



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



GEF
Fundo para o
Meio Ambiente Mundial



PNUMA
Programa das Nações Unidas
para o Meio Ambiente



OEA
Organização dos
Estados Americanos

PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ANA/GEF/PNUMA/OEA

Subprojeto 4.3 - Quantificação e Análise da Eficiência do Uso da Água Pelo Setor Agrícola na Bacia do São Francisco



Resumo Executivo do Relatório Final QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PELO SETOR AGRÍCOLA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Departamento de Engenharia Agrícola

Viçosa – MG

**PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA
NA BACIA DO SÃO FRANCISCO
ANA/GEF/PNUMA/OEA**

**Subprojeto 4.3 - Quantificação e Análise da Eficiência do Uso da Água Pelo
Setor Agrícola na Bacia do São Francisco**

Resumo Executivo do Relatório Final

**QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA
DO USO DA ÁGUA PELO SETOR AGRÍCOLA
NA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

Coordenação do Subprojeto

Coordenador: Márcio Mota Ramos

Coordenador Adjunto: Fernando Falco Pruski

Universidade Federal de Viçosa

Coordenação Técnica

Fernando Falco Pruski - UFV

Márcio Mota Ramos - UFV

Suely de Fátima Ramos Silveira - UFV

Demetrius David da Silva - UFV

Lineu Neiva Rodrigues – OEA

Consultores Participantes

Wallisson da Silva Freitas

Sérgio Oswaldo de Carvalho Avellar

Alessandro de Freitas Teixeira

Gessionei da Silva Santana

Rafael de Almeida Ribeiro

Nori Paulo Griebeler

Janeiro de 2003

QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PELO SETOR AGRÍCOLA NA BACIA DO SÃO FRANCISCO

RESUMO EXECUTIVO

INTRODUÇÃO

Na elaboração do Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA), também conhecido como Projeto GEF São Francisco, foi identificado que a irrigação é responsável pelo consumo de, aproximadamente, 70% da vazão derivada do São Francisco e que poderia estar causando impacto sobre a disponibilidade dos recursos hídricos.

Embora a área irrigada na Bacia ainda seja pequena, correspondendo a menos de 10% da potencialmente irrigável, ela está concentrada em pólos regionais. Além disto há evidências de que a agricultura irrigada na Bacia é conduzida com baixa eficiência. Estas constatações conduziram à inclusão do Subprojeto 4.3 que trata da Quantificação e Análise da Eficiência do Uso da Água pelo Setor Agrícola na bacia do São Francisco no Projeto GEF São Francisco.

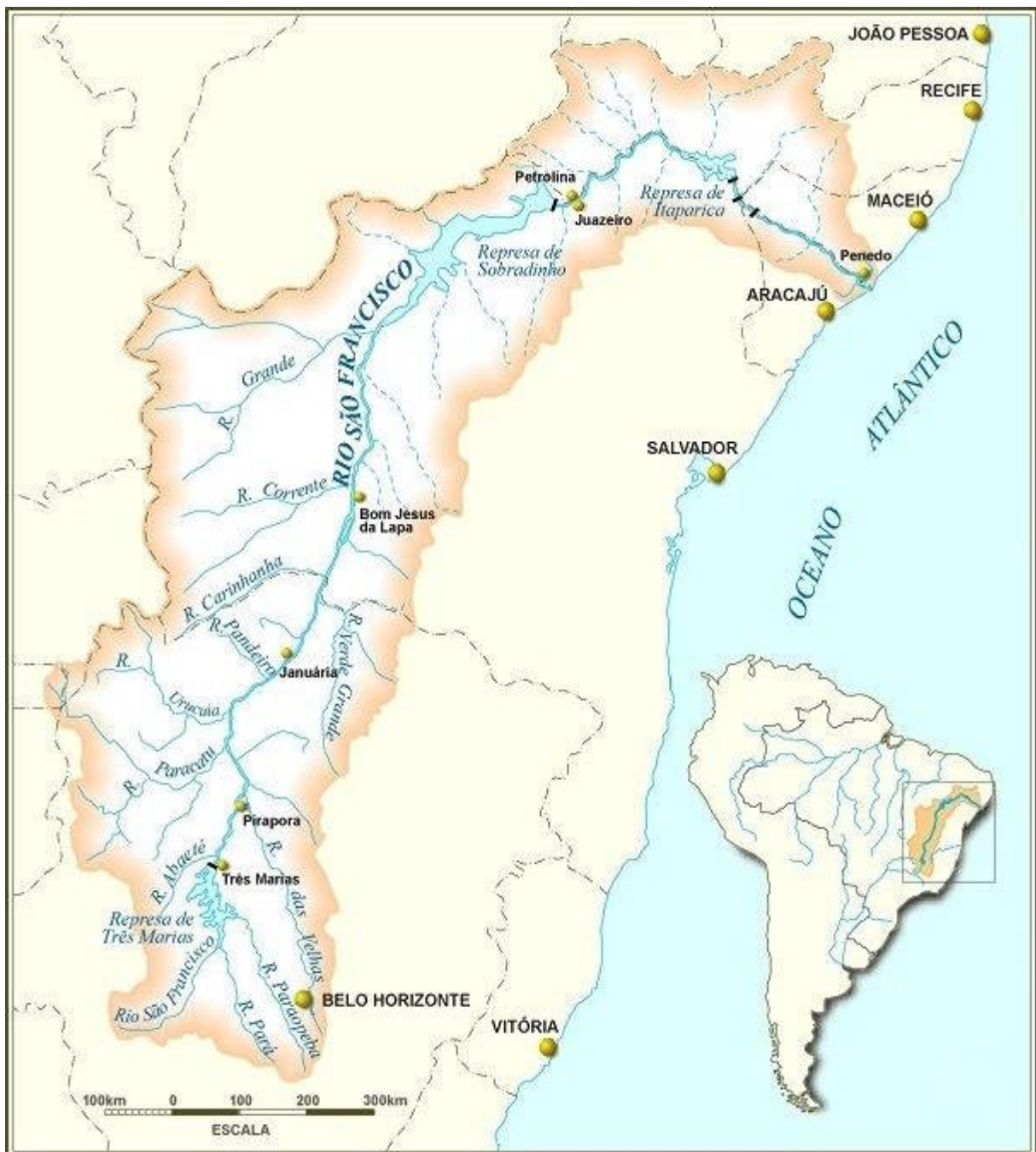
O Subprojeto foi executado com recursos de doação do Fundo para o Meio Ambiente Mundial – GEF e teve, como organismo implementador, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA; como organismo executor internacional, a Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos – OEA e, como executor nacional, a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente – SRH/MMA, que transferiu, no mês de maio de 2001, suas atividades para a Agência Nacional de Água – ANA.

A Universidade Federal de Viçosa – UFV, através do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA, foi a responsável pela coordenação da execução deste Subprojeto, cujos objetivos foram quantificar a disponibilidade de recursos hídricos na Bacia, caracterizar a utilização da água pela atividade agrícola e estimar a eficiência de uso da água pela irrigação. A partir do cumprimento destes objetivos busca-se fornecer subsídios para a otimização do uso dos recursos hídricos e, conseqüentemente, para o aumento da sua disponibilidade na Bacia.

Assim sendo, o presente trabalho está sub-dividido em capítulos pertinentes à descrição das características gerais da bacia do São Francisco, à análise do comportamento hidrológico na Bacia e ao uso da água pela irrigação na Bacia.

1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA DO SÃO FRANCISCO

A bacia do São Francisco (Figura 1) está compreendida entre as latitudes 7° 00' e 21° 00' S e as longitudes 35° 00' e 47° 40' W, se estendendo pelos Estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, além do Distrito Federal. Da nascente, na serra da Canastra, até a foz, no Oceano Atlântico, o rio São Francisco percorre cerca de 2.700 km, drenando uma área de 639.219 km², na qual estão inseridos 503 municípios, onde viviam, em 1999, 15.545.866 habitantes (CODEVASF, 2002b).



Fonte: <http://www.sfrancisco.bio.br/mapbacia.htm>

Figura 1. Bacia do São Francisco

A Bacia tem sido subdividida, tradicionalmente, em quatro regiões: Alto São Francisco, que abrange a área da nascente até o município de Pirapora; Médio São Francisco, de Pirapora até Remanso; Submédio São Francisco, de Remanso até Paulo Afonso e Baixo São Francisco, de Paulo Afonso até sua foz.

Na foz do São Francisco a vazão média de longo período é apresentada na literatura com valores variando de 2.850 m³/s (ANA, 2002b) a 3.360 m³/s (ANA, 2002a; ANEEL, 2002a). Os afluentes com regime permanente têm origem principalmente nos cerrados de Minas Gerais (Alto e Médio São Francisco) e no Oeste baiano (Médio São Francisco), graças à maior quantidade de chuvas que ocorrem na região e à elevada permeabilidade e profundidade dos solos encontrados nessas áreas.

Cerca de 85% da água do São Francisco tem origem nos cerrados e 72% de sua vazão advém do Estado de Minas Gerais.

A demanda de água na bacia do São Francisco é de 224 m³/s em seus vários usos. Deste total 28 m³/s (12,5%) são derivados para atender o abastecimento urbano; 160 m³/s (71,4%) para a irrigação; 7 m³/s (3,1%) para a dessedentação de animais e 29 m³/s (13%) para a atividade industrial (ANA, 2002b).

