecológicos, é apresentado na Figura 5.

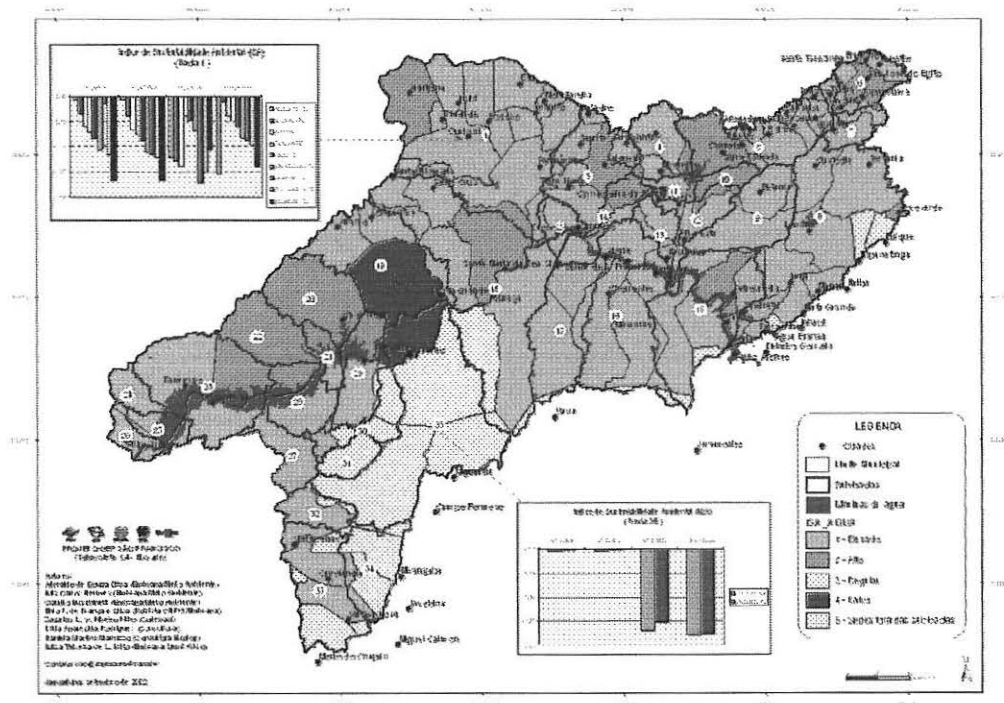


Figura 5. Mapa comparativo do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA-ÁGUA) abrangendo 35 Sub-bacias hidrográficas e 73 municípios da região do Submédio do rio São Francisco.

A análise de agrupamento (Cluster analysis), definiu um ISA_Água elevado em 63 municípios, indicados em cor azul. Com ISA_Água alto, demonstrado no mapa em cor verde, ocorreram oito municípios (Araripina, Arcoverde, Casa Nova, Petrolândia, Salgueiro, Santa Maria da Boa Vista, São José do Egito e Serra Talhada). O ISA_Água regular foi atribuído ao município de Juazeiro, recebendo a cor amarela. Por fim, com um ISA_Água baixo apareceu novamente somente um município, Petrolina, indicado pela a cor vermelha. De maneira geral, o ISA_Água refletiu uma condição elevada e boa para a grande maioria dos municípios envolvidos, os quais quando vistos sob o perfil social e econômico mostraram-se problemáticos, apesar de ter garantido este ranqueamento no balanço final.

Como resultado preponderante da aplicação dessa metodologia, o índice ISA_Água, observou-se o aumento significativo da demanda e alteração das águas superficiais, devido às atividades agroindustriais e urbanas ribeirinhas ao longo do Rio São Francisco, trecho Pilão Arcado - Paulo Afonso, cerca de 700 km ao longo da calha do rio. É consenso a degradação da qualidade das águas pelas atividades agrícolas e urbanas na região em estudo, mas o grau de impacto dessas atividades pode ser reduzido pela implementação de práticas de manejo e aplicação de legislação adequada.

