

## Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL)

Luiz Carlos Hermes  
Cláudio César de Almeida Buschinelli  
Ronilton Evandro Machado  
Célia Maria Maganhotto de Souza Silva  
Elisabeth Francisconi Fay

Para a construção do perfil ecológico (IP\_ECOL) foram calculados vários índices intermediários elaborados a partir dos dados coletados em campo e do tratamento digital da base cartográfica. Os índices derivados da base cartográfica digital e das imagens de satélite são expressos com a terminação SAT. A seguir, descrevem-se os índices da base cartográfica e os derivados do monitoramento da qualidade das fontes de água e de outras estimativas elaboradas a partir dos questionários e avaliações de campo.

### 3.1. Índice de Cobertura Vegetal (ICV\_SAT)

O ICV\_SAT deriva do Índice de Vegetação (IV), parâmetro normalmente utilizado para estimativa da densidade de biomassa verde na superfície terrestre, por meio do processamento digital de imagens de satélite (Richardson & Wiegand, 1977). Os valores de IV são obtidos pela razão entre a intensidade de luz refletida pela superfície nas faixas espectrais do infravermelho e do vermelho. Tal razão, normalmente expressa numa escala entre 0 (zero) e 255, obedece a relação de que quanto maior o valor, mais densa e vigorosa será a biomassa vegetal presente (Huete, 1985).

Romanowicz et al. (1993) consideraram o IV útil para a avaliação da capacidade da bacia hidrográfica em retardar o escoamento superficial, reter os sedimentos e minimizar os efeitos da erosão laminar. É importante, também, para o levantamento de remanescentes florestais e demais formações vegetais existentes no território, bem como para identificação de áreas irrigadas.

A região do Submédio São Francisco apresentou valores de IV bastante baixos, característicos de zonas de clima semi-árido. Os valores originais médios do IV das sub-bacias foram escalonados entre 0 e 1 e, posteriormente, submetidos às análises estatísticas para a geração do Índice de Cobertura Vegetal (ICV\_SAT). Este índice foi agrupado em quatro classes de valores: ICV\_SAT elevado (cor azul), ICV\_SAT alto (cor verde), ICV\_SAT regular (cor amarela) e ICV\_SAT baixo (cor vermelha) (Fig. 3.1).

O mapa temático da Fig. 3.1 revela uma grande variação na cobertura vegetal da região. Os valores mais elevados de ICV\_SAT ocorrem em dois setores distintos, no extremo sudeste e no extremo sudoeste do Submédio e, provavelmente, ocupam zonas de transição com outros biomas ou recebem influência de massas de ar mais úmidas vindas do sul e sudeste.

No extremo sudeste existe um grupo compacto de sub-bacias com ICV\_SAT elevado, formado pelas sub-bacias do Rio Moxotó (8), Riacho do Navio (9), Riacho S. Domingos (10), Riacho da Posse (11), Médio Baixo Pajeú (12) e Baixo Pajeú (13). Na porção sudoeste, destacam-se as sub-bacias do Riacho Basaú (27), Riacho do Morim (32), Alto Salitre (33) e Vereda da Canavieira (34).

O grupo formado pelas sub-bacias com alto valor de ICV\_SAT encontra-se mais fragmentado que a categoria anterior, e suas sub-bacias estão situadas nos limites do Submédio, demonstrando forte dependência do relevo, caso da Chapada do Araripe e das sub-bacias do Riacho da Brígida (1) e Médio Alto Pajeú (5); ou por influência de condições mesoclimáticas, caso da Barragem de Sobradinho e das sub-bacias do Riacho do Mocó (21) e Riacho Tanque Real (23), entre outras.

As áreas com índice regular de cobertura vegetal, coloridas em amarelo no mapa, apresentam alguma tendência de agregação, estando principalmente concentradas na porção central do Submédio, com destaque para as sub-bacias do Riacho Terra Nova (3), Riacho S. Cristóvão (4), Riacho Ipueira (14) e Riacho das Graças (18). No outro extremo da escala de avaliação, encontra-se somente uma sub-bacia com valor baixo de ICV\_SAT, a sub-bacia do Riacho Poção (35), representada em vermelho no mapa.

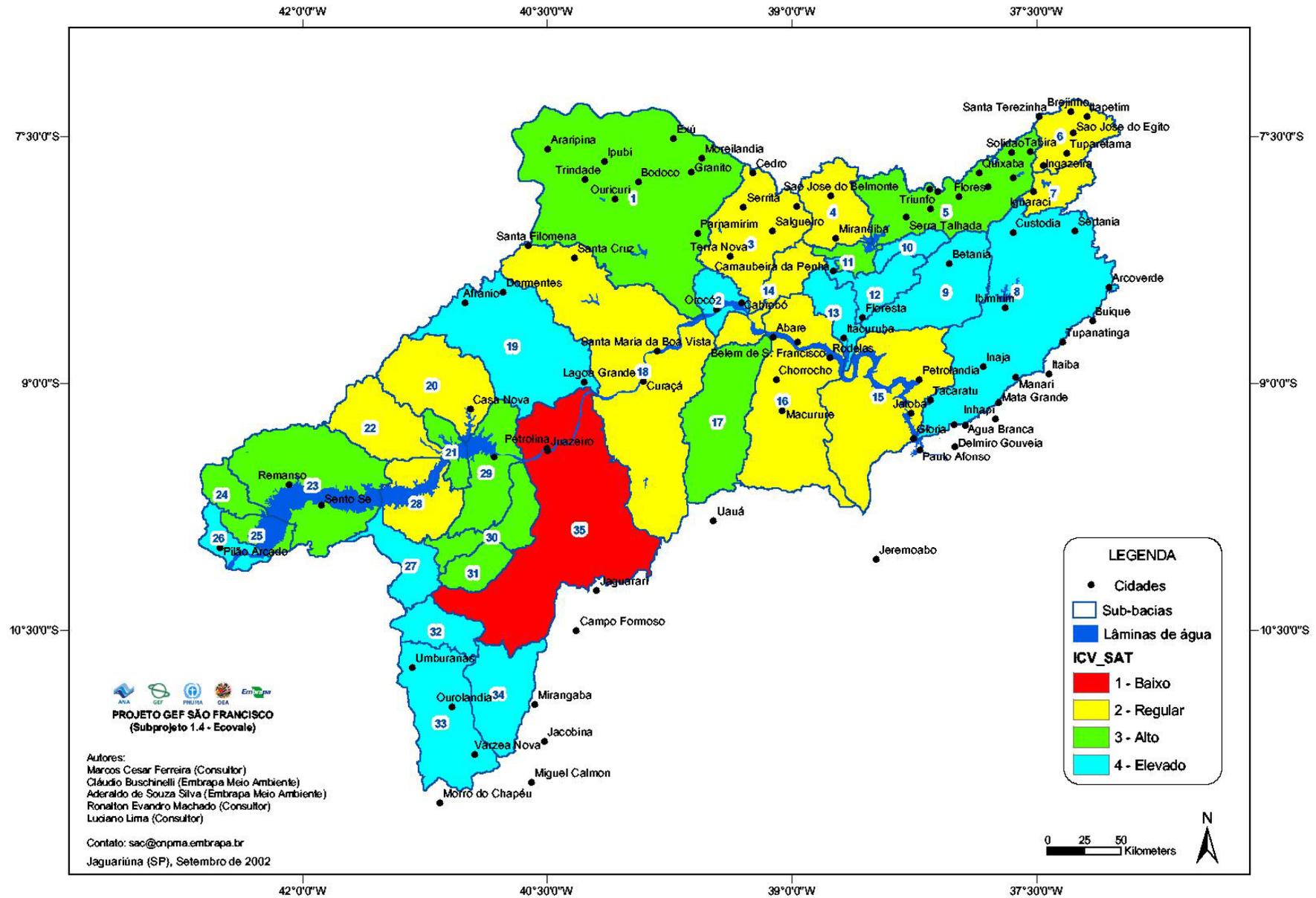


Fig. 3.1. Índice de cobertura vegetal (ICV\_SAT) em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

### 3.2. Índice de Degradação Potencial dos Solos (IDS\_SAT)

A regionalização de sub-bacias hidrográficas para fins de zoneamento ambiental é geralmente realizada com base em grupos de variáveis espaciais, indicadoras de condições favoráveis e desfavoráveis a impactos no meio físico, em especial sobre os recursos hídricos. Vários autores destacam a importância destas avaliações espaciais, tanto pela versatilidade como pela rapidez das análises digitais realizadas sobre a base cartográfica (Romanowicz et al., 1993; Howard, 1990; Ferreira, 1997).

Para a composição do IDS\_SAT, foi utilizado um conjunto de variáveis que influíram na potencialidade dos processos erosivos. O Índice de Relevância informa sobre a capacidade da sub-bacia em retirar solo das vertentes, embora isoladamente não contemple informações sobre a eficiência da rede de drenagem em transportar os sedimentos erodidos das encostas. A erodibilidade de uma sub-bacia deve também incluir elementos que possibilitem uma associação entre a energia potencial do relevo e a densidade de rios.

Nesse sentido, foi elaborado um novo índice, derivado do Índice de Erodibilidade Potencial -IEP, que associa o Índice de Relevância (IRL) ao Índice de Escoamento Fluvial (IEF). O IEP é definido pela seguinte equação:

$$IEP = 100.IEF.IRL \quad (1)$$

Este índice, calculado para cada sub-bacia, originou, por sua vez, o Índice de Degradação Potencial dos Solos (IDS\_SAT) após o tratamento estatístico, representado espacialmente na Fig. 3.2. O mapa é dominado pelas cores azul e verde, representando as sub-bacias com grau de degradação potencial dos solos baixo e regular, respectivamente.

As sub-bacias agrupadas na classe amarela do mapa e com valores regulares de IDS\_SAT são bem menos representativas em número, estando próximas da porção sudoeste do Submédio, como as sub-bacias do Riacho Basaú (27) e Riacho do Morim (32), ou na porção centro-norte, como a sub-bacia do Riacho da Posse (11).

Elevado IDS (cor vermelha) é apresentado por uma unidade de sub-bacia com elevada susceptibilidade à erosão, trata-se da sub-bacia do Baixo Sobradinho (29), exatamente onde está localizada a Barragem de Sobradinho.

Em complemento às informações que constam da Fig. 3.2, confeccionaram-se mapas hipsométricos de sub-bacias, respectivamente com alto, médio e baixos valores de Índice de Relevância e de Índice de Erodibilidade. Esses mapas foram obtidos por meio de interpolação de curvas de nível obtidas de cartas topográficas na escala 1:100.000, posteriormente convertidos em modelos digitais de altitudes e representados segundo categorias altimétricas. O Índice de Relevância (IRL) mostra que as sub-bacias mais predispostas a desencadear processos de escoamento rápido nas encostas são Médio Baixo Sobradinho (28), Riacho do Morim (32), Alto Salitre (33), Pilão Arcado (26) e Baixo Salitre (30), além de Riacho S. Domingos (10), Riacho da Posse (11) e Médio Baixo Pajeú (12), entre outras.



### 3.3. Índice de Densidade Urbana (IDU\_SAT)

A região do Submédio difere demograficamente, de forma marcante, de outras áreas dentro da Bacia do rio São Francisco, como a do Alto São Francisco. As sub-bacias do Submédio São Francisco não se constituem em porções do território brasileiro cuja presença urbana seja um fato relevante. São, por outro lado, exemplos de sub-bacias com baixos valores de área urbanizada, dado o perfil eminentemente rural dessa região do Nordeste brasileiro, e sua expressão espacial é um fator importante na avaliação global da exploração do território.

O parâmetro primário usado é o Índice de Urbanização (IUB), que é definido pela razão entre a área urbanizada ( $A_{ub}$ ) e a área superficial da sub-bacia ( $A_b$ ), e expresso em valores percentuais:

$$IUB = (A_{ub}/A_b).100 \quad (2)$$

O índice de Densidade Urbana (IDU\_SAT), apresentado na Figura 3.3, deriva do IUB após o tratamento estatístico, demonstrando o predomínio de sub-bacias com valores baixos (cor azul) e regular (cor verde) de adensamento urbano, já que estas cores sobressaem no mapa.