O São Francisco, com uma disponibilidade hídrica de 64,4 bilhões de m³/ano (2042 m³/s), responde por 69% das águas superficiais e por 73% da disponibilidade superficial garantida do Nordeste. A capacidade total de acumulação de água superficial do Nordeste é de 85,1 bilhões de m³. Desses, 50,9 bilhões se localizam na bacia do São Francisco: Sobradinho (34,1 bilhões), Itaparica (11,8 bilhões), Xingó (3,8 bilhões) e Moxotó (1,2 bilhões). Três Marias (fora da região Nordeste, porém na Bacia) acumula outros 19,3 bilhões de m³ (CODEVASF, 2002b).

Até o final de 2000, a Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) já havia construído 270 barragens com capacidade de acumulação de 1,4 bilhões de m³.

Conforme o Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro do Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos e das Centrais Elétricas Brasileiras, a bacia do São Francisco tem um potencial hidrelétrico da ordem de 26.346 MW, sendo que, até dezembro de 1997, 9.290 MW já haviam sido instalados e estavam em operação, situação que persiste até 2002, e hidrelétricas com capacidade de geração de 1.000 MW estavam em construção.

A bacia do São Francisco tem uma área de cerca de 64.000.000 de hectares, sendo 25,6 milhões (40%) de terras aptas para a agricultura.

No Alto e na região superior do Médio São Francisco, onde as chuvas são mais abundantes e regulares, a agricultura de sequeiro é a principal atividade agrícola. No Submédio esta atividade é limitada, porque toda a região está incluída no semi-árido. A parte inferior do Médio São Francisco também se localiza no semi-árido, tendo limitações idênticas às do Submédio (Vale do São Francisco, 2002c). Do total agricultável, 3.000.000 ha são potencialmente irrigáveis, mas somente 300.000 (10%) ha são atualmente irrigados (Vale do São Francisco, 2002b).

Segundo Lima e Miranda (2001), de 1970 a 1990 a área irrigada na bacia do São Francisco teve um crescimento da ordem de 286%, o que compreende a 8.620 ha /ano, enquanto a taxa de crescimento no país foi de 266%. Apenas no período de 1980 a 1990 o crescimento da área irrigada na Bacia atingiu 61%.

A atuação do governo na bacia do rio São Francisco é expressiva, sendo representada principalmente pela CODEVASF, cuja principal missão é promover o desenvolvimento da região por meio da agricultura irrigada. A Bacia tem, em grande parte de sua área, condições climáticas ideais e singulares para a agricultura irrigada, combinando temperaturas e insolação elevadas com uma baixa umidade relativa do ar. O déficit hídrico, porém, é acentuado por causa do pequeno total precipitado e pela sua distribuição irregular.

A Bacia possui uma diversidade de climas muito grande, passando de úmido, nas regiões Sul e Oeste, a semi-árido na região do pólo Juazeiro/Petrolina. As precipitações médias anuais variam de 400 a 1600 mm na maior parte da Bacia.

De 1970 a 2000, as áreas irrigadas do semi-árido sofreram significativas transformações, principalmente no que diz respeito às culturas ali produzidas. Os projetos de irrigação na Bacia, tanto os públicos quanto os privados, apresentam, ainda, planejamento deficiente e, após sua implementação, não tem recebido um manejo adequado.

Os estudos que vêm sendo realizados apresentam indicadores de sustentabilidade hídrica preocupantes, no que diz respeito às disponibilidades de água para usos múltiplos. Algumas áreas como a região Norte de Minas, Bacia do rio Verde Grande, e a bacia do rio Salitre, no estado da Bahia, já são consideradas críticas no que diz respeito à razão demanda/disponibilidade.

Segundo CODEVASF (2002c), os usos múltiplos na Bacia demandaram, no ano de 1994, 9,1 bilhões de m³/ano, sendo a demanda ecológica (não consuntiva) de 6,4 bilhões (70,3%) e a demanda consuntiva de 2,7 bilhões (29,7%).

Apesar da bacia do São Francisco ter apresentado um expressivo crescimento da atividade agrícola, os resultados não foram imediatos para a economia da região, pois a comercialização da produção era descentralizada, os produtos ainda não tinham qualidade e padronização suficientes e não existia uma malha aeroviária que possibilitasse o acesso aos centros de distribuição e de consumo.

Atualmente pólos regionais como Juazeiro - Petrolina, Pirapora, Janaúba-Jaíba, e Barreiras, têm se destacado tanto na produção quanto na comercialização dos produtos, havendo, pela instalação de agroindústrias, uma maior agregação de valor aos produtos na própria região. Alguns destes pólos vêm se destacando na Bacia pela sua localização geográfica, pela infraestrutura disponível e mesmo pela sua grande produção.

No Quadro 1 são apresentadas as demandas de água na bacia do São Francisco, em que se observa que a irrigação é responsável por 74,1% dos usos consuntivos.

O desenvolvimento atual da bacia do São Francisco se deve em grande parte à implementação dos projetos de irrigação públicos e privados que mudaram e continuam a mudar a economia da região, porém esta mudança se deu em um período relativamente curto, há aproximadamente 20 anos, não possibilitando, de imediato, a adoção e o aprendizado das

técnicas adequadas de manejo da irrigação, e nem a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de irrigação.

Quadro 1. Demandas de água na Bacia do rio São Francisco, por tipo e uso, no ano de 1994

Tipo de Uso/Demanda	Demandas de água na bacia do São Francisco, por tipo e uso		
	Volume anual demandado (bilhões de m ³)	Em relação à demanda total (%)	Em relação ao uso (%)
Uso não consuntivo	6,4	70,3	100,0
Ecológica	6,4	70,3	100,0
Uso consuntivo	2,7	29,7	100,0
Irrigação	2,0	22,0	74,1
Consumo urbano	0,3	3,3	11,1
Cons. agroindustrial	0,1	1,1	3,7
Pecuária	0,2	2,2	7,4
Consumo industrial	0,1	1,1	3,7
Consumo rural difuso	0,0	0,0	0,0
Total	9,1	100,0	-

Fonte: Áridas (2002).

A irrigação ineficiente e inadequada resulta em desperdício de água e energia, recursos finitos que estão cada dia mais escassos, o que releva a necessidade de avaliação da eficiência com que é praticada a irrigação na Bacia.

2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO NA BACIA

No estudo do comportamento hidrológico na bacia do São Francisco analisaram-se os dados consistidos de 336 estações pluviométricas e 283 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas - ANA / Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, tendo estas informações sido obtidas na Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas - SIH da ANEEL.

O critério adotado para a seleção das estações foi à existência de pelo menos 10 anos de dados sem interrupções, tendo sido selecionado o período de 1950 a 1999 como período-base para o estudo. Desta forma, 178 estações pluviométricas e 77 estações fluviométricas foram realmente usadas no estudo.

A análise do comportamento hidrológico nestas estações foi dividida nas seguintes etapas:

- preenchimento de falhas e extensão das séries;
- cálculo da precipitação média na área de drenagem a montante de cada estação fluviométrica;
- cálculo da vazão mínima anual com sete dias de duração;
- cálculo da vazão máxima anual;
- estimativa do coeficiente de deságüe (relação entre o volume de água que escoou pela seção de deságüe considerada e o volume total precipitado);
- obtenção da curva de permanência; e
- estimativa das variações absoluta e relativa e da significância de variação das variáveis hidrológicas estudadas durante o período considerado.

Em vista da grande quantidade de cálculos requeridos no estudo procedeu-se ao desenvolvimento de um software para facilitar a realização das análises. O software foi dividido em três módulos: vazão, precipitação e vazão x precipitação.

2.1 Variação Espacial das Principais Variáveis Hidrológicas Estudadas

Na Figura 2 tem-se o mapa de isoietas relativo à precipitação média anual, do período de 1950 a 1999, no qual nota-se que a precipitação na região de cabeceira chega a atingir valores superiores a 1.700 mm, decrescendo em direção à foz, até as proximidades do limite entre o Submédio e o Baixo São Francisco. A partir daí há um acentuado aumento da precipitação.

A precipitação mínima na Bacia ocorre no Submédio São Francisco, onde se observam médias anuais inferiores a 450 mm. As precipitações médias anuais no Alto São Francisco são de 1.000 a 1.750 mm, no Médio de 550 a 1.750 mm, no Submédio de 400 a 550 mm e no Baixo de 400 a 1.300 mm.

Na Figura 3 representa-se a distribuição da vazão média de longa duração na bacia do São Francisco, evidenciando-se que as vazões no rio principal no Alto São Francisco são inferiores a 1.000 m³/s, no Médio de 1.000 a 2.700 m³/s e no Submédio e Baixo de 2.000 a 2.700 m³/s. As vazões médias de longa duração em todas as estações situadas em afluentes do São Francisco são menores que 1.000 m³/s.

No Quadro 2 apresenta-se, para as 77 estações fluviométricas estudadas, a precipitação média na sua bacia de drenagem e a vazão específica média de longa duração. Os valores de precipitações médias variam de 1.506 mm (Porto do Passarinho) até 847 mm (Boca da Caatinga). Expressiva variação é também constatada em relação às vazões específicas de longa duração, sendo observados valores que oscilam de 28,19 L/s/km² (Vargem Bonita) a 1,07 L/s/km² (Boca da Caatinga).