Ressalta-se que esta análise é capaz de indicar as possíveis causas que estariam levando ao uso não sustentável da água, sejam em municípios que apresentam bons índices no perfil social e econômico, seja em municípios que são flagrados com a necessidade desse desenvolvimento, conforme descrito a seguir:

- Deficiência no sistema de saúde e educação regional (IP_SOCI);
- Baixo nível de investimento em serviços básicos (IP_ECON);
- Carga significativa de poluentes em função das atividades industriais, comerciais e de falta dos serviços públicos. Uso indiscriminado de agrotóxicos e descartes de embalagens no meio rural (IP_ECOL);
- Impactos ambientais decorrentes do destino inadequado de efluentes urbanos e de resíduos sólidos domésticos, industriais e agrícolas, associados à concentração de renda e a susceptibilidade à poluição urbana (ISA_Água).

A relatividade do ranqueamento das variáveis na formação do ISA permitiu estabelecer diferenças importantes na concepção e encaminhamento do desenvolvimento e demanda ao atendimento e manutenção da qualidade de vida dos municípios envolvidos. O quadro final reflete um maior investimento social em áreas onde o desenvolvimento de atividades econômicas incorpora-se à dinâmica de ocupação do solo, caso de Juazeiro e Petrolina, mas evidencia os problemas potenciais de cunho ambiental, caracterizando o índice final de sustentabilidade como regular e baixo.

Pode-se afirmar que a grande vantagem do ISA-Água é a sua utilização para avaliação estratégica em políticas públicas e para grupos de gestão ambiental. Serve de suporte para a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, permitindo o estabelecimento de áreas prioritárias para o monitoramento da qualidade de água, bem como intervenção no entorno. Em escala menor pode servir como modelo para elaboração das Agendas 21 municipais. Para isso utiliza-se a matriz multivariada de análise causal, cujo resultado demonstra as causas e as medidas mitigadoras para cada problema encontrado.

5.2. Matriz multivariada de análise causal

Uma das inovações no processo de formação da matriz de análise causal do uso da água, segundo os perfis social, econômico e ecológico e no desenvolvimento sustentável no Submédio

São Francisco, foi à inserção da técnica fatorial para a sua elaboração. É um procedimento estatístico de análise multivariada, com dois objetivos básicos: o primeiro aplicável às variáveis explicativas de uma equação a ser ajustada, quando indicam um significativo grau de intercorrelação, semelhante ao uso de regressões múltiplas, visando obter informações por sub-bacia hidrográfica da carga de poluentes emitidos. E o segundo, para obter uma análise classificatória das sub-bacias em função de índices específicos, contidos em cada indicador dos perfis social, econômico e ecológico de âmbito regional, do tipo ISA.

MONITORAMENTO DO USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA

Estudos Básicos

Há vários anos, no Brasil e no mundo a qualidade da água é vista de forma convencional, como um conjunto de parâmetros químicos, físico-químicos, microbiológicos, físicos e hidrogeológicos, que interpretados e comparados levam à classificação por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA). Este índice apesar de útil tem-se mostrado limitado, pois avalia alterações, positivas ou negativas, que já ocorreram na água (Grande et al., 2001).

Os resultados de dados dos milhares de corpos d'água que vêm sendo monitorados ao longo dos anos mostram que muitos desses recursos encontram-se em crescente estágio de poluição. Isto comprova que apenas o ato de monitorar o recurso, com base no conceito conhecido de qualidade da água, não está sendo suficiente para evitar que esse seja poluído pelas atividades antrópicas em seu entorno. Surgiu então a necessidade de revisão do conceito de qualidade da água e a proposição de novas abordagens para o problema, visando a sustentabilidade ambiental.

Desta forma é proposta uma metodologia pioneira de monitoração de qualidade da água para a região do Submédio São Francisco, utilizando o novo conceito de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA_ÁGUA). Salienta-se que esta metodologia é extrapolável para a bacia do rio São Francisco de forma global, bem como sua universalidade, podendo ser aplicada em qualquer bacia hidrográfica.

Seleção e treinamento de Agentes de Água Voluntários (AAVs)

No desenvolvimento deste trabalho, a preocupação principal foi centrada no repasse de métodos e processos para diversas comunidades da região do Submédio do rio São Francisco salientando como maneiras simples podem aumentar a percepção das pessoas em relação ao lugar onde vivem. Os recursos hídricos ali disponíveis são à base de sua sustentação e de seus problemas.

A compreensão dos princípios básicos de “como funciona o lugar onde vivemos”, faz pensar em um modo de relacionamento homem/meio mais salutar. Uma forma de entender este processo é através da elaboração de diagnóstico de bacias hidrográficas (Estados Unidos, 1999; Garjulli, 2001).