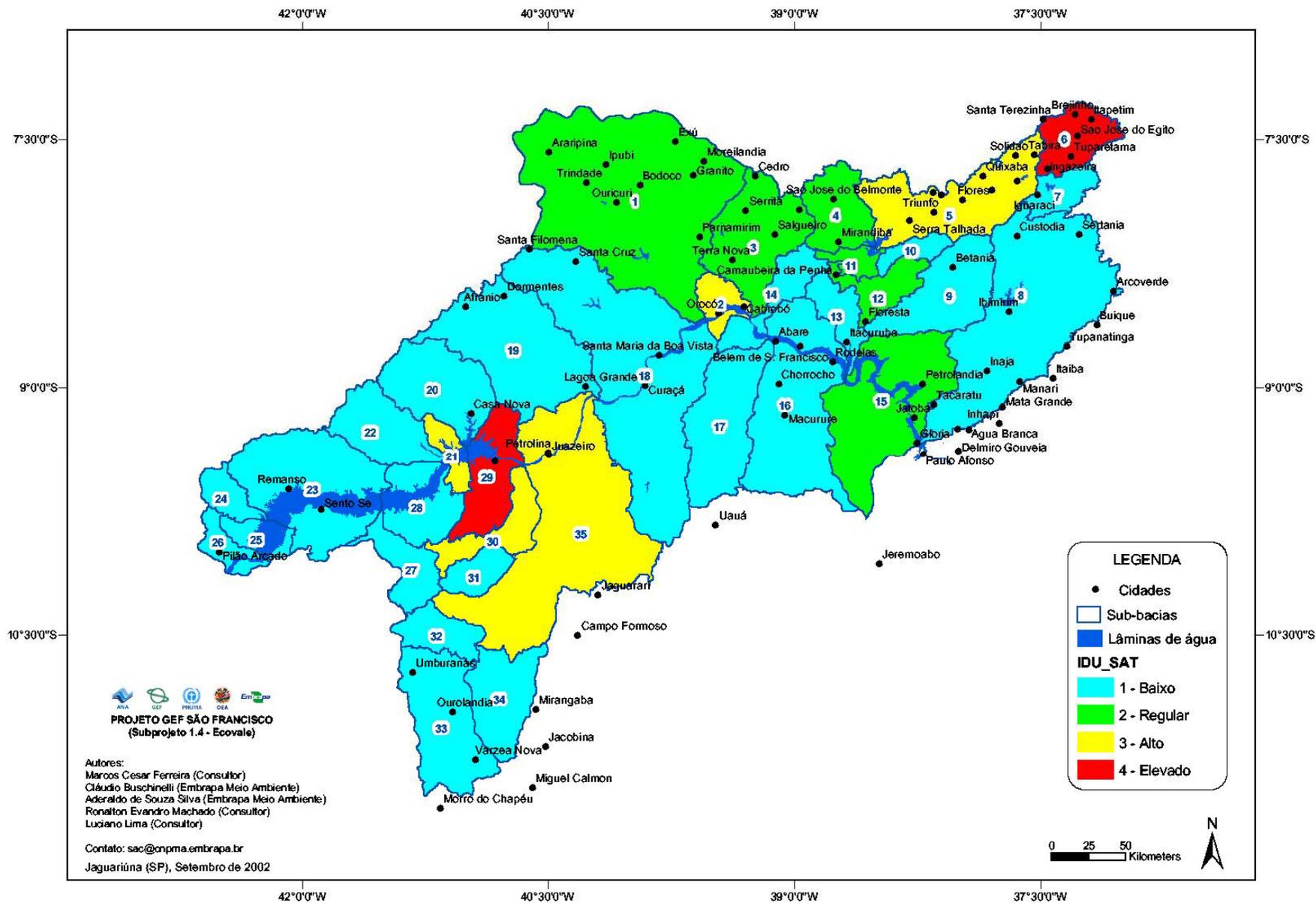


Fig. 3.3. Índice de densidade urbana (IDU\_SAT) em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

As áreas com altos valores (cor amarela) de IDU\_SAT incluem a sub-bacia do Médio Alto Pajeú (5), no nordeste da região, e a sub-bacia Riacho Poção (35), cujo adensamento é diluído pelo tamanho relativo da sub-bacia, mesmo concentrando grandes áreas urbanizadas, como Petrolina e Juazeiro (Figura 3.4).



**Fig. 3.4.** Vista da cidade de Petrolina, PE, a partir da margem direita do São Francisco.

As sub-bacias com valores elevados e representadas em vermelho no mapa são pouco significativas numericamente, incluindo a sub-bacia do Baixo Sobradinho (29), e a sub-bacia do Alto Pajeú (6), com essa última, localizada no extremo nordeste da região, concentrando um número relativamente grande de pequenas cidades em uma pequena área territorial.

Na avaliação de vulnerabilidade aos impactos ambientais em escala de sub-bacias hidrográficas, o Índice de Densidade Urbana é de extrema importância, pois agrega o potencial de geração de poluentes orgânicos, minerais e industriais de alto potencial contaminante. Tal índice pode revelar, inclusive, a predisposição da sub-bacia em contribuir para a alteração do regime de cheias e principalmente interferir no consumo de estoque hídrico de vazante de sub-bacias maiores (Ferreira, 1997).

Em função das limitações climáticas, seja pela baixa entrada de água no sistema hidrológico ou pela rápida saída ocasionada pela ação dos agentes de evaporação (radiação solar, ventos) e baixa capacidade de retenção de água no solo, os baixos valores de IDU\_SAT das sub-bacias da região podem representar impactos de grande magnitude. Isso se deve à fragilidade das sub-bacias situadas em áreas de transição entre o clima tropical e o semi-árido brasileiro.

### **3.4. Índice de Degradação Ambiental Potencial (IDA\_SAT)**

Integrando-se os índices anteriores (ICV\_SAT, IDS\_SAT e IDU\_SAT), calculados para as 35 sub-bacias hidrográficas, obteve-se o Índice de Degradação Ambiental Potencial do Uso da Água (IDA\_SAT), que pode ser utilizado como importante parâmetro de diagnóstico das condições de favorecimento às alterações da qualidade dos recursos hídricos do Submédio São Francisco, além de fornecer um zoneamento das áreas críticas para o monitoramento e gestão ambiental. Após o tratamento estatístico, as sub-bacias hidrográficas foram reclassificadas em quatro categorias de IDA\_SAT: baixo, regular, alto e elevado, com as cores azul, verde, amarela e vermelha, respectivamente (Fig. 3.5).

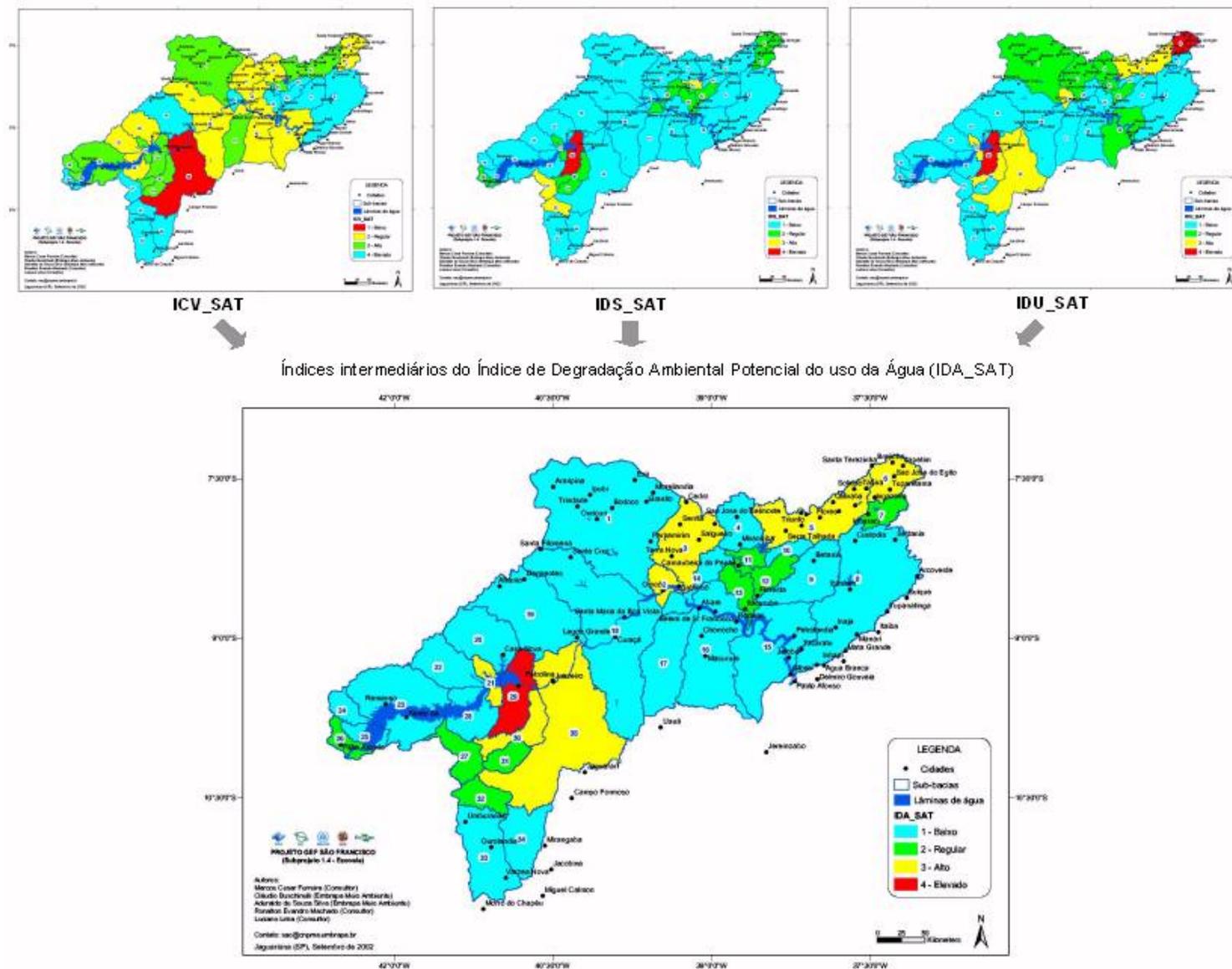


Fig. 3.5. Índice de degradação ambiental potencial do uso da água (IDA\_SAT) em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

Essas categorias (Fig. 3.5) devem ser utilizadas como unidades de gestão e monitoramento ambiental, em um contexto global do Submédio São Francisco, conforme descrito a seguir:

#### **ZONA I - RISCO BAIXO: medidas a serem implementadas em longo prazo**

Esta unidade integra a maior parte da região, ocupando cerca de 88.000 km<sup>2</sup> ou 71% do território do Submédio, o que confere ao mapa um predomínio da cor azul (Figura 3.5.). Reúne um total de 19 sub-bacias, situadas principalmente na porção noroeste e sudeste do Submédio São Francisco, definindo uma zona contínua formada pelas sub-bacias do Riacho da Brígida (1), Riacho das Graças (18), Riacho Pontal (19), Riacho Campo Largo (20), Riacho Grande (22), Riacho Tanque Real (23), dentre outras situadas ao redor da Barragem do Sobradinho, e as sub-bacias do setor sudeste: Riacho da Vargem (17), Alto Itaparica (16), Riacho Barreira (15), Riacho do Navio (9) e Rio Moxotó (8). Recomenda-se, para essa zona, a adoção de medidas preventivas em longo prazo, quanto à regeneração e à preservação da cobertura vegetal original, à normalização da ocupação rural em encostas mais íngremes e a programas de monitoramento da qualidade da água.

Trata-se de uma zona apta à implantação de unidades de conservação (áreas de proteção ambiental) associadas aos programas de educação ambiental voltados à população local.

#### **ZONA II - RISCO REGULAR: medidas a serem implementadas de médio a longo prazo**

Com menor expressão geográfica, em relação a anterior, ocupando cerca de 9.230 km<sup>2</sup> ou 7% do território analisado, esta unidade inclui oito sub-bacias representadas em verde no mapa (Figura 3.5). Estas sub-bacias se concentram em dois setores distintos. No extremo oeste, estão as sub-bacias do Pilão Arcado (26), Riacho Basaú (27), Rio Pacuí (31) e do Riacho do Morim (32); e, na porção centro-leste, destacam-se as sub-bacias do Riacho da Posse (11), Médio Baixo Pajeú (12) e Baixo Pajeú (13). Sendo área de transição entre as zonas de baixo e alto risco, as sub-bacias do Riacho do Pau do Fumo (7) e Riacho do Morim (32) atuam como zonas tampão, evitando que as sub-bacias situadas na Zona I sofram os impactos das sub-bacias em estado mais crítico, devido à expansão urbana ou ocupação de encostas (Figura 3.5).

As mesmas recomendações feitas para a Zona I são válidas para esta unidade, havendo, no entanto, necessidade de um maior cuidado e intensidade de mecanismos de controle e gestão ambiental, em função da relativa vulnerabilidade apresentada pela capacidade de suporte das sub-bacias aos impactos ambientais presentes.

#### **ZONA III - RISCO ALTO: medidas a serem implementadas em médio prazo**

Esta unidade (Fig. 3.5), segunda em importância geográfica por ocupar 25.016 km<sup>2</sup> ou 20% da região, está representada no mapa, na cor amarela. As sete sub-bacias desta categoria estão distribuídas por distintas zonas, sendo reconhecidas em três grandes manchas compactas. A maior delas reúne as sub-bacias do Riacho Poção (35) e do Baixo Salitre (30), na porção sudoeste. A segunda mancha é formada pelas sub-bacias do Médio Alto Pajeú (5) e Alto Pajeú (6), no extremo nordeste da região. O terceiro grupo é formado pelas sub-bacias do Riacho Paredão (2) e Riacho Terra Nova (3), situadas no norte do Submédio.

Vale destacar a maior concentração de pequenas cidades, embora dispersas pelo território das sub-bacias destas duas últimas manchas, o que pode representar maior potencial de degradação e de conflitos de interesse no uso dos recursos naturais disponíveis. Recomenda-se, para essa zona, a implantação, em médio prazo, de medidas mitigadoras de impactos, que favoreçam a qualidade da água, tais como: estações de tratamento de efluentes domésticos, reposição da mata ciliar, medidas de contenção da erosão laminar e programas de educação ambiental.

#### **ZONA IV - RISCO ELEVADO: medidas a serem implementadas em curto prazo**

Esta unidade está formada por uma única sub-bacia, Baixo Sobradinho (29), e ocupa pouco mais de 2.500 km<sup>2</sup> ou 2% do território total. Porém, por estar situada na porção inicial do Submédio, ou seja, a montante da maior concentração urbana da região, ocupa um local estratégico para as comunidades instaladas a jusante.