Para as estações localizadas nos afluentes do São Francisco foram evidenciados decréscimos da precipitação média e da vazão específica das sub-bacias situadas próximas à nascente para aquelas situadas próximas à foz, sendo que, enquanto na sub-bacia 40 tem-se uma precipitação média de 1.386 mm e uma vazão específica média de 17,25 L/s/km², na sub-bacia 46 a precipitação é de 1.040 mm e a vazão específica de 5,52 L/s/km². A única exceção a esta tendência é a sub-bacia 44.

Para facilitar a interpretação dos dados hidrometeorológicos adotou-se a codificação de bacias proposta pelo DNAEE (atual ANEEL), segundo a qual a bacia do São Francisco (Bacia 4) foi subdividida em 10 sub-bacias (40 a 49).

A análise das vazões específicas para as estações situadas no rio São Francisco confirma este comportamento, sendo evidente a redução da vazão específica com o aumento da área de contribuição, ou seja, quando do deslocamento das posições próximas à nascente em direção à foz.

A primeira estação situada no São Francisco (Iguatama, com área de drenagem de 4.846 km²) tem vazão específica de 22,61 L/s/km², a maior dentre as estações situadas no rio principal, enquanto a última estação (Traipú, com área de drenagem de 622.600 km²) tem vazão específica de 4,22 L/s/km², a menor dentre as estações situadas no São Francisco.

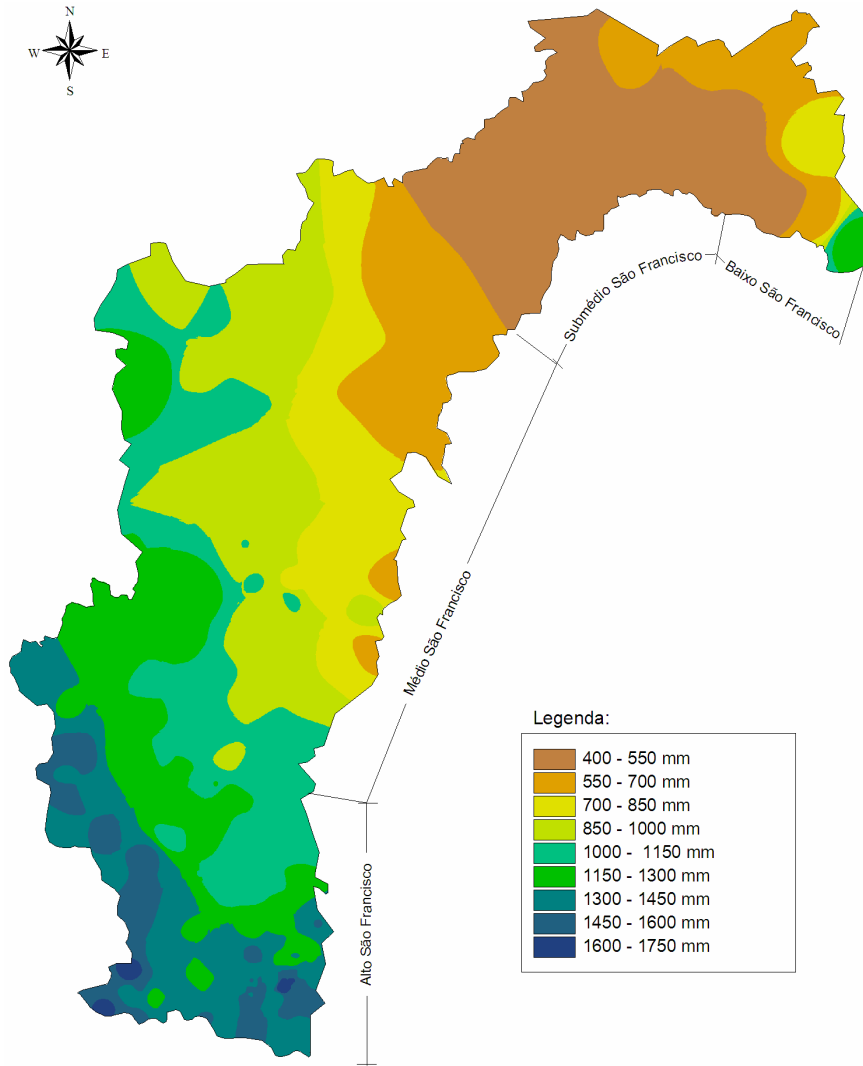


Figura 2. Mapa de isoietas referentes à precipitação média anual na bacia do São Francisco.

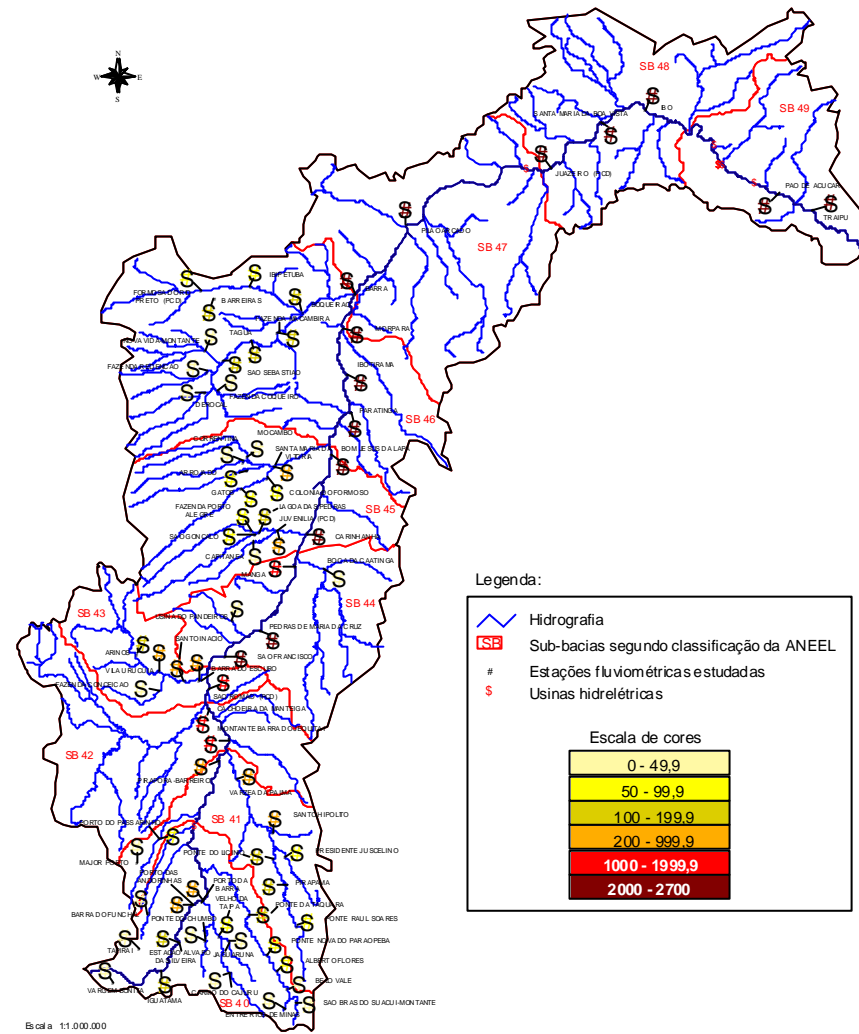


Figura 3. Distribuição da vazão média de longa duração na bacia do São Francisco.

Quadro 2. Área de drenagem, precipitação e vazão específica média de longa duração para as 77 estações fluviométricas estudadas