O diagnóstico completo da qualidade das águas consiste em monitorar de forma adequada os componentes físicos, químicos e biológicos das bacias hidrográficas e associar a estes componentes os fatores naturais e os de caráter antrópico determinante das possíveis alterações dos diferentes corpos de água (Embrapa Meio Ambiente, 2003).

Em um país com as dimensões continentais como o Brasil, as ações de monitoramento de qualidade de água são realizadas em praticamente todos os estados. Os pontos de coleta e análise são distribuídos ao longo dos cursos dos principais rios formadores da malha de drenagem das respectivas bacias hidrográficas.

A ferramenta básica para o agente ambiental é o EcoKit® que avalia a qualidade da água pelos seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO, dureza total, turbidez, ferro, fosfato, cloreto, cloro, amônia e coliformes totais e fecais. Esta ferramenta permite aos indivíduos treinados monitorar a qualidade de água nas localidades onde residem determinando diversas variáveis físico-químicas com bons resultados. Em cada kit podem ser adicionadas determinações específicas de acordo com as condições predominantes em cada bacia hidrográfica. Além disso, os resultados proporcionam discussões sobre a questão da água potável, a necessidade de controle da qualidade e a preservação das áreas de mananciais.

Recomendação dos pontos de amostragem para o monitoramento oficial das águas superficiais.

Mediante a aplicação da metodologia ISA_AGUA, foi possível selecionar as áreas críticas onde se deve monitorar sistematicamente a qualidade das águas superficiais pela Agências Oficiais de Controle Ambiental.

Para as águas superficiais, existem duas periodicidades de monitoramento, dependendo das condições de regime hídrico.

A primeira se trata da calha do Rio São Francisco, que deve ser avaliada com periodicidade mensal ou quinzenal, devido às mudanças freqüentes nos parâmetros de qualidade das águas, conforme verificado neste estudo. Neste caso, foram selecionadas 8 áreas críticas de monitoramento, representadas por círculos vermelhos na Figura 6.

A outra, se refere as águas dos tributários e açudes da região, que neste caso, devem ser avaliadas com periodicidade trimestral ou bimestral. Para esta, foram selecionadas 16 áreas críticas, representadas por círculos verdes na Figura 6.

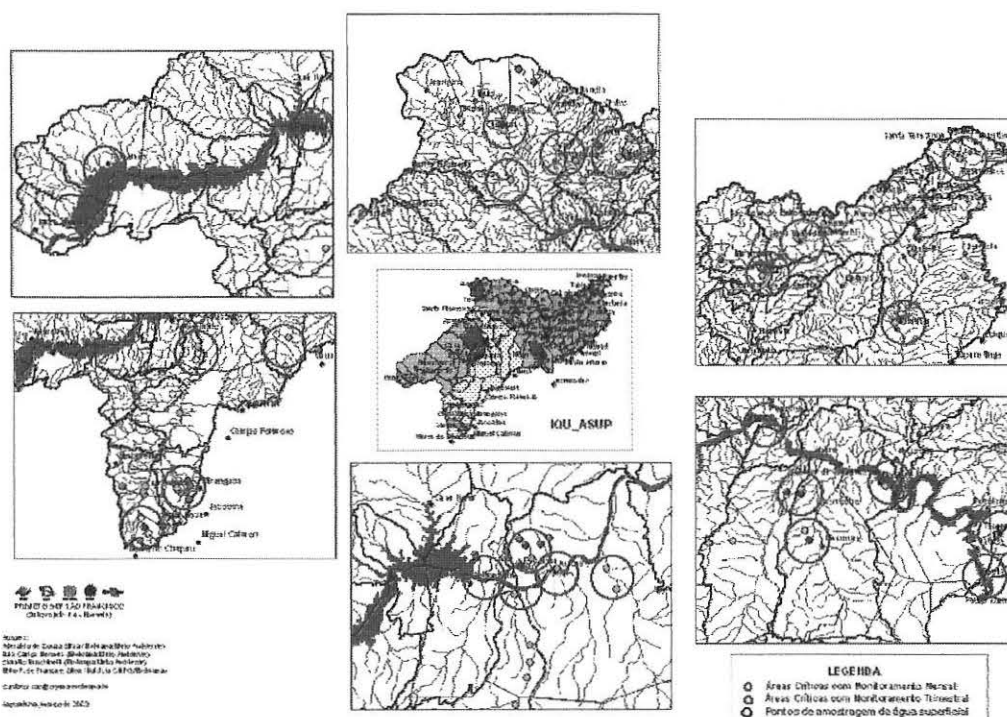


Figura 6. Pontos de monitoramento das águas superficiais segundo a metodologia ISA_Água na região do submédio do rio São Francisco.