Recomenda-se para essa zona de alto risco à degradação ambiental, a adoção de políticas públicas urgentes com a finalidade de corrigir os efeitos da urbanização, da erosão, uso e ocupação intensiva dos solos, do lançamento de efluentes urbanos e industriais em áreas de mananciais, entre outras medidas corretivas. Também são medidas urgentes e recomendáveis: implantação de sistemas de monitoração da qualidade da água; adoção de políticas de saúde pública e saneamento; e projetos de educação ambiental. Essas medidas devem ser tomadas em um contexto global de gestão do território, envolvendo diversos atores e parcerias, organismos internacionais, organizações não-governamentais e órgãos governamentais ligados à saúde, meio ambiente, habitação e educação.

### **3.5. Índice de Qualidade Ambiental do Uso das Águas Superficiais (IQU\_ASUP)**

No ciclo hidrológico, a água sofre alterações na qualidade, em condições naturais, em razão das inter-relações dos componentes do ambiente. Isto é consequência da utilização dos recursos hídricos para o suprimento das demandas dos núcleos urbanos, das indústrias e da agricultura, e das alterações dos solos urbano e rural.

A principal ferramenta analítica utilizada para a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na região do Submédio São Francisco foi a sonda multiparâmetros, dotada de sensores específicos, que medem "in loco" diferentes parâmetros de qualidade das águas, conforme apresentado na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Parâmetros avaliados por sonda multiparâmetro e suas respectivas unidades.

Parâmetro	Temperatura	Condutividade Elétrica	Sólidos Totais Dissolvidos	Salinidade	Oxigênio Dissolvido	Profundidade	pH
Unidade	°C	uS cm <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>	g L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	m	
Parâmetro	Potencial Redox	Ion Amonio	Amônia	Cloreto	Nitrato	Turbidez	Clorofila-a
Unidade	mV	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	NTU	ug L <sup>-1</sup>

O mapa apresentado na Figura 3.6, mostra a localização dos 2.136 pontos de amostragem, georreferenciados, utilizados no inventário da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da região em estudo. Os mananciais superficiais foram sub-divididos em dois grupos principais: os localizados na calha do rio São Francisco, somando um total de 50 amostras ilustradas por círculos verdes; e o grupo referente aos demais tributários e açudes das sub-bacias representados por círculos azuis, somando 103 pontos. Já as águas subterrâneas, representando um total de 1.983 pontos, são ilustradas por triângulos laranja. Em todos estes pontos foram analisados os parâmetros apresentados na Tabela 3.1. Entretanto, em locais onde as análises da sonda e a observação do entorno indicavam provável presença de carga orgânica e/ou industrial, também foram monitorados dados bacteriológicos (quadrados roxos) e metais pesados (pentágonos vermelhos).

Observa-se no mapa que existiu uma boa cobertura territorial dos pontos amostrais, havendo uma maior concentração de coleta de amostras de água nos locais de elevado consumo e exploração do recurso natural.

Dentro do universo dos dados de qualidade das águas superficiais, o Fator 1 (fator principal, apontado pela análise estatística rotacional) reúne os parâmetros de condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, cloreto e íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). No Fator 2, estão amônia ( $\text{NH}_3$ ), pH, temperatura e oxigênio dissolvido. Esses fatores são extremamente interdependentes e contribuem fortemente para a determinação do estado de desequilíbrio em diversos locais. Por último, como Fator 3, têm-se: turbidez, clorofila-a e nitrato.

Na Fig. 3.7, são apresentados os teores de sais dissolvidos (STD) das fontes hídricas superficiais amostradas. Estes valores foram muito mais elevados fora da calha do rio. Esta é uma característica típica de corpos de água em regiões semi-áridas, onde os solos normalmente possuem teores elevados de sais. Esses valores foram mais acentuados junto às áreas de drenagem dos perímetros irrigados, localizados próximos ao rio São Francisco, abrangendo desde Casa Nova na sub-bacia do riacho Campo Largo (20), passando por Petrolina e Juazeiro na região central e estendendo-se com bastante intensidade até a sub-bacia do Riacho Paredão (2) em Cabrobó. Avançando mais para o extremo sudoeste, estes valores diminuíram, nas áreas do Riacho Barreira (15) onde a irrigação é menos intensa, voltando a aumentar na região de Petrolândia.

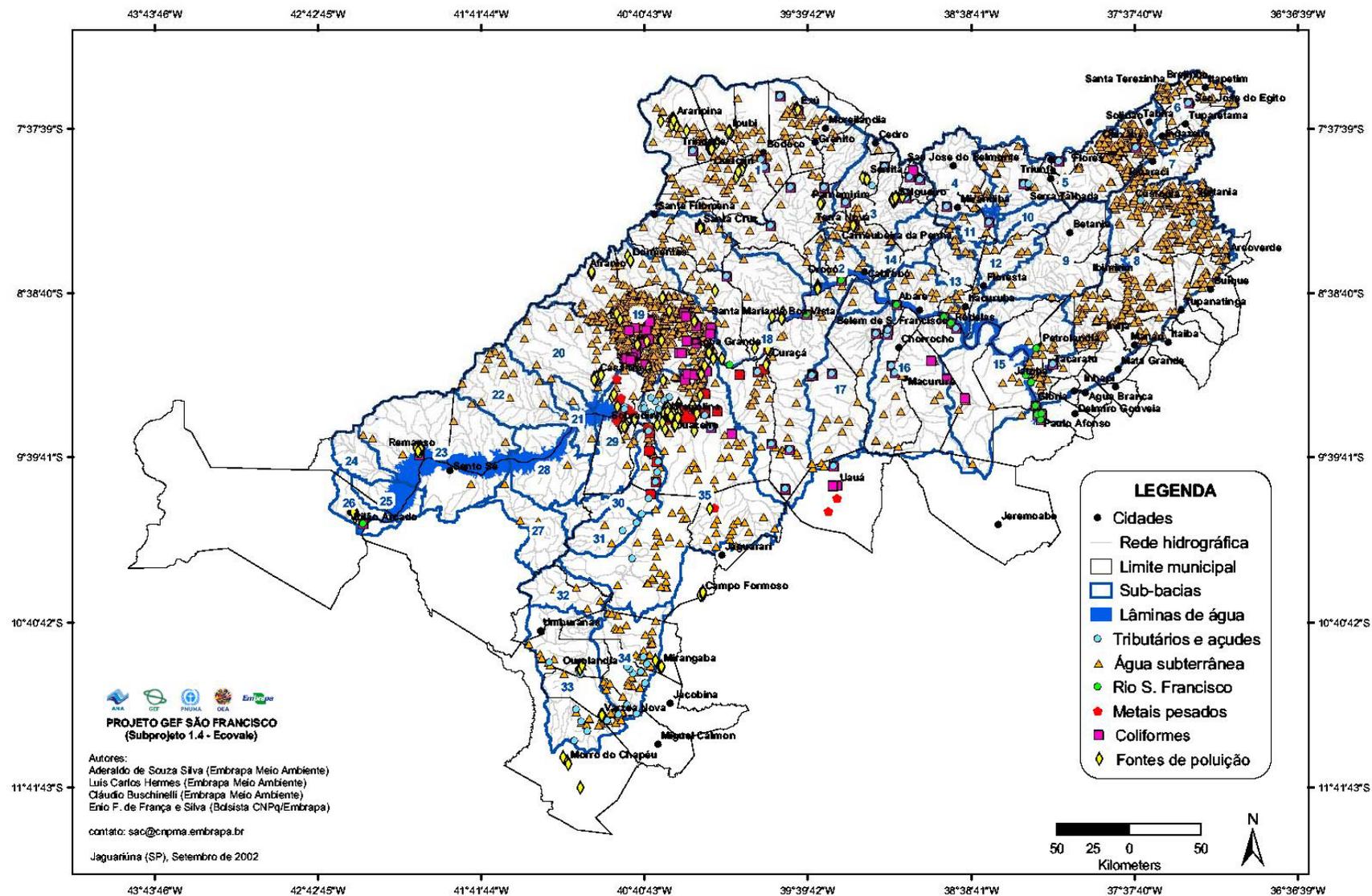


Fig. 3.6. Localização georreferenciada dos pontos de amostragem, fontes de poluição e inventário das fontes de água da região do Submédio São Francisco.

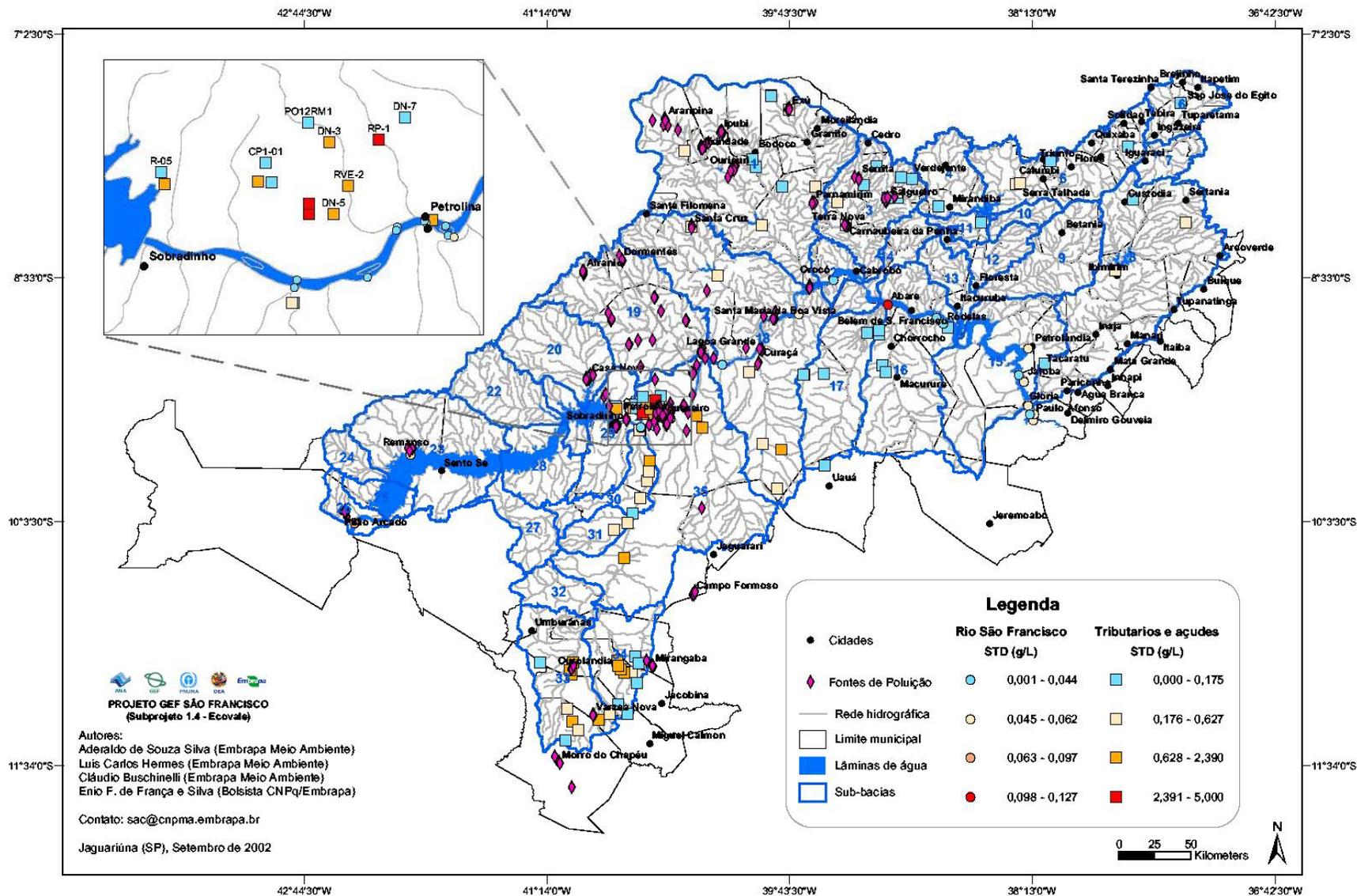


Fig. 3.7. Qualidade das águas superficiais na região do Submédio São Francisco em função dos resultados das análises de STD.

A Fig. 3.8 apresenta em maior detalhe a rede hídrica da microbacia do Riacho Vitória, a qual serve como rede de drenagem para um dos maiores perímetros de irrigação no município de Petrolina, o Senador Nilo Coelho.



**Fig. 3.8.** Perímetro irrigado na microbacia do Riacho Vitória, Petrolina, PE.

Por esta microbacia passam canais de irrigação que alimentam os lotes de produção (Fig. 3.9). Nestes canais a concentração de sais esteve próxima a da área de captação principal na barragem de Sobradinho ( $0,04 \text{ g L}^{-1}$  de STD). Nestas áreas, onde ocorre influência direta da propriedade e onde o manejo da água não está em equilíbrio com o sistema de produção, ocorre uma perda grande de sais, podendo em alguns locais exceder a  $5,0 \text{ g L}^{-1}$ .

O uso dessas águas, sob condições inadequadas de manejo, produz uma gradativa salinização dos solos, principalmente ocasionada por problemas de falta drenagem. Isto provoca um aumento progressivo de áreas-problemas no curso de drenagem natural das sub-bacias hidrográficas, notadamente no período das chuvas. Nessa época, estas águas são carregadas para o rio São Francisco, interferindo no tratamento das mesmas para consumo humano e para ictiofauna, fauna e flora, normalmente presentes.