Estação	Código ANEEL	Sub-bacia	Área de drenagem (km ²)	Pmédia (1950-1999)	Pmédia na sub-bacia (1950-1999)	Vazão específica média de longa duração (L/s/km ²)	Vazão específica média na sub-bacia (L/s/km ²)
Vargem Bonita	40025000		299	1.420		28,19	
Tapiraí	40060000		543	1.430		22,23	
Carmo do Cajuru	40150000		2.402	1.387		15,67	
Jaguaruna	40300000		1.545	1.367		12,85	
Velho da Taipa	40330000		7.350	1.399		13,42	
Estação Álvaro da Silveira	40400000		1.803	1.422		14,13	
São Brás do Sacuí-Montante	40549998	40	446	1.362	1.386	16,93	17,25
Entre Rios de Minas	40680000		469	1.367		18,53	
Belo Vale	40710000		2.690	1.362		17,79	
Alberto Flores	40740000		3.945	1.355		15,34	
Ponte Nova do Paraopeba	40800001		5.680	1.357		14,65	
Ponte da Taquara	40850000		8.720	1.358		14,40	
Barra do Funchal	40930000		881	1.428		20,16	
Iguatama *	40050000		4.846	1.415		22,61	
Ponte do Chumbo*	40070000	40	9.255	1.365	1.388	18,86	18,63
Porto das Andorinhas*	40100000		13.087	1.384		16,37	
Porto da Barra *	40102000		14.370	1.386		16,66	
Major Porto	41050000		1.396	1.482		13,66	
Porto do Passarinho	41075001		4.330	1.506		15,62	
Ponte Raul Soares	41340000		4.780	1.347		16,06	
Pirapama	41600000	41	7.838	1.319	1.345	13,12	14,00
Ponte do Licínio	41650000		10.980	1.292		11,89	
Presidente Juscelino	41780000		3.912	1.333		18,47	
Santo Hipólito	41818000		16.528	1.277		12,21	
Várzea da Palma	41990000		25.940	1.206		10,93	
Pirapora-Barreiro *	41135000	41	61.880	1.349	1.349	13,68	13,68
Porto Aliança	42090000		4.374	1.034			
Santa Rosa	42395000	42	12.880	1.336	1.236		
Porto da Extrema	42690001		29.060	1.279			
Porto Alegre	42980000		40.300	1.293			
Montante Barra do Jequitá *	42030000	42	90.990	1.305	1.288	12,03	11,64
Cachoeira da Manteiga *	42210000		107.250	1.271		11,24	
Arinos	43430000		11.710	1.295		12,26	
Vila Urucuaia	43670000	43	18.600	1.266	1.236	11,33	11,83
Fazenda Conceição	43675000		2.200	1.162		14,40	
Santo Inácio	43880000		23.765	1.227		10,77	
Barra do Escuro	43980000		24.658	1.228		10,37	
São Romão *	43200000	43	154.100	1.271	1.271	10,62	10,62
Usina do Pandeiros	44250000	44	3.812	1.168	1.008	6,54	3,81
Boca da Caatinga	44950000		30.474	847		1,07	
São Francisco *	44200000		182.537	1.262		11,04	
Pedras de Maria da Cruz *	44290002	44	191.063	1.250	1.250	10,71	10,54
Manga *	44500000		202.400	1.237		9,88	
São Gonçalo	45131000		6.186	1.229		11,20	
Fazenda Porto Alegre	45170000		5.730	1.151		10,94	
Lagoa das Pedras	45210000		12.120	1.181		11,00	
Capitânea	45220000		2.196	1.140		6,12	
Juvenília	45260000		15.600	1.148		9,54	
Correntina	45590000	45	4.075	1.008	1.121	7,91	9,17
Mocambo	45740000		8.130	958		5,37	
Arrojado	45770000		5.278	1.110		10,90	
Gatos	45840000		6.867	1.182		11,67	
Colônia do Formoso	45880000		8.695	1.182			
Santa Maria da Vitória	45910000		29.570	1.044		7,04	
Carinhanha *	45298000	45	251.209	1.179	1.165	8,87	8,29
Bom Jesus da Lapa *	45480000		273.750	1.150		7,70	
Derocal	46455000		6.231	1.103		7,83	
Fazenda Coqueiro	46490000		4.300	1.055		1,21	
Fazenda Redenção	46543000		5.400	1.103		8,89	
Barreiras	46550000		18.560	956		5,70	
Nova Vida	46590000		7.155	1.038		6,60	
São Sebastião	46610000	46	32.586	1.081	1.040	5,51	5,52
Taguá	46650000		35.564	1.081		5,02	
Fazenda Macambira	46675000		39.256	1.065		4,47	
Formosa do Rio Preto	46790000		14.210	952		6,52	
Ibipetuba	46830000		18.200	983		4,99	
Boqueirão	46902000		68.540	1.018		3,97	
Paratinga *	46105000		318.028	1.123		7,29	
Ibotirama *	46150000	46	325.200	1.115	1.098	7,39	6,97
Morpará *	46360000		348.074	1.086		7,12	
Barra *	46998000		433.280	1.068		6,09	
Pilão Arcado *	47302000	47	443.100	1.044	1.044	5,90	5,90
Juazeiro *	48020000		510.800	984		4,94	
Santa Maria da Boa Vista *	48290000	48	530.000	966	964	4,80	4,74
Ibó *	48590000		568.600	943		4,49	
Pão de Açúcar *	49370000	49	608.900	907	905	4,34	4,28
Traipú *	49660000		622.600	903		4,22	

(*) Estações localizadas na calha principal do rio São Francisco

Na Figura 4 apresenta-se o mapa com a distribuição dos valores médios (período de 1950 a 1999) da vazão máxima, na qual evidencia-se que as vazões máximas obtidas na calha principal do rio no Alto São Francisco são inferiores a 4.000 m³/s, no Médio e Submédio de 4.000 a 7.800 m³/s e no Baixo de 7.000 a 7.800 m³/s.

A redução da vazão máxima para as estações Juazeiro, Santa Maria da Boa Vista e Ibó em relação às estações situadas a montante destas decorre da regularização promovida pelo reservatório de Sobradinho, com capacidade de acumulação de 34,1 bilhões de m³ de água.

Na Figura 5 representa-se a distribuição dos valores médios da vazão mínima com sete dias de duração, na qual observa-se que as vazões mínimas são, em geral, crescentes ao longo do rio São Francisco. Os valores médios obtidos na calha principal são inferiores a 500 m³/s no Alto São Francisco, de 500 a 1.700 m³/s no Médio e de 1.000 a 1.700 m³/s no Submédio e Baixo. A análise da distribuição da vazão associada à permanência de 95% mostra um comportamento muito similar ao evidenciado para a vazão mínima com sete dias de duração.

Os maiores coeficientes de deságüe, que são a razão entre os volumes escoados e precipitados, foram, em geral, encontrados nas estações fluviométricas com menores áreas de drenagem e com maiores totais precipitados. No rio principal o coeficiente de deságüe, nas estações situadas no Alto São Francisco, varia de 0,3 a 0,5; de 0,1 a 0,3 nas estações localizadas no Médio e de 0,1 a 0,2 nas estações situadas no Submédio e Baixo, significando que as áreas de cabeceira são importantes para a perenidade do São Francisco.

2.2 Variação Temporal das Principais Variáveis Hidrológicas Estudadas

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados os mapas com a variação da precipitação e da vazão média anual, respectivamente, na bacia do rio São Francisco no período de 1950 a 1999.

No Alto São Francisco evidencia-se um crescimento da precipitação média anual com o tempo nas áreas de drenagem correspondentes às estações fluviométricas estudadas. O aumento da precipitação traz, como consequência, o aumento da vazão média anual. A vazão máxima também apresenta crescimento no período analisado, exceto em Pirapora-Barreiro que é a única estação a jusante da Hidrelétrica de Três Marias situada no Alto São Francisco, sofrendo, portanto, o efeito de regularização decorrente da construção desta hidrelétrica.

A vazão mínima com sete dias de duração aumenta com o tempo para todas as estações localizadas no rio principal no Alto São Francisco (sub-bacias 40 e 41), tendência também evidenciada para a vazão associada à permanência de 95%, sendo este comportamento decorrente do crescimento da precipitação média anual, o qual acarretou também um aumento do coeficiente de deságüe.

Em Pirapora-Barreiro (limite das sub-bacias 41 e 42) o aumento da vazões mínimas com sete dias de duração e com permanência de 95% foi bem mais significativo que nas demais estações, em função do efeito de regularização decorrente da construção de Três Marias.

No Médio São Francisco (sub-bacias 42 a 46) tem-se uma tendência de decaimento da precipitação média anual com o tempo nas áreas de drenagem correspondentes às estações fluviométricas analisadas ao longo do São Francisco. A estas variações estão associadas baixas significâncias, todas inferiores a 30%.

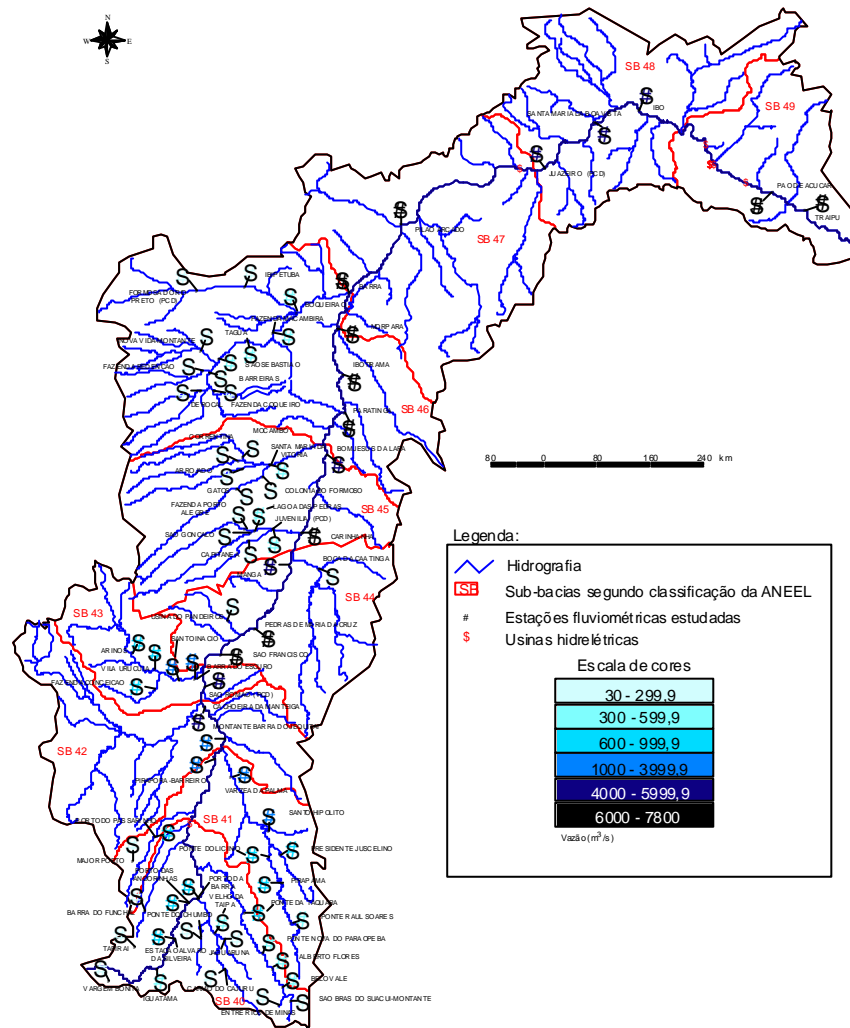


Figura 4. Distribuição da vazão máxima na bacia do São Francisco.