- **Recomendação dos pontos de amostragem para o monitoramento oficial das águas subterrâneas.**

O mesmo procedimento permitiu selecionar as áreas críticas para o controle dos recursos hídricos subterrâneos.

Neste caso, o regime hídrico é muito mais estável não necessitando de monitoramento com periodicidade menor que 6 meses. Foram selecionadas 23 áreas críticas representadas por círculos laranja na Figura 7.

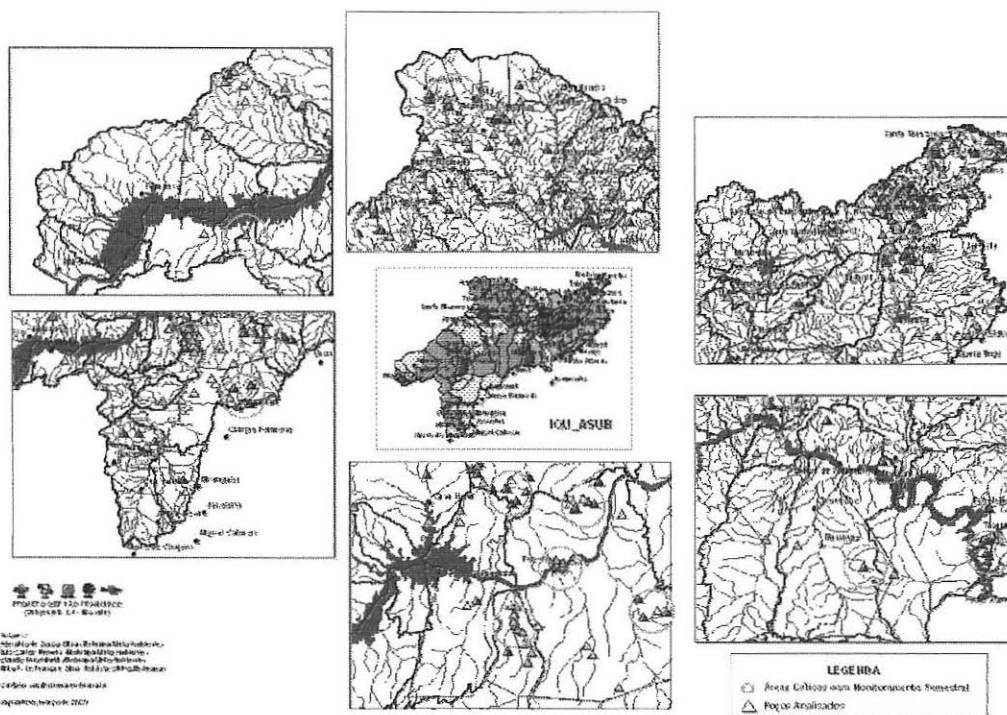


Figura 7. Pontos de monitoramento das águas subterrâneas segundo a metodologia ISA_Água na região do submédio do rio São Francisco.

É importante destacar que esta recomendação de pontos de monitoramento é complementar a formação da rede de monitores ou de agentes voluntários de água, conforme descrito a seguir.

A formação da rede (capilaridade)

As atividades dos AAVs, foi consolidada com uma infra-estrutura mínima, em cada núcleo de apoio aos Comitês de bacia. Esta infra-estrutura consistiu de Ekokits, um laboratório móvel (realiza até sessenta e duas análises de água, incluindo metais pesados) e um ponto para internet de alta velocidade instalado em computador multimídia.

Estes equipamentos devem ficar preferencialmente no escritório técnico de apoio ao Comitê de Bacia Hidrográfica. Assim, a equipe de agentes que pertencem a uma determinada localidade, poderá integrar-se a outras equipes, trocando informações e sendo retroalimentado com informações mais avançadas pelo Sistema de Informações Ambientais (EcoSiam), desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente.

Para que se tenha uma idéia da capilaridade desta rede, na Figura 8 é apresentado um modelo esquemático do funcionamento dessa rede.