A sub-bacia do rio Salitre, localizada na região sudoeste do Submédio São Francisco, possui uma área de  $13.468 \text{ km}^2$ , englobando os municípios de Mirangaba, Ourorândia, Várzea Nova e Umburanas. Fora de sua área estão as sedes municipais de Morro do Chapéu, Jacobina, Miguel Calmon, Campo Formoso e Juazeiro.

Nesta sub-bacia, predominam rochas dos grupos Bambuí e Chapada Diamantina, seguida dos Calcários, Caatinga e manchas dos grupos de rocha Jacobina, Cabrobó e Salitre, na extremidade norte. São muito comuns, na região, grandes grutas e sumidouros onde o rio Salitre e alguns afluentes desaparecem e voltam a aparecer em outro local (Fig. 3.10, 3.11. e 3.12.). Onde o rio ressurge, normalmente as águas são barradas, beneficiando apenas o proprietário da terra. A jusante, as comunidades dependem da água empoçada pela chuva ou das fontes subterrâneas. Em outros locais, a vazão é diminuída para aumentar o volume e facilitar o bombeamento para áreas irrigadas, principalmente no baixo Salitre. É uma região com muitos conflitos em relação ao uso e a "propriedade" da água. Situação, esta, comum nas microbacias de Caatinga do Moura, Taquari, Junco e de Campo dos Cavalos, localizadas na área de transição das sub-bacias do Baixo Salitre (30) e sudoeste da sub-bacia do riacho Poção (35).



**Fig. 3.9.** Riacho Vitória, tendo ao fundo os perímetros irrigados e o Rio São Francisco.



**Fig. 3.10.** Minadouro de água na sub-bacia do Salitre, município de Ouroândia, BA.



**Fig. 3.11.** Trecho perenizado do Salitre, município de Ouroândia, BA.



**Fig. 3.12.** Leito seco do Salitre, município de Várzea Nova, BA.

Os principais tipos de exploração na sub-bacia são a agricultura e a mineração, enquanto os problemas de saneamento estão mais presentes nos distritos, uma vez que as sedes municipais localizam-se, em sua maioria, fora da sub-bacia. É o que acontece no Baixo Salitre, onde as águas são, eventualmente, bombeadas do rio São Francisco e armazenadas em barragens sucessivas.

A região do Alto Salitre, onde estão localizados os municípios de Morro do Chapéu, Mirangaba, Ouroândia e Várzea Nova, apresentou uma maior dispersão das fontes de água, com variações nos teores de sais.

Os riscos de salinização dos solos foram medidos através da quantidade de sais dissolvidos presentes na água ou pela condutividade elétrica (CE) da água de irrigação. Para que não ocorra risco de salinização nos solos, estas medidas não devem exceder  $0,45 \text{ g L}^{-1}$  de sais dissolvidos (equivalente a  $0,70 \text{ dS m}^{-1}$ ). No entanto convém lembrar que, dependendo do tipo de solo (por exemplo: solos argilosos/siltosos e rasos) e do manejo da irrigação (aplicação de volume de água excessivo), o solo pode vir a tornar-se salino, mesmo quando irrigado com uma água de salinidade inferior a  $0,70 \text{ dS m}^{-1}$ . Os resultados obtidos demonstraram que, no período das chuvas, a quantidade de sais dissolvidos STD variou de  $0,23 \text{ g L}^{-1}$ , em um poço jorrante (Fig. 3.13), a  $1,87 \text{ g L}^{-1}$  na água coletada em um lago, localizado a montante de uma área irrigada. A água para irrigação na entrada das parcelas irrigadas apresentava quantidade de sais de  $1,06 \text{ g L}^{-1}$ , enquanto no final da área irrigada era de  $1,03 \text{ g L}^{-1}$ . Pelo sistema adotado, as águas passam de uma área para outra; e, portanto, são altos os riscos para salinização dos solos (Fig. 3.14).



**Fig. 3.13.** Poços jorrantes em Caatinga do Moura.



**Fig. 3.14.** Área de Irrigação em Caatinga do Moura.

A região norte da sub-bacia onde se localizam os municípios de Ouricuri, Araripina, Trindade, Ipubí, dentre outros, é uma região de exploração de gesso, ocorrendo grande dissipação atmosférica de pó de gesso. Isto pode contribuir para que as águas superficiais apresentem um maior teor de sais dissolvidos, em concentrações limites para o consumo humano ( $\leq 0,5 \text{ g L}^{-1}$ ) (CONAMA, 1986).

No sudeste, a partir dos municípios de Curaçá, Verdejante e Macururê, a qualidade das águas superficiais dos açudes e tributários apresentou uma tendência de redução dos níveis de salinidade das águas. Apenas alguns locais excederam  $0,175 \text{ g L}^{-1}$  de sais dissolvidos.

Na calha do rio São Francisco também ocorreram variações significativas na quantidade de sais dissolvidos. Em 1.365 determinações, que abrangeram desde o município de Pilão Arcado, no extremo oeste do Submédio São Francisco, até o município de Paulo Afonso, no extremo sudeste, os valores médios encontrados foram de  $0,042 \text{ g L}^{-1}$ . Os valores mínimos foram distribuídos na maioria dos pontos da calha do rio, mas os valores mais significativos foram encontrados nas margens.

No extremo oeste, distrito de Passagem, município de Pilão Arcado, os sais foram detectados em concentrações de  $0,700 \text{ g L}^{-1}$ . A jusante das cidades de Petrolina e Juazeiro, os valores foram, respectivamente,  $0,200$  e  $0,120 \text{ g L}^{-1}$ . Estes apresentaram estabilidade a partir de Lagoa Grande.

No sentido leste, a jusante de Abaré, ocorreu novo incremento, chegando a  $0,105 \text{ g L}^{-1}$ . No extremo sudeste, de Petrolândia, localizada às margens da barragem de Itaparica, até Paulo Afonso estes valores mantiveram-se num patamar acima da média, sendo o maior valor encontrado a jusante de Itaparica ( $0,173 \text{ g L}^{-1}$ ).

É interessante observar que em alguns pontos onde foram obtidos os maiores valores de sais na água, também foram observados menores valores de oxigênio dissolvido (OD), indicando aporte de material orgânico a jusante das cidades de Petrolina, Juazeiro e Abaré. Outros locais mantiveram o nível de OD alto apesar de apresentarem STD elevado.

Determinações qualitativas de coliformes totais e fecais foram realizadas em 125 pontos da região. Estas análises foram mais concentradas na região central da sub-bacia

abrangendo os municípios de Petrolina e Juazeiro. Deste universo amostral, 33,6% indicaram a presença de coliformes totais e 20,8% de coliformes fecais. As dificuldades de acesso às áreas interioranas não permitiram a realização de um maior número de pontos, uma vez que há a necessidade de envio rápido das amostras para o laboratório localizado em Recife, PE.

Recentemente, foi desenvolvida a técnica de análise por fitas com meio de cultura liofilizado, o que possibilitará a avaliação quantitativa dos coliformes totais sem necessidade de laboratório especializado. Isto permitirá atender toda a região, o que poderá influenciar inclusive o quadro final da distribuição qualitativa das sub-bacias amostradas.

Variações constantes de pH são indicadores de desequilíbrios da carga iônica em corpos de água, indicando que o sistema natural de tamponamento não está em funcionamento. As variações do pH também interferem no uso que se pretende dar a esta água. Na agricultura, onde a água é utilizada em tanques de pulverização para diluição de agrotóxicos, especialmente os inseticidas organofosforados, valores de pH acima de 8,0 provocam a hidrólise das moléculas com perda da eficiência na aplicação e custo desnecessário para o produtor.

Na piscicultura, valores de pH e temperaturas elevados favorecem a transformação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) para a amônia total ( $\text{NH}_3$ ), a qual em baixas concentrações é letal para peixes (0,2 a 2,0 mg L<sup>-1</sup>). Este fato explicou algumas ocorrências de mortandade de alevinos em estações de piscicultura na região.

Na região do Submédio, a partir da barragem de Sobradinho, foram observados valores diferenciados de pH entre as margens direita e esquerda do rio São Francisco. Na margem esquerda, correspondente ao lado pernambucano, os valores aferidos foram sempre acima de 8,5. Já, na margem direita (Bahia), estes valores estiveram entre um mínimo de 7,7 e 8,0. Esta tendência foi observada até a montante do perímetro irrigado de Bebedouro, ainda no município de Petrolina (Fig. 3.15).

Na calha do rio, os valores de pH ficaram entre 6,9 e 8,9, com média de 7,95, não apresentando variações significativas, apesar destes valores estarem em escala logarítmica de 10. Assim, pequenas variações podem ser muito expressivas em fatores de estabelecimento de impactos (Fig. 3.15).

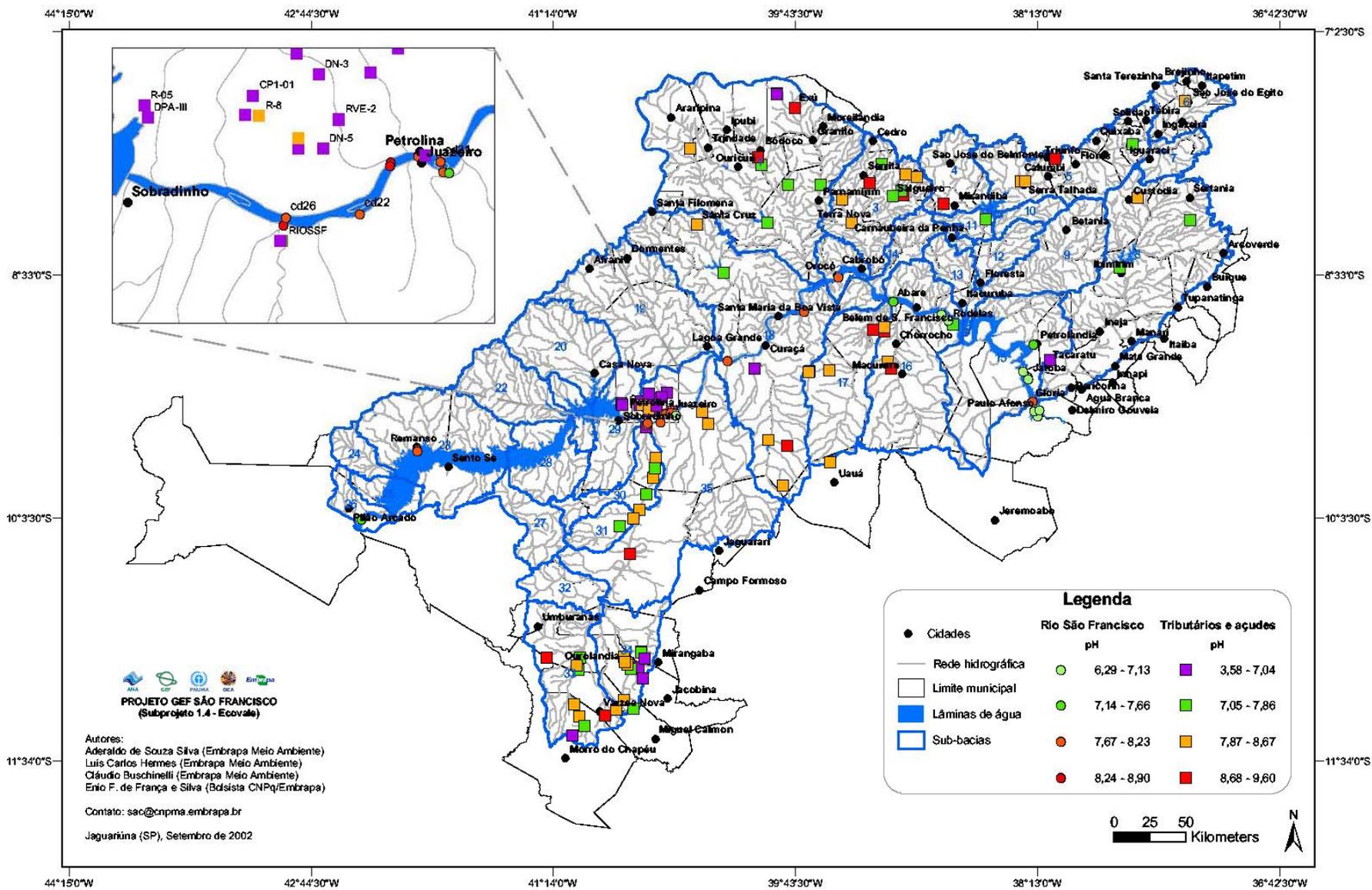


Fig. 3.15. Qualidade das águas superficiais na região do Submédio São Francisco, em função dos resultados das análises de pH.

Fora da calha do rio São Francisco também são encontradas variações de pH nos corpos de água. Como são pontos isolados e devido às secas, podem refletir a própria característica geológica da região.

Em outros casos, principalmente em barragens novas onde ainda permanece uma grande quantidade de material verde, os valores foram superiores a 9,0. Em outros locais, esses valores estiveram abaixo de 5,0, como no caso de alguns pontos no Alto Salitre, em que as águas apresentaram cor característica (Fig. 3.16) de indicação da presença de ácidos, produtos da decomposição da matéria orgânica.