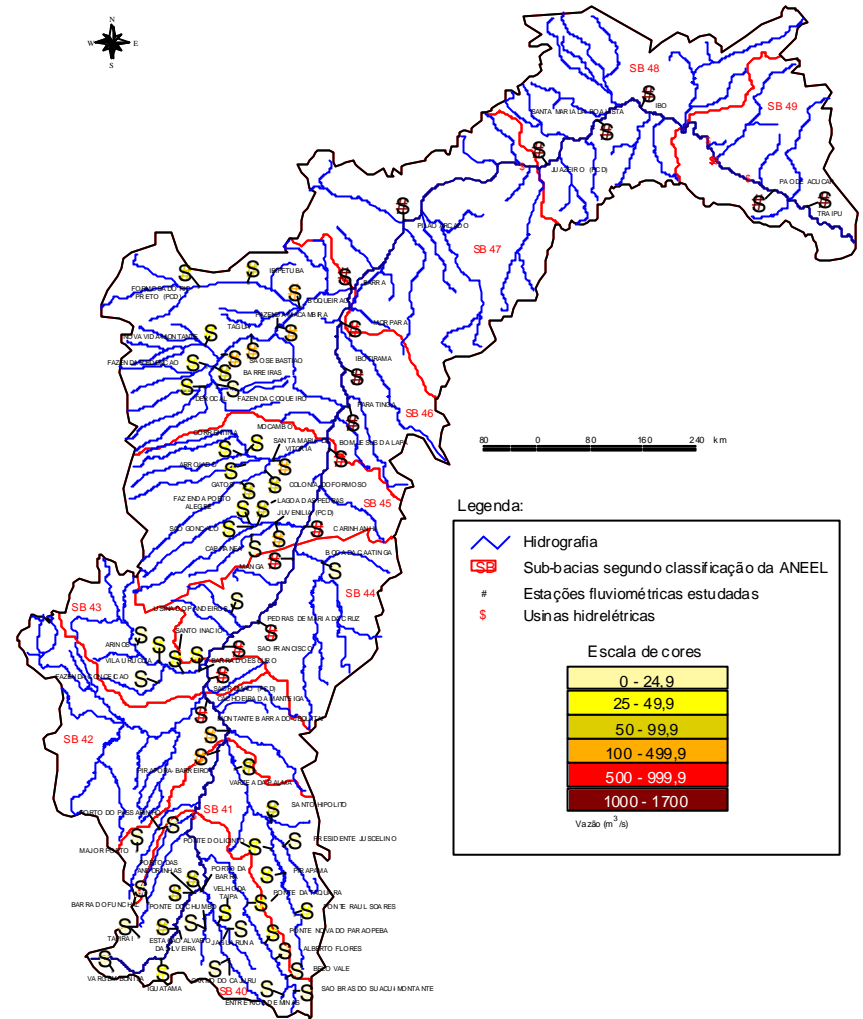


Figura 5. Distribuição da vazão mínima com sete dias de duração na bacia do São Francisco.

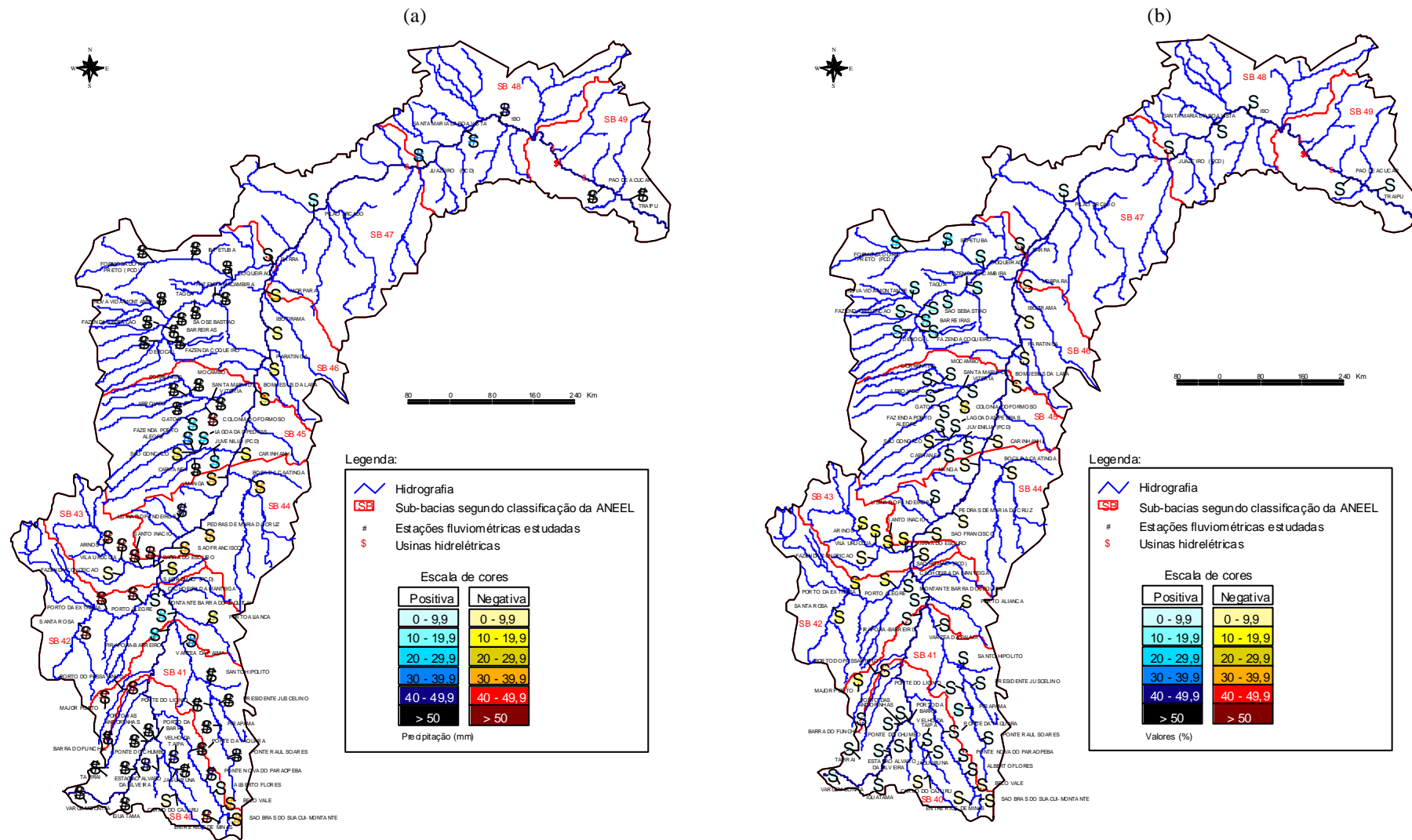


Figura 6. Variação da precipitação média anual, absoluta (a) e relativa (b), ao longo da bacia do São Francisco durante o período de 1950 a 1999.