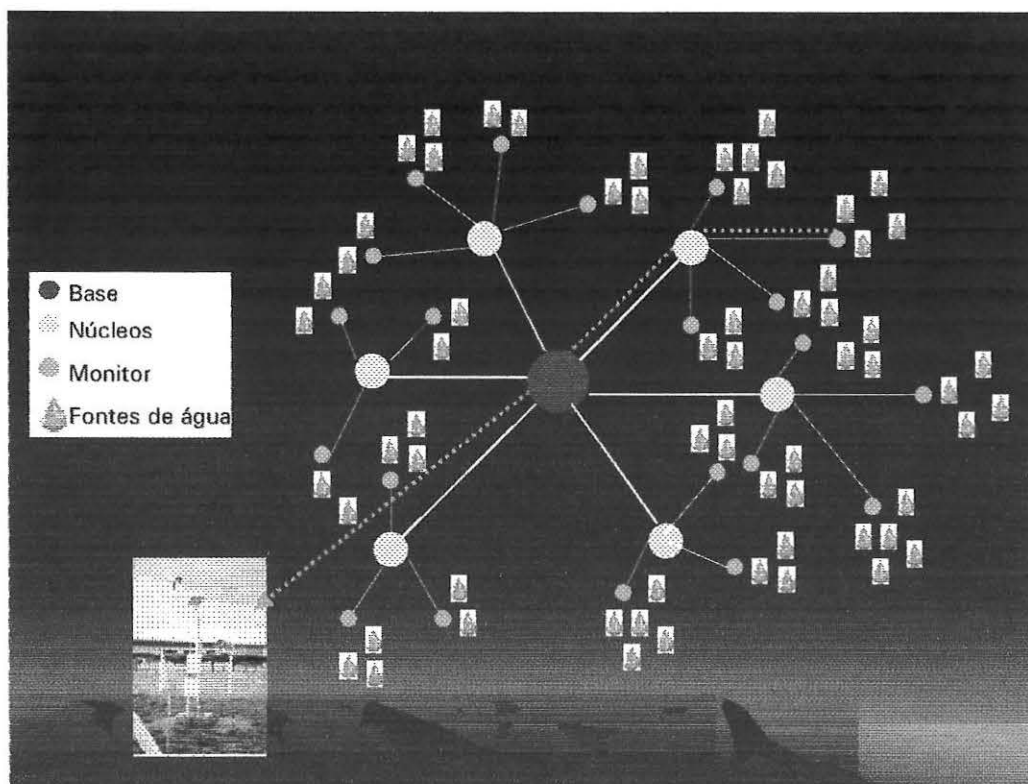


Figura 8. Modelo de rede de monitoramento.

A escola é o centro aglutinador das informações sobre qualidade de águas, obtidas através dos agentes (alunos) que, periodicamente, monitoram as fontes localizadas próximo aos lugares onde moram. As amostras de água são colhidas pelo aluno que realiza alguns parâmetros no próprio local, sendo os demais analisados sob a supervisão do responsável pelo núcleo/base (professores). Nas escolas estes materiais são aproveitados para divulgação em feiras de ciências, reuniões de pais e mestres e, como material didático nas aulas ministradas.

O responsável do núcleo envia os resultados do monitoramento via internet ou de qualquer outra forma para o responsável da base na região, que por sua vez remete para Embrapa Meio Ambiente e ANA, alimentando as bases de dados ambientais geradas pelo sistema de informações ambientais (EcoSiam). Este fluxo de informações é retroalimentado e permite a identificação de áreas problemáticas, em um tempo muito curto, possibilitando ações mitigadoras mais rápidas.

Na Figura 9 pode-se observar a distribuição espacial e a formação em rede da base principal da região e núcleos interligados com os respectivos pontos amostrais.