**Fig. 3.16.** Sumidouro de barragem no Alto Salitre.

As análises das águas superficiais, obedecendo ao critério de sua distribuição espacial, mostraram diferenças significativas de acordo com os fatores agrupados. Na Fig. 3.17, observa-se a distribuição da qualidade das águas superficiais em suas respectivas sub-bacias hidrográficas. As cores azul, verde, amarela e vermelha representam áreas de fontes de água com elevada, alta, regular e baixa qualidade.

Dos 73 municípios localizados no Submédio São Francisco, 56,16% estão dentro da faixa de elevada qualidade da água (cor azul), 28,77% estão na faixa alta (em verde) e 15%, em faixas mais críticas (em amarelo e vermelho). Os municípios de Petrolina, Araripina e Macururê estão localizados nas áreas em vermelho, de baixa qualidade da água.

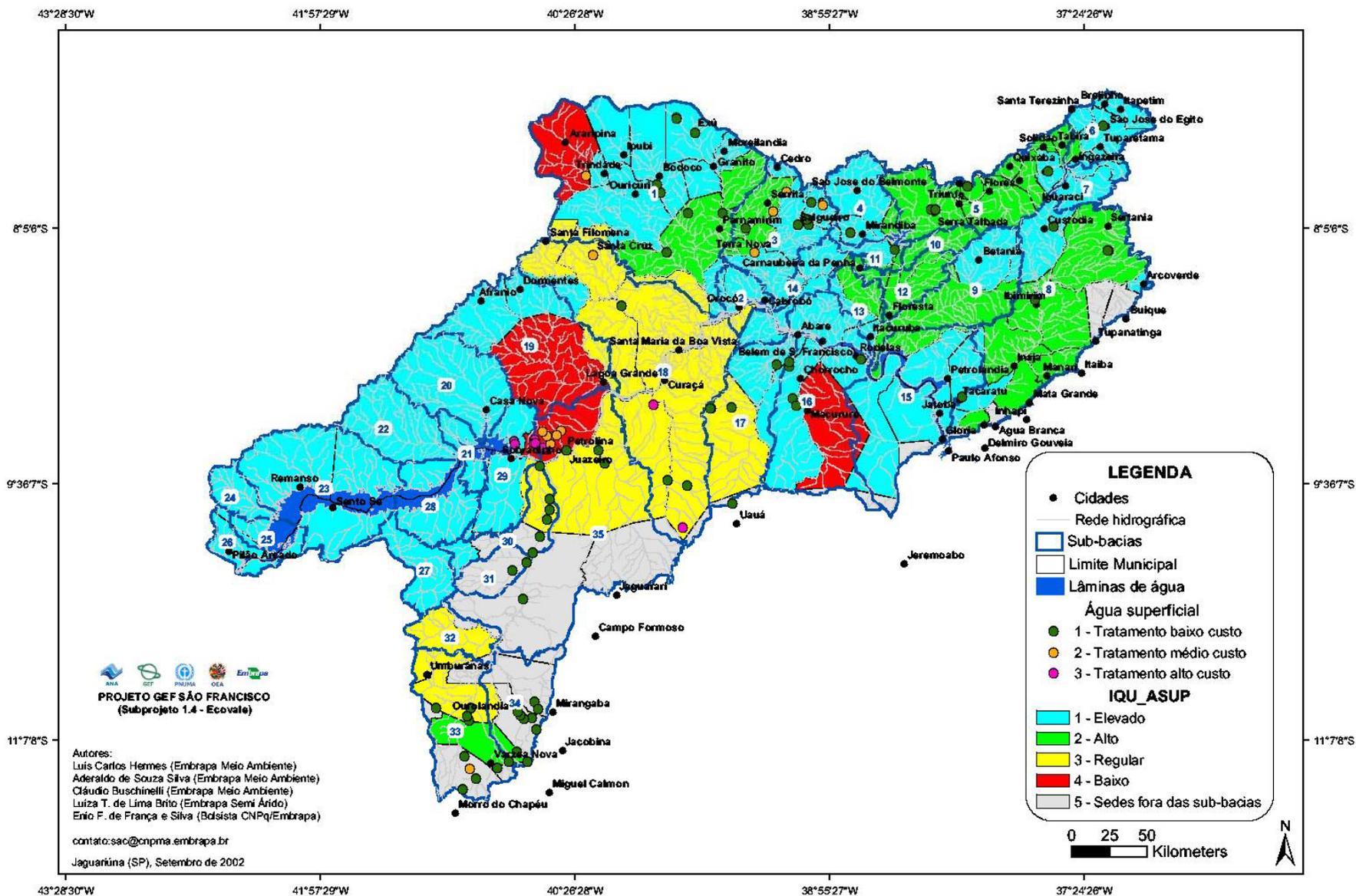


Fig. 3.17. Índice de Qualidade Ambiental do Uso das Águas Superficiais (IQU-SUP) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

Também na Fig. 3.17, observa-se a distribuição dos pontos onde foram realizadas as análises obedecendo aos agrupamentos citados. Nas áreas de drenagem dos sistemas de produção irrigados, a cor vermelha é predominante, o que classifica estas águas como muito dispendiosas para tratamento visando o consumo humano. Neste caso, haveria necessidade de desinfecção e filtração, além de remoção de sais.

Nos pontos amarelos, observa-se uma menor concentração de sal, porém, outros fatores também contribuem para que o custo de tratamento seja elevado, principalmente para áreas cujas comunidades são mais isoladas e carentes. Nos pontos verdes, o tratamento pode ser simplificado, sendo o processo de fervura e cloração da água os mais indicados, tendo como reforço a filtração.

### 3.6. Índice de Qualidade Ambiental do Uso das Águas Subterrâneas (IQU\_ASUB)

Os lençóis de águas subterrâneas são formados principalmente pelas águas da chuva, que se infiltram nos poros dos solos e rochas, fissuras e/ou fendas intercomunicantes das camadas rochosas. Sua composição está na dependência de fatores naturais – geológicos, topográficos, hidrológicos e biológicos e rede de drenagem, variando com as diferentes estações do ano em volume de escoamento e nível de água.

Na região do semi-árido brasileiro a maioria das águas disponíveis em aquíferos são consideradas salobras ( $>0,5$  e  $<30$  g L<sup>-1</sup> de sais totais dissolvidos). A Fig. 3.18 apresenta esta distribuição na região do Submédio.

As medições da qualidade das águas subterrâneas foram realizadas com sondas multiparâmetros, sendo apontadas pela análise estatística multivariada as variáveis sólidos totais dissolvidos e salinidade como as mais significativas para caracterização dessas águas. A análise de “cluster” classificou a qualidade das águas em quatro condições, sendo a cor azul demonstrativa de elevada qualidade, tendo tido representatividade em 24,65% dos municípios da região do Submédio. A salinidade dessas águas variou de 0,14 a 0,42 g L<sup>-1</sup> de sal, o que as classifica como águas doces, pela resolução do CONAMA (1986). Em *lato senso* “água-doce” significa sistemas aquáticos continentais, tais como rios e lagos, e, tecnicamente, designa águas com menos de 0,5 g L<sup>-1</sup> de sais minerais dissolvidos.

As demais regiões do Submédio São Francisco foram classificadas como regiões de águas salobras de baixa concentração de sais, assim demonstradas: alto grau de qualidade (cor verde), qualidade regular (amarela) e baixa qualidade (vermelha), com teores acima de 2,0 g L<sup>-1</sup> de sais dissolvidos.

A distribuição das regiões conforme a massa de sal dissolvido na água subterrânea gera um quadro de informações bastante útil, quando se trata de melhorar a qualidade para consumo humano, priorizando o processo de dessalinização como o da osmose inversa.

A Fig. 3.18 também demonstra a distribuição dos poços avaliados quanto ao grau de sais dissolvidos e ranqueados quanto à possibilidade de instalação de dessalinizadores. Considerando uma eficiência de dessalinização de 50%, esses equipamentos possibilitariam a elevação do grau de qualidade das águas, diminuindo as concentrações de sais para teores inferiores a 0,5 g.L<sup>-1</sup> (água doce).

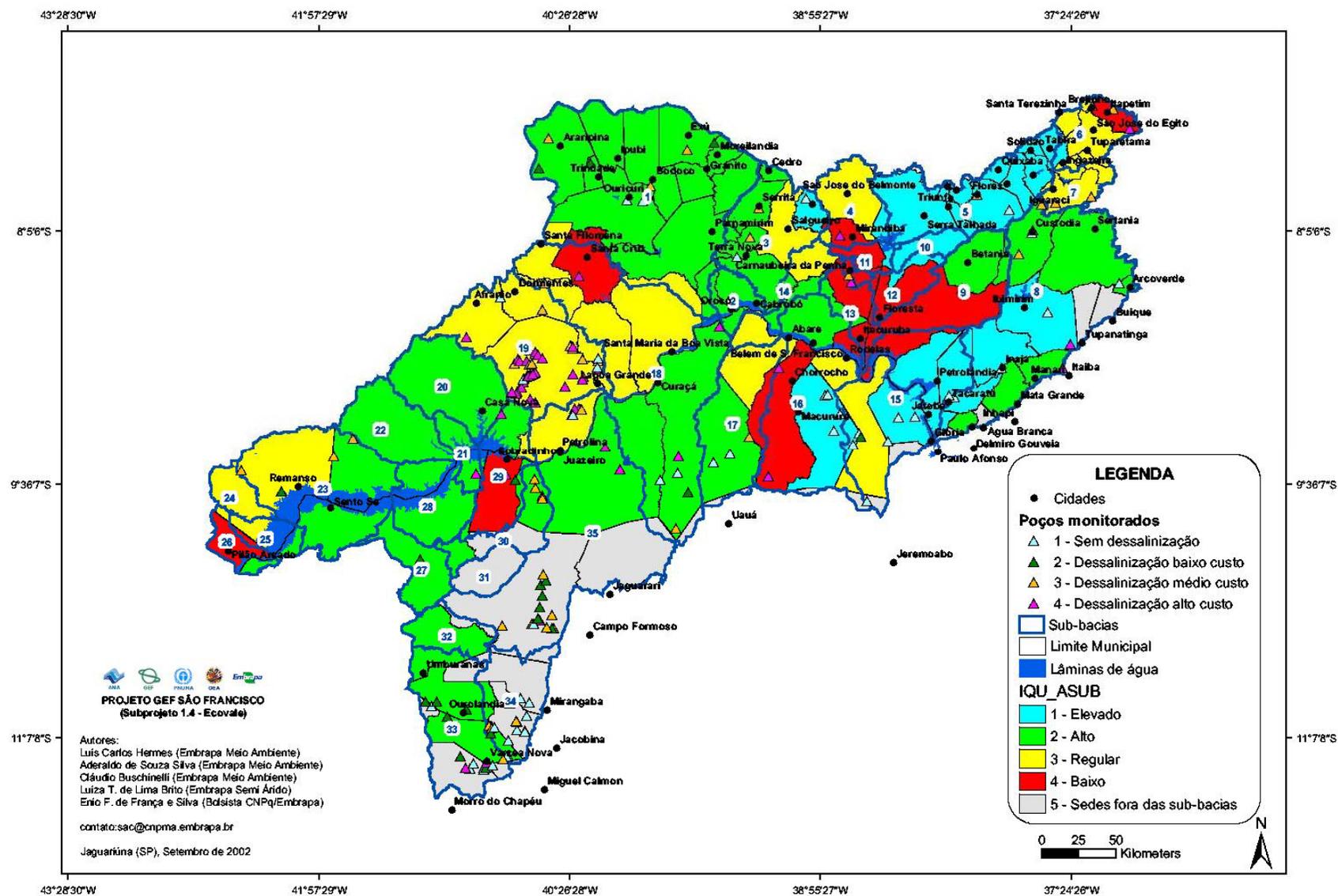


Fig. 3.18. Índice de Qualidade Ambiental do Uso das Águas Subterrâneas (IQU-SUB) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

### 3.7. Índice de Carga Potencial de Agrotóxicos da Fruticultura Irrigada (ICA\_FRUT)

A contaminação ambiental pode ser resultado de fontes pontuais e difusas. Não existe uma distinção clara entre as duas, pois uma fonte difusa em escala regional pode resultar em um grande número de fontes pontuais. Um exemplo claro é o uso de agrotóxicos na agricultura irrigada. Caso seja analisado em uma bacia, pode ser considerado como difusa, já se for considerado dentro de uma parcela explorada pode ser interpretado como uma fonte pontual. Uma diferença importante entre as duas fontes é que a fonte pontual, como por exemplo, a emissão de efluentes de um curtume, pode ser retirada, tratada ou controlada.

Como as fontes difusas são formadas por várias fontes pontuais, para controlá-las é necessário atuar em cada fonte pontual individualmente, ou ainda, traçar manejos e práticas integradas que venham a reduzir o efeito impactante dessas fontes.

As principais fontes pontuais de poluição das águas naturais originam-se das descargas de efluentes doméstico e industrial ou de certas atividades como a pecuária. A deposição atmosférica de poluentes também ocasiona poluição difusa na água.