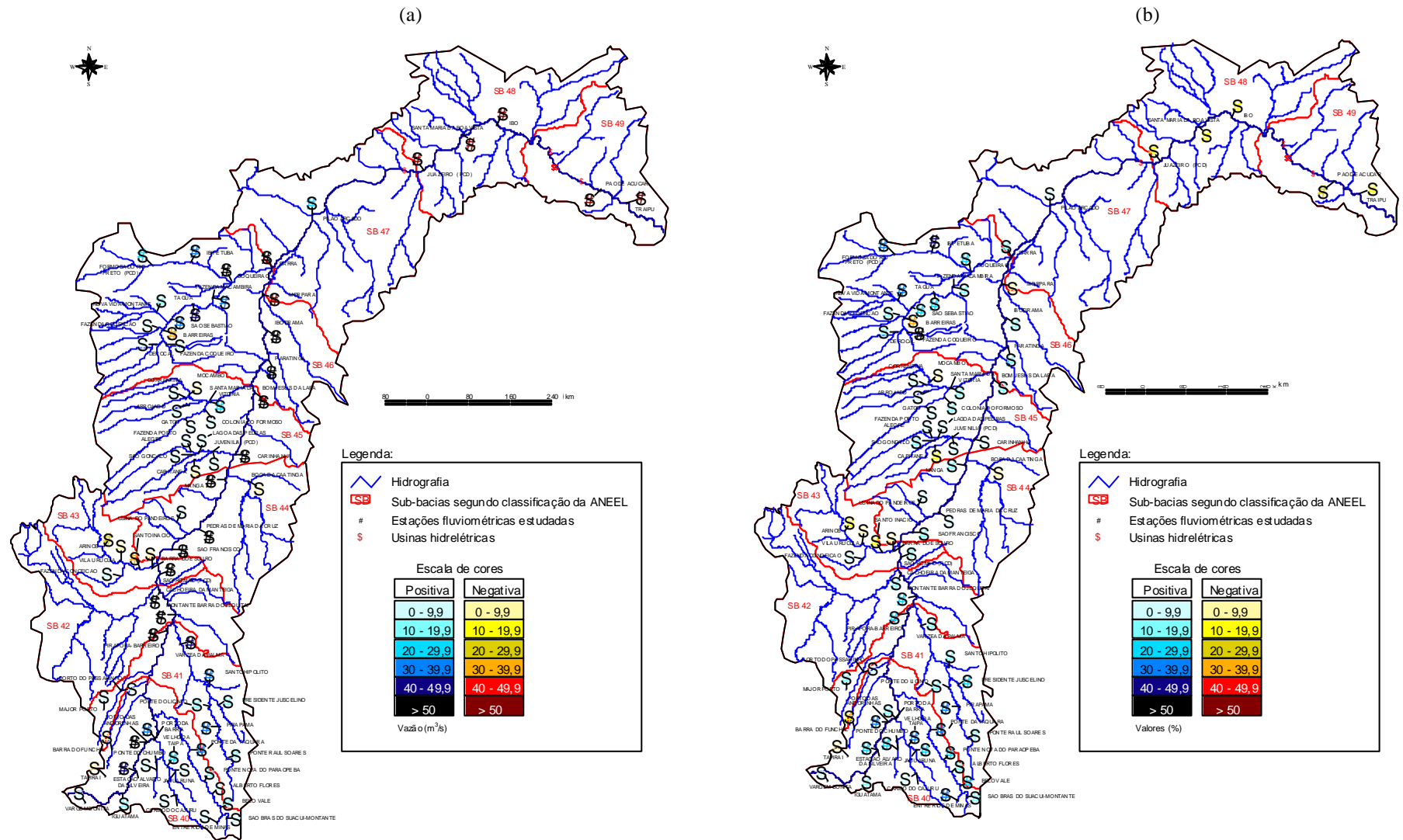


Figura 7. Variação da vazão média anual, absoluta (a) e relativa (b), nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.

As vazões ao longo do rio principal, no médio São Francisco, entretanto, têm uma tendência de comportamento oposta, visto que tanto a vazão média anual como a vazão máxima, mínima e a correspondente à permanência de 95% crescem com o tempo, o que expressa a grande complexidade dos processos hidrológicos presentes na Bacia.

Uma explicação possível para este comportamento decorre do aumento evidenciado na precipitação em janeiro, mês que já se caracteriza por uma alta incidência de precipitação. O aumento da precipitação neste mês promove, como consequência, o aumento da vazão máxima.

O crescimento da vazão mínima e da vazão associada à permanência de 95%, entretanto, advém, provavelmente, do efeito de regularização decorrente dos reservatórios de acumulação construídos no Alto São Francisco e em seus afluentes, como é o caso da hidrelétrica de Três Marias.

No Submédio (sub-bacia 46 a 48) e Baixo São Francisco (sub-bacia 49) houve uma nítida tendência de aumento da precipitação média anual nas áreas de drenagem correspondentes às estações analisadas ao longo do rio principal. O comportamento das vazões média, máxima e do coeficiente de deságüe foi, entretanto, de decréscimo ao longo do tempo, enquanto a vazão mínima anual, com sete dias de duração, e a vazão associada à permanência de 95% cresceram com o tempo.

A tendência de variação das vazões no Submédio e no Baixo pode ser entendida pelo fato de que com a construção, nestes trechos da Bacia, de diversas hidrelétricas (Sobradinho, Itaparica/Luiz Gonzaga, Moxotó, Paulo Afonso e Xingo), ocorrido durante o período estudado, aconteceu um significativo efeito de regularização das vazões, o que acarretou o aumento da vazão mínima com sete dias de duração e da vazão associadas à permanência de 95% e a redução da vazão máxima.

A tendência de redução da vazão média e do coeficiente de deságüe também está diretamente relacionada ao aumento de evaporação decorrente da construção dos reservatórios de acumulação, embora neste caso o aumento da vazão captada do São Francisco, em virtude do expressivo crescimento da atividade produtiva evidenciado na região, tenha também contribuído para a ocorrência deste comportamento.

Nas estações Santa Maria da Boa Vista (482900000) e Ibó (485900000), localizadas logo a jusante da hidrelétrica de Sobradinho, o comportamento da vazão mínima com sete dias de duração e vazão correspondente à permanência de 95% foi distinto das demais estações situadas neste trecho, o que decorre do fato de que o período considerado na análise destas estações (1979 a 1999) foi apenas o posterior à construção da barragem.

Na Figura 8 apresenta-se, para Boca da Caatinga (449500000), a variação da precipitação média, da vazão média, da vazão máxima e da vazão mínima com sete dias de duração de 1970 a 1994. Esta estação situa-se no rio Verde Grande (Médio São Francisco) e tem uma área de drenagem de 30.474 km², precipitação média de 847 mm e vazão específica média de longa duração de 1,07 L/s/km².

Pela análise dos resultados obtidos constata-se um pequeno declínio da precipitação com o tempo, o qual contribui para o pequeno decréscimo evidenciado na vazão média anual e no coeficiente de deságüe.

Para a vazão máxima anual tem-se um crescimento de $4,01 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$, que decorre dos pequenos aumentos evidenciados na precipitação média em janeiro. Conforme se nota pela análise dos resultados obtidos, as significâncias associadas às variações da precipitação média, da vazão média e da vazão máxima com o tempo foram inferiores a 53%, o que mostra a pequena significância destas variações.

O mesmo não se pode dizer em relação à vazão mínima com sete dias de duração, para a qual há um decréscimo de $0,12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$ ($\Delta\text{Rel} = 72,7\%$; $\text{Sign} = 95,7\%$), e às vazões associadas às permanências iguais ou superiores a 75%, para as quais são tem-se $\Delta\text{Rel} > 50\%$ e $\text{Sign} > 90\%$.

A alta variação relativa e a alta significância obtidas para a vazão mínima com sete dias de duração e para as vazões associadas às maiores permanências indicam uma clara interferência nas condições de escoamento do rio Verde Grande nos meses mais secos. Este fato decorre do grande crescimento da agricultura irrigada na região, a qual tem o seu máximo consumo de água no período seco do ano.

Outros fatos que merecem destaque para Boca da Caatinga são os de que esta é a estação que apresenta a menor precipitação média anual na sua bacia de contribuição (847 mm) e o menor coeficiente de deságüe médio durante o período considerado.

Na Figura 9 representa-se, para Juazeiro (48020000), a variação da precipitação média, da vazão média, da vazão máxima e da vazão mínima com sete dias de duração no período de 1950 a 1999, considerando, individualmente, os períodos de 1950 a 1973 e 1979 a 1999, inerentes aos períodos anterior e posterior ao enchimento da represa de Sobradinho.

A estação Juazeiro situa-se nas imediações do limite entre as sub-bacias 47 e 48 e corresponde, dentre as estações fluviométricas estudadas, a situada imediatamente a jusante da represa de Sobradinho.

Nesta estação são observados três anos sucessivos, de 1979 a 1981, de precipitações médias anuais bem superiores à média, o que volta a ocorrer em 1983 e 1985 e, somado à ocorrência de precipitações menores que a média a partir de 1994, acarreta altas taxas de declínio desta de 1979 a 1999. O comportamento verificado para a precipitação foi decisivo também em termos de vazão, para a qual é constatada uma conduta bastante similar ao da precipitação.

No Quadro 3 apresentam-se as vazões médias anual e mensal para as estações de Ibotirama (46150000) e Juazeiro (48020000) para os períodos de 1950 a 1973 e 1979 a 1999. Para Juazeiro estão contempladas tanto a análise dos dados originais como considerando as séries obtidas a partir de dados preenchidos com base nas estações de Bom Jesus da Lapa (45480000) e de Ibotirama.

Conforme se evidencia no Quadro 3 houve uma clara diferença entre as vazões médias anuais obtidas para Juazeiro (período de 1979 a 1999) a partir da série real, cujo valor é de $2.584 \text{ m}^3/\text{s}$, e a estimada, igual a $2.916 \text{ m}^3/\text{s}$ quando do preenchimento a partir de Bom Jesus da Lapa e a $2.950 \text{ m}^3/\text{s}$ quando do preenchimento a partir de Ibotirama.

Estes valores correspondem a uma redução da vazão real em relação à estimada de $350 \text{ m}^3/\text{s}$, indicando a alteração do comportamento do escoamento no São Francisco a jusante de Juazeiro a partir de 1979.