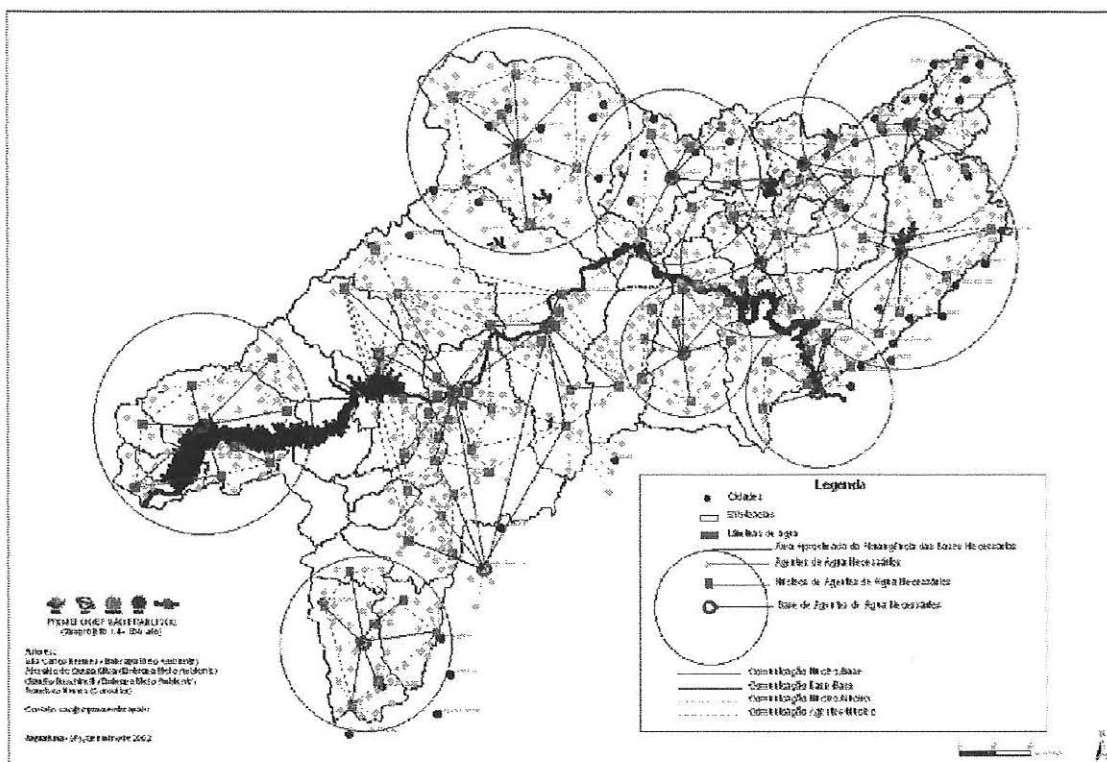


Figura 9. Núcleos de Inventário do Uso Sustentável da Água e estimativa do número de Núcleos e de Agentes de Água Voluntários, necessários para as 35 sub-bacias da Região do Submédio do Rio São Francisco.

Bases e monitores formados na região

Na região do Submédio do rio São Francisco as atividades foram concentradas em cinco bases localizadas em Juazeiro, Curaçá, Campo Formoso no estado da Bahia e Perímetro Irrigado de Bebedouro e Petrolina no estado de Pernambuco onde foram formados quarenta e seis núcleos (grassroots) de monitoramento, com aproximadamente 321 agentes formados.

BASE	NUCLEOS	AGENTES
CURAÇÁ	5	63
PETROLINA	6	71
BEBEDOURO	5	44
JUAZEIRO-I	25	106
CAMPO FORMOSO	5	37
TOTAL	46	321

Para todos os grupos formados a meta principal apontada foi o repasse da metodologia para outros grupos de pessoas de modo a atingir o maior número de fontes de água de cada região, possibilitando um diagnóstico mais preciso de forma que as respostas sejam adequadas e eficientes.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALVARGONZALEZ, R. **O desenvolvimento do Nordeste árido**. Fortaleza: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, 1981. 111 p. v.1. Perfil do Nordeste árido.
- 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.
- AUSTRÁLIA. Environment Australia. **State of the Environment Australia reporting**. Disponível em <<http://www.environment.gov.au/soe>>. Acesso em: 23 jun. 2000.
- BARBIERI, P.; ADAMI, G.; PISELLI, S.; GEMITI, F.; REISENHOFER, E. A three-way principal factor analysis for assessing the time variability of freshwaters related to a municipal water supply. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Amsterdam, v. 62, p. 89-100, 2002.
- BRASIL. Ministério do Interior. **Plano de desenvolvimento integrado do Vale do São Francisco**. Rio de Janeiro: Development and Resources Corporation, 1974. v.1. Recursos.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei da vida: a lei dos crimes ambientais**. Brasília, 2000. 38 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Política nacional de recursos hídricos: lei no. 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Brasília: MMA/ABEAS, 1997. 33 p.
- BUSSAD, W. de O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. de. Introdução à análise de agrupamentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABE, 1990. 106 p.
- CODEVASF. **Cadastro da fruticultura irrigada**. Brasília, 2001. CD-ROM.
- 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.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows, version 2.0**. Worcester: Clark University, 1995.
- EDWARDS, C. A.; LAL, R.; MADDEN, P.; MILLER, R. H.; HOUSE, G. (Ed.). **Sustainable agricultural systems**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society; Delray Beach: St. Lucie Press, 1990. 696 p.
- ESI: 2002 Environmental Sustainability Index. Disponível em <http://www.ciesin.columbia.edu/indicators/esi>. Acesso em: 15 maio 2002.
- ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Watershed Information Network: index of watershed indicators**. Disponível em <<http://www.epa.gov/iwi>>. Acesso em: 27 out. 1999.
- FU-LIU, X.; JORGENSEN, S.E.; TAO, S. Ecological indicator for assessing freshwater ecosystem health. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 116, p. 77-106, 1999.
- GARCIA-BADELL, J. J. **La contaminación y el equilibrio ecológico**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 238 p.
- GARJULLI, R. **Oficina temática: gestão participativa dos recursos hídricos – Relatório final**. Aracajú: PROÁGUA/ANA, 2001. 95 p.