O Índice de Carga de Agrotóxicos da Fruticultura (ICA\_FRUT) foi composto de acordo com o grau de toxicidade dos produtos usados e da dosagem aplicada do ingrediente ativo para as principais fruteiras da região. Considerando as informações coletadas em 403 propriedades com fruticultura irrigada (CODEVASF, 2001) e os produtos potencialmente contaminantes, foi elaborada uma base com os seguintes dados: produtos utilizados, frequência de aplicação por ano e quantidades aplicadas por hectare. Posteriormente, foi determinada a carga parcial de agrotóxicos para as culturas preponderantes na região (uva, manga, coco, banana, goiaba), levando-se também em conta a toxidez dos produtos aplicados, conforme a equação 3:

$$CPA = QDA * FAD * IT \quad (3)$$

onde:

CPA = Carga parcial de agrotóxicos ( $g \text{ ha}^{-1}$ );

QDA = Quantidade de ingrediente ativo dos agrotóxicos aplicados ( $g \text{ ha}^{-1}$ );

FAD = Frequência de aplicação;

IT = Índice de toxidez do produto (adimensional).

A carga total de agrotóxicos (CTA) foi determinada para cada sub-bacia considerando-se o somatório das cargas parciais das culturas preponderantes e a área cultivada correspondente a cada cultura. Os valores correspondentes às áreas foram extraídos do cadastro da fruticultura irrigada desenvolvido pela CODEVASF (2001). Esse cadastro possibilitou o conhecimento das áreas ocupadas pela fruticultura, considerando cada cultura, bem como o georreferenciamento das propriedades. Desta forma, foi possível determinar as áreas cultivadas para cada cultura em cada sub-bacia hidrográfica.

O Índice de Carga de Agrotóxico da Fruticultura Irrigada (ICA\_FRUT) foi determinado calculando-se o percentual de contribuição de cada sub-bacia na carga total de agrotóxicos aplicados no Submédio São Francisco. Os valores determinados estão apresentados na Figura 3.19, que ilustra classificatoriamente o ICA\_FRUT. Foram ordenados conforme índices que variam de 0 até 1, atribuindo-se uma paleta de cores variando do verde escuro (menor carga) ao vermelho intenso (maior carga), correspondendo de forma crescente à possibilidade dos agrotóxicos aplicados causarem impacto à água.

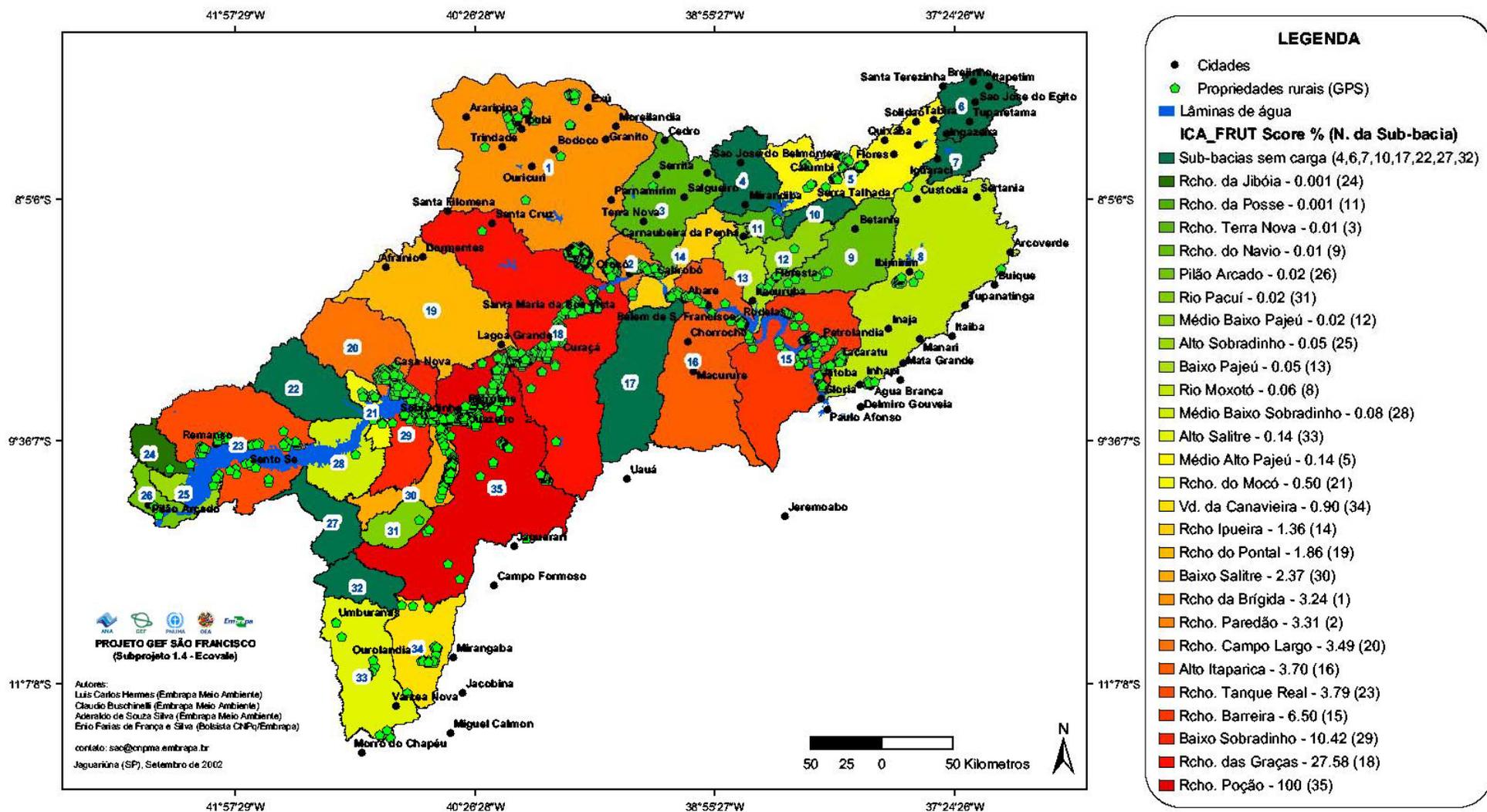


Fig. 3.19. Índice da Carga de Agrotóxicos da Fruticultura Irrigada (ICA\_FRUT) em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

Nos pontos representados por pentágonos verdes, foram localizadas as propriedades rurais georreferenciadas e cadastradas pela CODEVASF (2001). Observa-se grande concentração de propriedades irrigadas ao longo do Rio São Francisco e de seus principais tributários.

As sub-bacias com maior carga de agrotóxicos foram a do Riacho Poção (35), seguida do Riacho das Graças (18) e Baixo Sobradinho (29). Essas formaram uma mancha compacta de tons vermelhos no mapa, exatamente no entorno da maior aglomeração urbana da região (Petrolina e Juazeiro). Tal fato pode refletir negativamente na qualidade das águas superficiais e mesmo subterrâneas, além de potencializar os conflitos pelo uso da água num futuro próximo.

No outro extremo da escala, ficaram as sub-bacias que não comportam propriedades irrigadas em seus territórios, como as do Riacho S. Cristóvão (4), Alto Pajeú (6), Riacho Pau do Fumo (7), entre outras dispersas pelas zonas que não apresentam condições hídricas favoráveis para a implantação de sistemas intensivos de irrigação.

Na faixa intermediária da escala representada na Figura 3.19, destacam-se as sub-bacias do Riacho da Brígida (1), Riacho Paredão (2), Alto Itaparica (16) e Riacho Barreira (15).

### 3.8. Índice do Déficit Hídrico (IDE\_BHID)

O clima da bacia do São Francisco varia de úmido, moderadamente tropical nas elevações do sul a semi-árido na região do Médio e Submédio São Francisco e semi-árido úmido na região do Baixo São Francisco.

Na região do Submédio São Francisco predomina uma agricultura irrigada pujante, em função da fruticultura de exportação, convivendo, lado a lado, com uma agricultura de sequeiro de alto risco, instável e de baixa produtividade. A região apresenta as seguintes características:

- pluviosidade baixa e irregular, em torno de  $750 \text{ mm ano}^{-1}$ , concentrada num período de 3 a 5 meses;
- ocorrem períodos agudos de estiagem, quando a precipitação pluviométrica cai para cerca de  $400 \pm 50 \text{ mm ano}^{-1}$ ;
- as temperaturas são altas, com taxas de evapotranspiração elevadas e balanço hídrico negativo durante a maior parte do ano. A umidade relativa média anual é de 60%;
- a insolação é muito forte ( $2.800 \text{ horas ano}^{-1}$ ) ocorrendo máxima luminosidade no mês de outubro, entre Pilão Arcado (BA) e Petrolândia (PE);
- a evaporação é cerca de  $2.900 \text{ mm ano}^{-1}$  e a velocidade média do vento é de  $3 \text{ m s}^{-1}$  com direção predominante sudeste.
- os solos são oriundos de rochas cristalinas, predominantemente rasos, pouco permeáveis, sujeitos à erosão e de razoável fertilidade natural;
- predomina a vegetação de caatinga, que abrange cerca de  $100 \text{ mil km}^2$ .

Para o cálculo do balanço hídrico da região, foram utilizadas informações provenientes dos arquivos pluviométricos e climatológicos da SUDENE (SUDENE, 1963,1990).

Na análise do balanço hídrico do Submédio São Francisco, observou-se, por meio da análise estatística, método "stepwise", que as variáveis mais significativas, classificadas em ordem decrescente foram: evapotranspiração potencial (ETp) para o mês de maio e para o mês de setembro, precipitação pluviométrica para os meses de julho e novembro, temperatura média do ar para o mês de março, evapotranspiração real (ETr) para o mês de abril e o déficit hídrico para o mês de dezembro.

Com um modelo de regressão linear múltipla, foram analisados todos os parâmetros que fazem parte dos cálculos do balanço hídrico. A Fig. 3.20 apresenta o Índice do Déficit Hídrico (IDE\_BHID) para as 35 sub-bacias desta região, obtido em função dos resultados da análise de agrupamento.

Para efeito de mapeamento, convencionou-se a cor azul para os locais com baixo IDE\_BHID, cor verde para valores regulares, cor amarela para locais com valores altos e a cor vermelha para valores elevados. Observa-se, na Fig. 3.20, a predominância de valores elevados de IDE\_BHID.

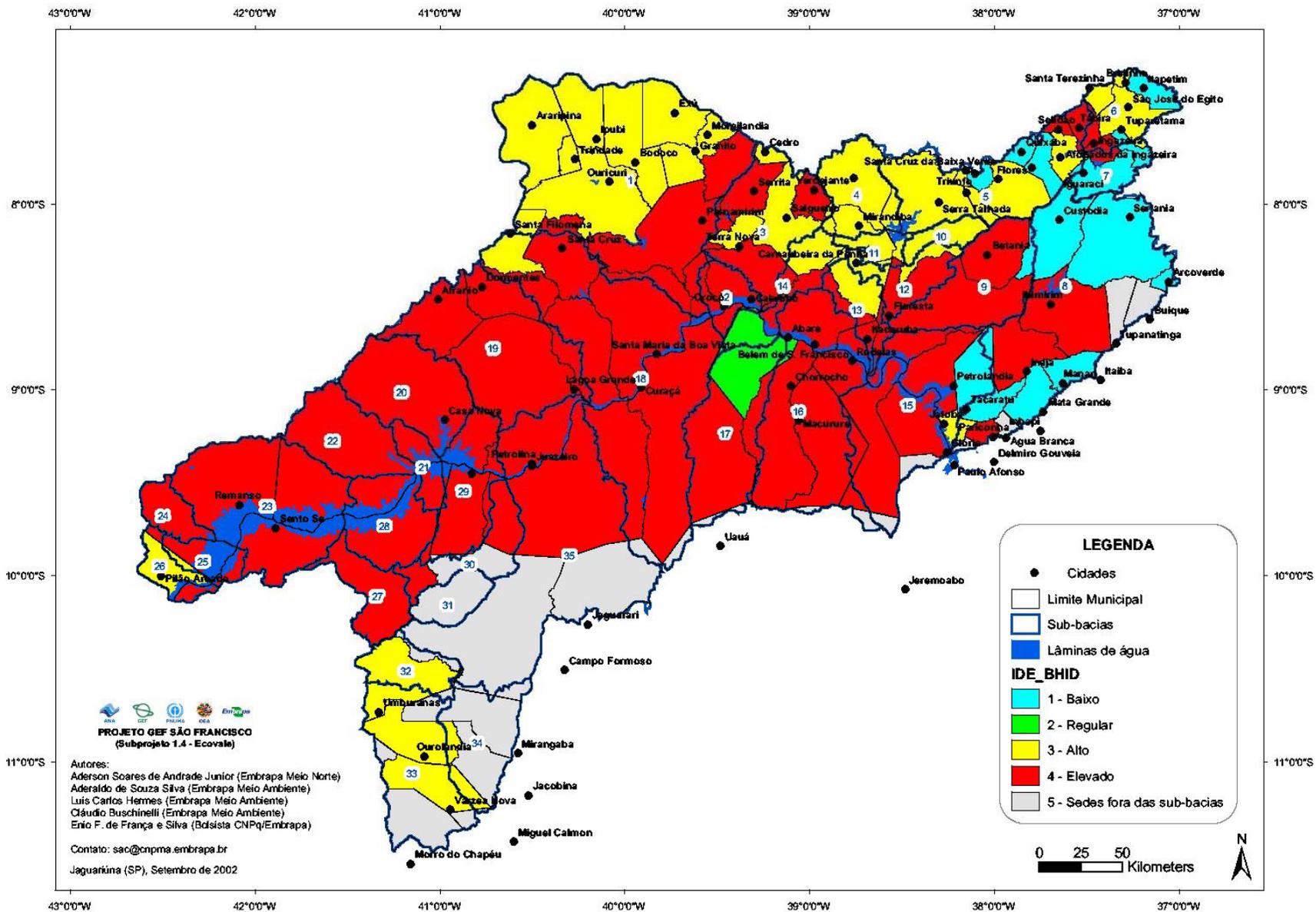


Fig. 3.20. Índice de Déficit Hídrico (IDE\_BHID) em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

### 3.9. Índice de Qualidade Ambiental das Fontes de Água (IQA\_FONTE)

A legislação ambiental vigente nos Estados da Bahia e Pernambuco foi levantada junto aos órgãos competentes (BRASIL, 2000), visando comparar os impactos ambientais que vêm acontecendo nos municípios da região do Submédio São Francisco e o cumprimento da legislação ambiental. Os dados utilizados foram provenientes de diferentes fontes, como Censo 2000 (IBGE, 2002) e levantamentos de campo, realizados em 45 municípios, para verificação e georreferenciamento das fontes pontuais de poluição.