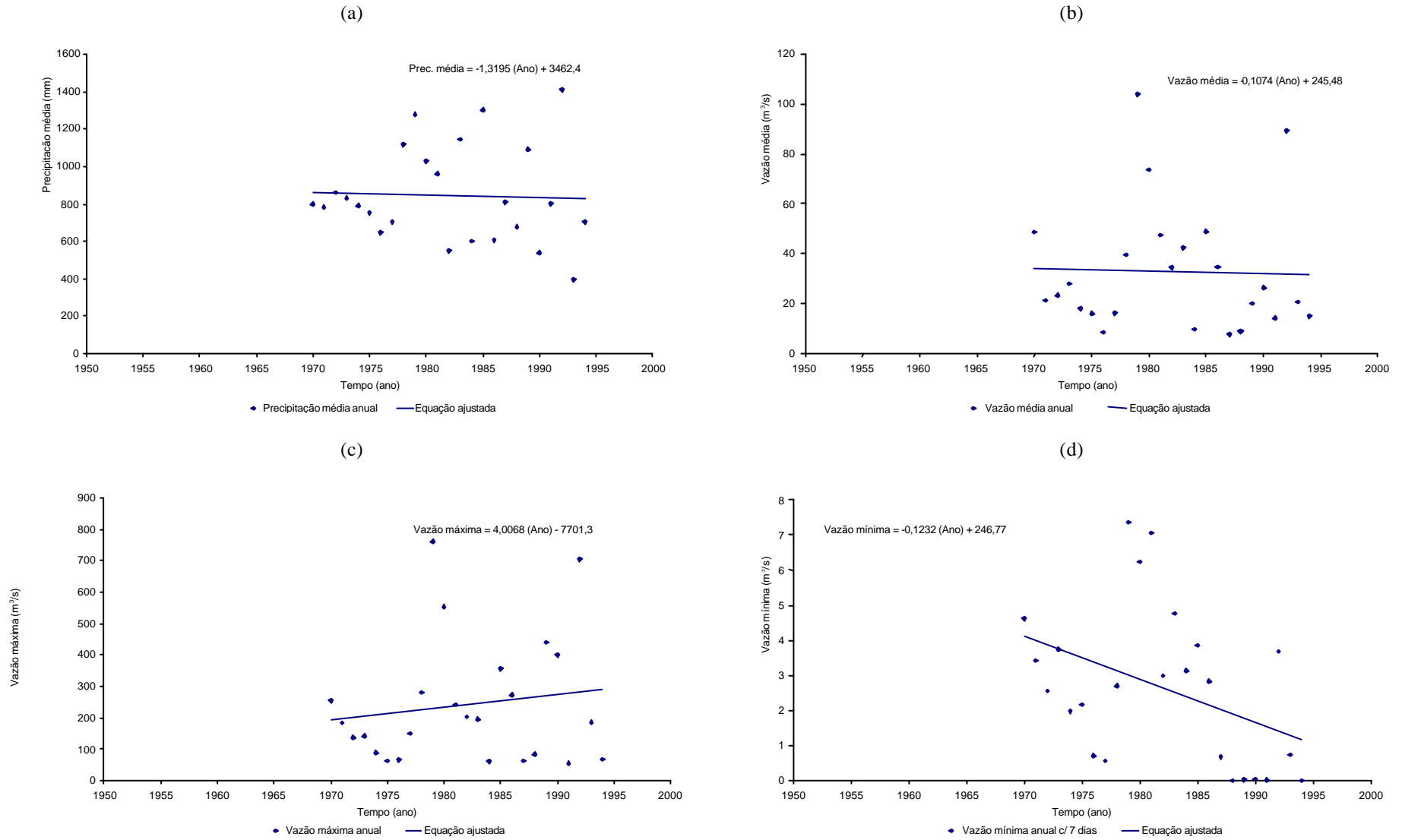


Figura 8. Precipitação média anual (a); vazão média anual (b); vazão máxima anual (c); e vazão mínima anual com sete dias de duração (d), durante o período de 1970 a 1994 na estação Boca da Caatinga.

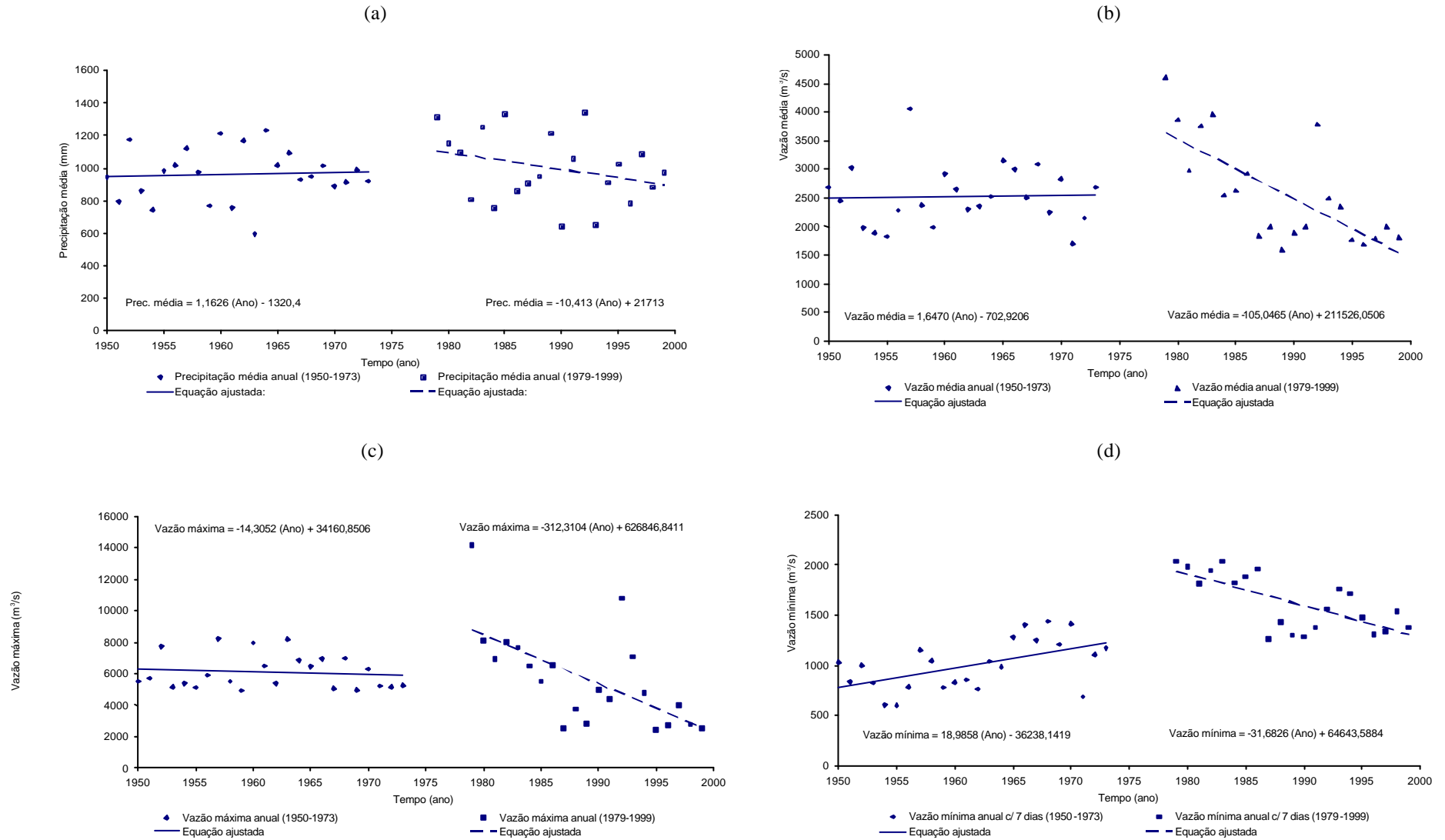


Figura 9. Precipitação média anual (a); vazão média anual (b); vazão máxima anual (c); e vazão mínima anual com sete dias de duração (d) considerando os períodos de 1950 a 1973 e 1979 a 1999 na estação Juazeiro.

Quadro 3. Vazões médias anual e mensal (m³/s) nas estações de Bom Jesus da Lapa, Ibotirama e Juazeiro para os períodos de 1950 a 1973 e de 1979 a 1999. Para Juazeiro estão contempladas as análises dos dados originais e as séries de dados preenchidos a partir de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama

Estação	Período	Anual ⁽¹⁾												
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Bom Jesus da Lapa (BJL)	1950 a 1973	1941	3576	3587	3287	2691	1378	1041	883	747	680	877	1643	299
	1979 a 1999	2362	4279	4295	3716	2790	1765	1442	1303	1194	1158	1290	1995	4
Ibotirama	1950 a 1973	2232	3769	3904	3713	3086	1658	1309	1163	1020	935	1217	1902	321
	1979 a 1999	2644	4524	4823	4339	3151	2034	1671	1509	1389	1349	1493	2175	9
Juazeiro - Dados Originais	1950 a 1973	2532	4054	4437	4166	3859	2222	1599	1389	1239	1101	1224	1877	319
	1979 a 1999	2584	3211	3700	3858	3237	2349	2014	1953	1985	2042	2034	2155	7
Juazeiro: Dados preench. c/ BJL	1979 a 1999	2916	4535	4886	4397	3968	2952	2102	1835	1656	1529	1543	2175	339
Juazeiro: Dados preench. c/ Ibotir.	1979 a 1999	2950	4417	5678	5019	3969	2586	1929	1686	1540	1441	1492	2170	1
?: Juaz. (Prench. BJL - Orig)	? [(Prench e Orig)] (%)	12,8	41,2	32,1	14,0	22,6	25,7	4,4	-6,1	16,6	25,1	24,1	0,9	333
?: Juaz. (Prench. Ibotirama - Orig)	? [(Prench e Orig)] (%)	333	1324	1186	539	731	603	88	-119	-329	-513	-490	20	253
?: Juaz. (Prench. Ibotirama - Orig)	? [(Prench e Orig)] (%)	14,2	37,6	53,4	30,1	22,6	10,1	-4,2	13,7	22,4	29,4	26,6	0,7	5
?: Juaz. (Prench. Ibotirama - Orig)	1979 a 1999	367	1206	1977	1161	732	237	-84	-267	-445	-600	-541	15	352
														9
														364
														3

⁽¹⁾ Valor correspondente à média dos valores mensais ponderados em função do número de dias do mês.

A vazão média real para Ibotirama (área de drenagem de 325.200 km²), igual a 2.644 m³/s, é superior a de Juazeiro (área de drenagem de 510.800 km²), igual a 2.584 m³/s, comprovando o impacto que a construção do reservatório de Sobradinho, e de outras atividades desenvolvidas neste trecho da Bacia, dentre os quais destaca-se o crescimento da irrigação na região, tiveram no comportamento das vazões na Bacia, já que, mesmo com o aumento da área de drenagem de 185.600 km² (acréscimo de 57,1%) é evidenciado um declínio da vazão média de 60 m³/s.