- GÓMEZ OREA, D. **Evaluación de impacto ambiental**. 3. ed. Madrid: Editorial Agrícola Española, 1998.
- GRANDE, N.; ARROJO AGUDO, P.; MARTÍNEZ GIL, J. (Coord.). **Una cita europea con la nueva cultura del agua: la directiva marco – perspectivas en Portugal y España; II Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas**. Zaragoza: Institución “Fernando el Católico”, 2001. 600 p.
- GREGORY, P. J. et al. Environmental consequences of alternative practices for intensifying crop production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p. 279-290, 2002.
- IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2002**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 191 p. (Estudos e Pesquisas. Informação Geográfica, 2).
- JUDEZ ASENSIO, L. **Técnicas de análisis de datos multidimensionales: bases teóricas e aplicaciones en agricultura**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación – Secretaria General Técnica, 1989.
- LAL, R. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos; tradução e adaptação Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 3).
- LAMPRECHT, J. L. **ISO 14000: directrices para la implementación de un sistema de gestión medioambiental**. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación, 1997. 282 p.
- L'ETAT de l'environnement dans la communauté europeenne. Bruxelles: CCE, 1992. 85 p.
- MARCHANT, R.; WELLS, F.; NEWALL, P. Assessment of an ecoregion approach for classifying macroinvertebrate assemblages. **Journal of the North American Benthological Society**, Washington, v.19, n. 3, p. 497-500, 2000.
- NAÇÕES UNIDAS. 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: jan. 2002.
- OLIVEIRA, T. S. de; ASSIS JR., R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R.C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 406 p.
- PESSOA, M. C. P. Y.; SILVA, A. de S.; CAMARGO, S. P. **Qualidade e certificação de produtos agropecuários**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 188 p. (Textos para Discussão, 14).
- PROJETO GEF SÃO FRANCISCO: WORKSHOP DE REPROGRAMAÇÃO, Recife, 2002. **Relatório final**. Recife: ANA: GEF: UNEP: OEA, 2002. 81 p.
- RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 43, p. 1541-1552, 1977.
- RILEY, J. Multidisciplinary indicators of impact and change key issues for identification and summary. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 87, p. 245-259, 2001.
- RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa: fundamentos, princípios e introdução à metodologia**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. 66 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 14).
- SEMINÁRIO POPULAÇÃO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UNIRIO, 2000. 390 p.

THAME, A. C. de M. (Org.). **A cobrança pelo uso da água**. São Paulo: IQUAL, 2000. 256 p.

TROLIER, L. J.; PHILLIPSON, W. R. Visual analysis of Landsat Thematic Mapper for hydrologic land use and cover. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 52, n. 9, p. 1531-1538, 1986.

VITERBO JR., E. **Sistema integrado de gestão ambiental**: como implementar um sistema de gestão que atenda à norma ISO 14.001, a partir de um sistema baseado na norma ISO 9000. São Paulo: Aquariana, 1998.

WATER resources setor strategy: strategic directions for World Bank engagement: draft for discussion of march 25, 2002. [s.l.]: World Bank, 2002. 71 p.

WORKSHOP DE REPROGRAMAÇÃO DO PROJETO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO - Projeto GEF São Francisco. Recife, 2002.