Como resultado, foi observado que, em relação aos serviços públicos municipais (esgotamento sanitário e disposição final de resíduos sólidos), nenhum município da sub-bacia cumpre integralmente a legislação ambiental vigente. Das atividades industriais desenvolvidas na sub-bacia, observou-se que nenhum setor industrial analisado cumpre integralmente os requisitos da legislação ambiental. Com isso, pode-se afirmar que, em relação aos requisitos da norma ISO 14.001, que trata do cumprimento da legislação ambiental, as instalações públicas e privadas da sub-bacia não estão de acordo com a norma.

A Fig. 3.21 apresenta o Índice de Qualidade Ambiental da Fonte de Água (IQA\_FONTE) de 35 sub-bacias e 73 municípios da bacia hidrográfica do rio São Francisco.

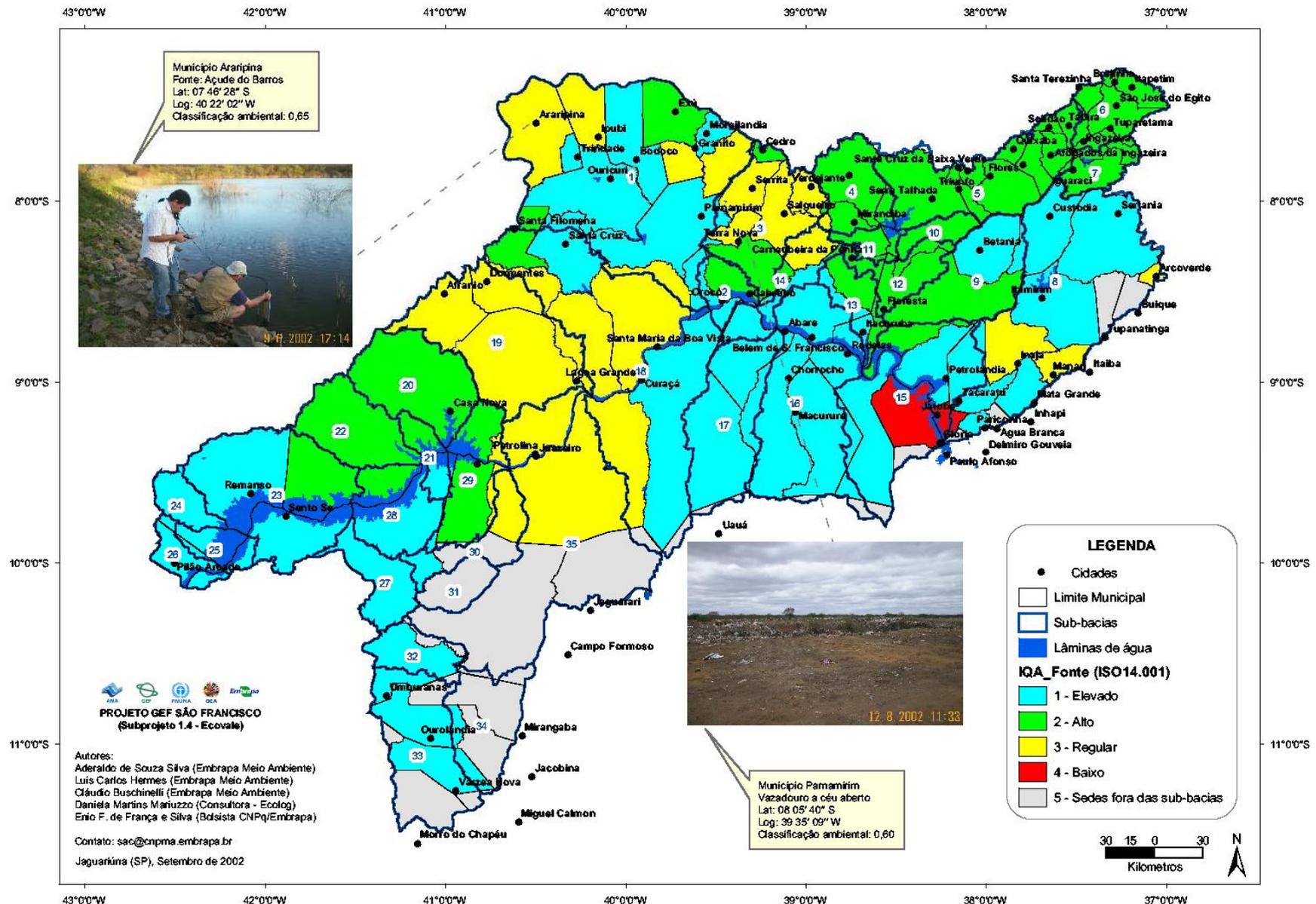


Fig. 3.21 Índice da Qualidade Ambiental das Fontes de Água (IQA\_FONTE) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco, de acordo com a Norma ISO 14.001.

- **Análise das cargas poluentes potenciais**

Partindo das informações obtidas junto aos órgãos oficiais (IBGE, 2002; ANP, 2002; FIEB, 2002; FIEPE, 2002), foram levantados os estabelecimentos existentes na sub-bacia e listados em uma matriz de diagnóstico ambiental, na qual cada um foi qualificado de acordo com o tipo e natureza da instalação, seguindo parâmetros de potencial poluidor. Tal matriz configura-se como uma lista de controle escalar (Rodrigues et al, 1998), auxiliando na avaliação dos impactos ambientais dos estabelecimentos na região, com foco principal nos impactos potenciais na qualidade das águas.

A distribuição dos resultados mostrou que 89,2% dos municípios das 35 sub-bacias hidrográficas do Submédio São Francisco possuem um total de carga poluidora no intervalo de 3,7 a 20,0, sendo que a maior concentração (40%) apresenta valores de carga poluidora em torno de 10,2. Pode-se notar que apenas dois municípios das sub-bacias apresentaram valores elevados (138,4 e 147,9) (Rodrigues et al., 2004).

- **Levantamento dos impactos ambientais causados por instalações rurais**

Os impactos ambientais causados pelas instalações rurais presentes na sub-bacia foram observados por meio de pesquisa de campo (1.161 determinações em fontes de água), bem como de dados obtidos da CODEVASF referentes ao Cadastro da Fruticultura Irrigada (CODEVASF, 2001).

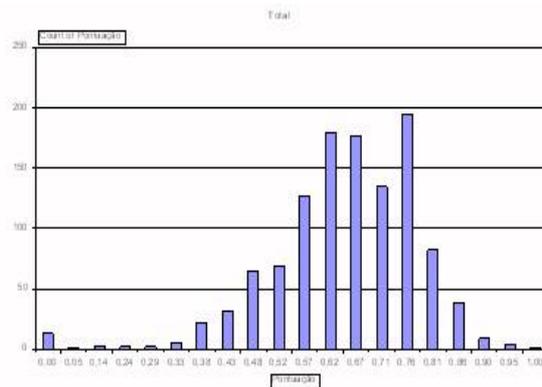
Para cada fonte, foi analisada sua adequabilidade às normas ISO 14.001. Por ser este um fato pioneiro, foi realizada uma análise conjunta das fontes de água e das fontes potenciais de poluição, em todos os municípios estudados (Fig. 3.22).

Do total de fontes cadastradas, 87,77% encontram-se em área rural, fator esse que permitiu uma análise do perfil das propriedades rurais (31,96%) e das residências rurais (55,81%). Os dados foram tratados estatisticamente por análise multivariada e foram introduzidos no banco de dados para a construção do perfil ecológico da região (Fig. 3.23).

A classificação obtida para as 1.161 fontes de água cadastradas considerou o valor 0 (zero) como uma fonte de água que está pouco sujeita aos impactos ambientais e o valor 1 (um) a fonte de água ambientalmente inadequada. Valores intermediários entre 0 e 1 representaram níveis intermediários de susceptibilidade à contaminação. A maioria das fontes avaliadas foi classificada com valores entre 0,57 e 0,76.



**Fig. 3.22.** Avaliação ambiental georreferenciado do destino do lixo no município de Casa Nova, BA, e sua respectiva classificação ambiental.



**Fig. 3.23.** Distribuição da pontuação das fontes de água superficiais e subterrâneas em relação aos requisitos da norma ISO 14001.

Os principais resultados alcançados com a avaliação ambiental das fontes de água e fontes potenciais de poluição, seguindo-se procedimentos recomendados pela norma ISO 14.001, foram:

#### Fontes de água

- Das fontes de água cadastradas, 87,77% encontram-se em área rural;
- Nessas instalações rurais, 51,1% do lixo gerado por trabalhadores e moradores é jogado diretamente no ambiente e 33,4% é queimado;
- A destinação final dos efluentes dos banheiros e de água de lavagem (66,8% e 77%, respectivamente) é o descarte direto no ambiente, a céu aberto;
- 53,8% dos estabelecimentos e residências rurais não tratam previamente a água para consumo;
- 82,1% dos estabelecimentos utilizam algum tipo de produto químico;
- 69,7% das doenças estão relacionadas à febre, gripe e dengue; 19,1% com vômitos e diarreia;
- Em 56,2% das instalações há algum tipo de queimada ou emissão de gases;
- 89,2% das instalações pesquisadas não são atendidas pelo serviço de coleta municipal de lixo.

#### Fontes potenciais de poluição

- Nenhuma instalação industrial possui licença ambiental para funcionamento;
- Nenhuma empresa visitada possui algum tipo de certificação ambiental e nem está se preparando para uma certificação desse escopo;
- 48,3% dos efluentes lançados por essas instalações são compostos por água e matéria orgânica, seguida por 24,1% de água e outros compostos químicos, a base de fosfatos, nitratos, e carbonatos;
- O volume estimado de efluentes lançados diariamente pelas fontes potenciais de poluição cadastradas ficou entre os valores de 1 a 50 m<sup>3</sup>, correspondendo a 81,4% do total;
- Tais efluentes são lançados, em grande parte (42,1%), a céu aberto, e 14,5% são encanados e lançados diretamente no solo;

- 97,2% das empresas visitadas não fazem nenhum tipo de tratamento em seus efluentes antes de lançá-los no ambiente;
- 70,3% das instalações visitadas não fazem nenhum tipo de filtragem dos gases que são emitidos para a atmosfera;
- 51,7% das fontes potenciais de poluição cadastradas descartam o seu lixo diretamente no ambiente e 46,2%, no sistema de coleta da prefeitura;
- Quanto aos resíduos sólidos perigosos, 51,7% das empresas despejam esse material diretamente no ambiente e 42,8% o destinam à coleta não seletiva da prefeitura, sendo a destinação final o lixão.

### 3.10. Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL)

As cem variáveis que caracterizaram o perfil ecológico do Submédio São Francisco foram submetidos à análise fatorial e agrupadas em quatro grandes grupos denominados Fatores, com carga fatorial cumulativa de 45,83:

- 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.

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 cada um dos municípios. Atribuiu-se a eles os Índices 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 e secundário e dos serviços públicos, foi considerada como a causa fundamental do problema que retrata o uso não sustentável da água, segundo o IP\_ECOL no Submédio São Francisco (Tabela 3.2 e Figura 3.24).

**Tabela 3.2.** Hierarquização e classificação de 73 municípios localizados nas 35 sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco em função da construção do Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL).

Rank	Município	UF	Sub-bacia	Zona	Este	Norte	Cluster	Taxa	IP ECOL
1	Floresta	PE	12	24L	547427,965	9049182,088	1	0,017	0,0002
2	Abaré	BA	16	24L	487433,391	9036032,391	2	0,050	0,0005
3	Afogados da Ingazeira	PE	5	24M	650027,496	9142969,099	2	0,083	0,0008
4	Arcoverde	PE	8	24L	714236,625	9068821,395	2	0,116	0,0012
5	Brejinho	PE	6	24M	689145,529	9187220,828	2	0,150	0,0015
6	Cabrobó	PE	2	24L	465843,029	9058807,295	2	0,183	0,0018
7	Calumbi	PE	5	24M	593647,197	9122047,34	2	0,216	0,0022
8	Carnaíba	PE	5	24M	632945,666	9137000,5	2	0,250	0,0025
9	Carnaubeira da Penha	PE	12	24L	528070,177	9080369,975	2	0,283	0,0028
10	Cedro	PE	3	24M	473617,817	9146426,509	2	0,316	0,0032
11	Chorrochó	BA	16	24L	489365,774	9007349,564	2	0,349	0,0035
12	Flores	PE	5	24M	612987,96	9130112,015	2	0,383	0,0038
13	Gloria	BA	15	24L	581802,372	8967647,77	2	0,416	0,0042
14	Granito	PE	1	24M	432171,454	9146999,225	2	0,449	0,0045
15	Ingazeira	PE	6	24M	669850,01	9151164,975	2	0,482	0,0048
16	Ipubi	PE	1	24M	373240,504	9153972,5	2	0,516	0,0052
17	Itacuruba	PE	13	24L	534792,968	9035251,918	2	0,549	0,0055
18	Itapetim	PE	6	24M	699714,319	9183984,009	2	0,582	0,0058
19	Jatobá	PE	15	24L	580281,786	8984789,025	2	0,616	0,0062
20	Lagoa Grande	PE	19	24L	360143,742	9005204,178	2	0,649	0,0065
21	Macurure	BA	16	24L	493643,744	8986590,101	2	0,682	0,0068
22	Manari	PE	8	24L	650755,509	9008820,156	2	0,715	0,0072
23	Mata Grande	BA	8	24L	639273,508	8991874,268	2	0,749	0,0075
24	Mirandiba	PE	4	24L	529767,308	9102356,883	2	0,782	0,0078
25	Moreilandia	PE	1	24M	439174,387	9156436,713	2	0,815	0,0082
26	Orocó	PE	2	24L	448972,427	9054460,236	2	0,848	0,0085
27	Pariconha	BA	8	24L	609284,48	8977009,707	2	0,882	0,0088
28	Petrolândia	PE	15	24L	585762,618	9007321,15	2	0,915	0,0091
29	Quixaba	PE	5	24M	626967,392	9146415,924	2	0,948	0,0095
30	Rodelas	BA	16	24L	525618,431	9022175,988	2	0,982	0,0098
31	Santa Cruz da Baixa Verde	PE	5	24M	593368,102	9135407,665	2	1,015	0,0101
32	Santa Filomena	PE	18	24L	321975,764	9097342,685	2	1,048	0,0105
33	Santa Terezinha	PE	6	24M	667727,579	9184164,836	2	1,081	0,0108
34	São Jose do Egito	PE	6	24M	690378,058	9172899,613	2	1,115	0,0111
35	Sertania	PE	8	24L	691212,222	9107119,016	2	1,148	0,0115
36	Sobradinho	BA	23	24L	299775,029	8954250,643	2	1,181	0,0118
37	Solidão	PE	5	24M	648670,503	9159622,021	2	1,214	0,0121
38	Tabira	PE	5	24M	661086,874	9160626,188	2	1,248	0,0125
39	Tacaratu	PE	8	24L	593455,796	8993359,94	2	1,281	0,0128
40	Terra Nova	PE	3	24L	458598,039	9090248,012	2	1,314	0,0131
41	Trindade	PE	1	24M	360161,389	9141772,222	2	1,348	0,0135
42	Triunfo	PE	5	24M	598999,469	9133461,111	2	1,381	0,0138
43	Tuparetama	PE	6	24M	686247,265	9159275,23	2	1,414	0,0141
44	Umburanas	BA	33	24L	245524,683	8812565,453	2	1,447	0,0145
45	Verdejante	PE	3	24M	503083,778	9123893,653	2	1,481	0,0148
46	Juazeiro	BA	35	24L	335414,557	8959243,741	3	1,531	0,0153
47	Ouricuri	PE	1	24M	380720,926	9128499,227	3	1,580	0,0158
48	Santa Maria da Boa Vista	PE	18	24L	409170,06	9026260,446	3	1,630	0,0163
49	Sento Se	BA	23	24L	183376,658	8921299,613	3	1,680	0,0168
50	Serra Talhada	PE	5	24M	577287,661	9116488,522	3	1,730	0,0173
51	Afrânio	PE	19	24L	279253,518	9058156,845	4	1,797	0,0180
52	Araripina	PE	1	24M	334660,809	9162240,036	4	1,863	0,0186
53	Belém de S. Francisco	PE	16	24L	503718,801	9032318,198	4	1,930	0,0193

continua...

**Tabela 3.2.** Hierarquização e classificação de 73 municípios localizados nas 35 sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco em função da construção do Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL).

Rank	Município	UF	Sub-bacia	Zona	Este	Norte	Cluster	Taxa	IP ECOL
54	Betânia	PE	9	24L	606327,722	9085163,479	4	1,996	0,0200
55	Bodocó	PE	1	24M	396191,058	9140053,987	4	2,063	0,0206
56	Casa Nova	BA	20	24L	283394,363	8986611,581	4	2,129	0,0213
57	Curaca	BA	18	24L	399993,191	9006059,965	4	2,196	0,0220
58	Custodia	PE	8	24L	649477,066	9105741,351	4	2,263	0,0226
59	Dormentes	PE	19	24L	304973,882	9065779,156	4	2,329	0,0233
60	Exu	PE	1	24M	420063,929	9169552,647	4	2,396	0,0240
61	Ibimirim	PE	8	24L	644107,319	9055658,828	4	2,462	0,0246
62	Iguaraci	PE	7	24M	663659,429	9133584,884	4	2,529	0,0253
63	Inaja	PE	8	24L	629275,846	9015775,16	4	2,595	0,0260
64	Ourolândia	BA	33	24L	272329,521	8786479,793	4	2,662	0,0266
65	Parnamirim	PE	1	24L	436241,897	9105607,428	4	2,728	0,0273
66	Petrolina	PE	35	24L	335164,333	8960686,583	4	2,795	0,0279
67	Pilão Arcado	BA	26	23L	773566,25	8893175,64	4	2,861	0,0286
68	Remanso	BA	23	23L	820346,875	8935013,707	4	2,928	0,0293
69	Salgueiro	PE	3	24L	486831,155	9107462,602	4	2,995	0,0299
70	Santa Cruz	PE	18	24L	352949,525	9088885,729	4	3,061	0,0306
71	São Jose do Belmonte	PE	4	24M	526448,349	9130979,874	4	3,128	0,0313
72	Serrita	PE	3	24M	467354,766	9123022,291	4	3,194	0,0319
73	Várzea Nova	BA	33	24L	287964,03	8754684,387	4	3,261	0,0326

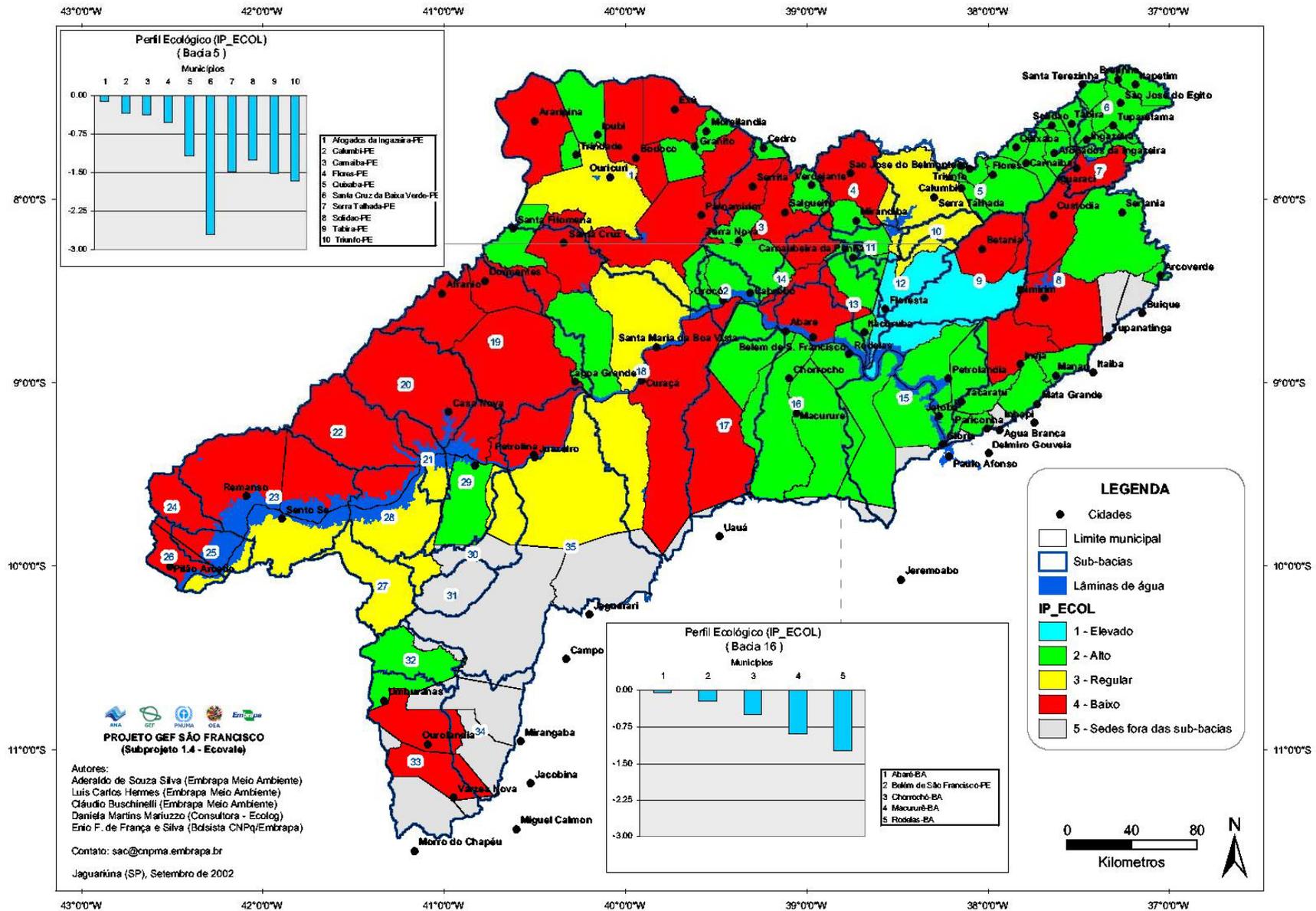


Fig. 3.24. Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL) dos municípios localizados em 35 sub-bacias hidrográficas da região do Submédio São Francisco.

O Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL) elevado, em cor azul, foi atribuído somente ao município de Floresta, caracterizado por Índices de Cobertura Vegetal elevado, Densidade Urbana baixo e Qualidade de Água alto.

Com IP\_ECOL alto (em verde), foram classificados 44 municípios, associados à forma menos intensa de ocupação do solo quando comparados aos maiores municípios analisados. Isto compromete 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 IP\_ECOL regular.

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, bem 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 na área rural;
- Concentração fundiária;
- Desequilíbrio no balanço hídrico regional;
- Atividades impactantes de mineração;
- Geração de resíduos químicos provenientes dos usos agrícola e urbano.

### **3.11. Considerações Finais**

O Índice do Perfil Ecológico (IP\_ECOL) possibilita, pela integração de diferentes sistemas de armazenamento de dados, uma interpretação em escala regional da qualidade das bacias hidrográficas e os municípios nela inseridos, resultante das atividades desenvolvidas.

Variáveis espaciais, indicadores das condições ambientais em escala macroregional, associadas a levantamento de campo da situação das fontes de água, corroboradas pelas análises da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, apontam para o descuido no tratamento e disposição de poluentes dos setores de produção primária e secundária.

Aponta, também, a necessidade de investimento na melhoria dos serviços públicos, o que representará ganho em qualidade de vida da população.

### 3.12. Referências

- ANP. **Petróleo e derivados, abastecimento, consulta de postos**: 2002. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2002.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul.1986.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico de gestão ambiental dos estados do Brasil, 2000**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2002.
- CODEVASF. **Cadastro da fruticultura irrigada**. Brasília, 2001. 1 CD-ROM. Versão preliminar.
- FERREIRA, M. C. Utilização de modelos digitais de terreno na estimativa de enchentes em sub-bacias hidrográficas: uma avaliação preliminar em escala regional. **Geociências**, Rio Claro, v. 16, n. 1, p. 243-255, 1997.
- 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.
- HOWARD, A. D. Role of hypsometry and planform in basin hydrologic response. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 4, p. 373-385, 1990.
- HUETE, A. R.; JACKSON, R. D. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 17, 37-53, 1985.
- IBGE. **Base de informações municipais**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2002. CD-ROM.
- RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from background information. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 43, p. 1541-1552, 1977.
- RODRIGUES, G.S.; SILVA, A. de S.; BUSCHINELLI, C.C. de A.; ROSSO, C.R.S. de; CARBINATTO, M.L.; SOUZA, T. de; MORICONI, W.; PAIVA, W.F. **Diagnóstico ambiental das fontes pontuais de poluição das águas nas bacias hidrográficas do Norte de Minas e do Submédio São Francisco**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 23, 2004. 42 p.
- RODRIGUES, G. S.; NEVES M. G.; SILVA, A. S. **Diagnóstico ambiental das fontes potenciais de poluição das águas de usos múltiplos no hidropólo do Submédio do Rio São Francisco - parte II**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. 65 p.
- ROMANOWICZ, R.; BEVEN, K.; MOORE, R. GIS and distributed hydrological models. In: MATHER, P. M. (Ed.). **Geographical information handling-research applications**. New York: J. Wiley, 1993. p. 206-235.
- SUDENE. **Normais climatológicas da área da SUDENE**. Recife, 1963. 82 p.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**: Pernambuco. Recife, 1990. 363 p. (SUDENE. Pluviometria, 6).