A análise da variação da vazão média mensal permite também evidenciar um claro efeito de regularização exercido pelo reservatório, visto que nos meses de dezembro a fevereiro a diferença entre as vazões reais e aquelas estimadas considerando a tendência do comportamento das vazões observadas anteriores a 1973 é de mais de 990 m³/s. Este fato mostra o efeito exercido pelo reservatório no controle de enchentes, o qual ocasionou uma redução das vazões máximas a jusante do reservatório.

No período seco as vazões médias mensais estimadas a partir do preenchimento são inferiores às verificadas no rio, tendo sido observadas nos meses de junho a outubro vazões estimadas a partir da extensão da série menores que as observadas.

Estas diferenças atingiram até 600 m³/s, sendo a menor média mensal da série real igual a 1.953 m³/s, observada em julho, enquanto o menor valor das séries com valores preenchidos de 1.441 m³/s (Ibotirama) e 1.529 m³/s (Bom Jesus da Lapa), evidenciadas em setembro, o que mostra a mudança do mês com ocorrência da menor vazão a jusante de Juazeiro, o qual passou de setembro (anterior a 1979) para julho (posterior a 1979).

Na Figura 10 temos um resumo esquemático das vazões médias do São Francisco e seus afluentes no período de 1950 a 1999 (m³/s).

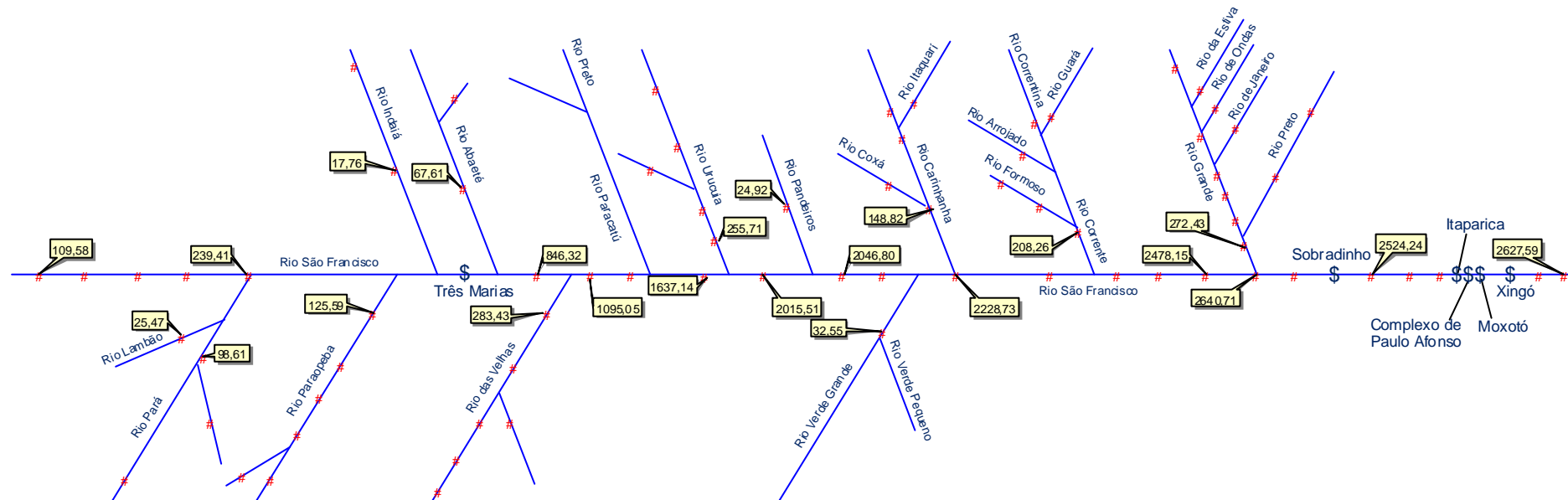


Figura 10. Distribuição esquemática das vazões médias do São Francisco e seus afluentes no período de 1950 a 1999 (m^3/s).

O aumento da disponibilidade de água nos períodos secos corresponde a um grande benefício sob o ponto de vista dos múltiplos usos a que se destina a água, à medida que aumenta a sua disponibilidade nos períodos de maior escassez, trazendo à tona uma discussão extremamente importante em relação à gestão dos recursos hídricos, que diz respeito não apenas à análise da quantidade de água disponível, mas, também, à variação da disponibilidade desta ao longo do tempo.

Desta forma pode-se dizer, desprezando-se o impacto dos demais usos da água na região considerada, que foram demandados 350 m³/s para garantir um aumento da disponibilidade de água no período de estiagem, elevando a vazão média mensal pertinente ao mês com menor vazão de 1.441 m³/s para 1.953 m³/s e diminuindo a vazão mensal pertinente ao mês com maior vazão de 4.886 m³/s (vazões projetadas a partir de Bom Jesus da Lapa) ou 5.678 m³/s (vazões projetadas a partir de Ibotirama) para 3.858 m³/s.

Para Traipú (área de drenagem de 622.600 km²), estação localizada próximo à foz do São Francisco, é evidenciada uma vazão média no período de 1950 a 1999 de 2.659 m³/s, sendo esta de 2.698 m³/s de 1950 a 1973 e de 2.608 m³/s de 1979 a 1999.

A comparação destas vazões com as obtidas em Ibotirama (área de drenagem de 325.200 km²) mostra a pequena contribuição do trecho compreendido entre Ibotirama e Traipú para o aumento da vazão e o impacto das ações desenvolvidas nesta área de 1979 a 1999, uma vez que, mesmo com o expressivo aumento da área de drenagem (297.400 km²) é evidenciado um declínio da vazão de 2.664 m³/s (Ibotirama) para 2.608 m³/s (Traipú), o que corresponde a uma redução de 56 m³/s (variação de 2,1%), mesmo a área de drenagem tendo aumentado em 91,5%.

No período considerado, além da construção e enchimento de diversos reservatórios, que contribuíram para um expressivo crescimento das perdas por evaporação, houve um grande aumento da retirada de água, não só em virtude do crescimento populacional, mas, principalmente, em virtude da expansão da agricultura irrigada.

A comparação das vazões médias observadas em Traipú com as citadas na literatura para o rio São Francisco, na qual constam desde valores de 2.850 m³/s até 3.360 m³/s, permite evidenciar que de 1950 a 1999 a vazão média de longa duração é de 2.659 m³/s, sendo esta de 2.698 m³/s para o período de 1950 a 1973 e de 2.608 m³/s de 1979 a 1999.

A vazão média, entretanto, cai para 2.025 m³/s quando se considera apenas os últimos treze anos da série (1987 a 1999), período no qual a precipitação média foi de 881 mm.

A consideração do período de 1979 a 1986, entretanto, conduz a uma vazão média de 3.411 m³/s e a uma precipitação média de 981 mm, demonstrando a oscilação das variáveis hidrológicas estudadas tanto ao longo da Bacia como no transcorrer do tempo.

3. USO DA ÁGUA PELA IRRIGAÇÃO NA BACIA

3.1 Panorama da Irrigação no Brasil

O Brasil possui a segunda maior área potencialmente irrigável do mundo: 55 milhões de hectares, sendo 30 milhões de terras baixas de várzeas e 25 milhões de terras altas. No

entanto, observa-se, pelo Quadro 4, que apesar do uso de uma área expressiva para agricultura, apenas uma pequena parcela é dedicada à irrigação, fazendo com que o país ocupe uma posição modesta em nível mundial, com apenas 1% da área irrigada (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002).

Quadro 4. A ocupação dos solos no Brasil*

	Em milhões de ha
I. Áreas com utilização econômica	
. Lavouras temporárias ⁽¹⁾	38,5
. Lavouras temporárias em descanso	4,0
. Culturas permanentes	7,5
. Pastagens plantadas	99,7
. Pastagens naturais	78,0
. Florestas artificiais	5,4
. Área irrigada	3,0
Sub total	236,1
II. Áreas sem utilização econômica	
. Florestas amazônicas (inclui todo tipo de reservas)	365,0
. Reservas indígenas ⁽²⁾ (homologadas, reservadas ou em processo de identificação fora da Floresta Amazônica)	101,8
. Centros urbanos, lagos, estradas e rios ⁽³⁾	30,0
. Terras devolutas ⁽⁴⁾	6,1
. Terras produtivas não aproveitadas, outros usos ou indefinidos	112,0
Sub total	614,9
Total	851,0

Fonte: IBGE - Censo Agropecuário, 1996.

(*) Tabela retirada do livro "Os Caminhos da Agricultura Brasileira", Santo, Benedito Rosa Espírito (2001).

(1) CONAB – Estimativa da Safra 2000/01

(2) IBAMA

(3) EMBRAPA - Estimativa

(4) INCRA - Resumo das Atividades do INCRA, 1985-94

3.2 Panorama da Irrigação na Bacia do São Francisco

A atuação do governo na Bacia do rio São Francisco foi expressiva, sendo representada pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), cuja principal missão é a de promover a irrigação na sua área de influência. A região apresenta condições climáticas ideais para a irrigação, porém o déficit hídrico é acentuado por causa da precipitação insuficiente e irregular.

Do total de terras aptas para a irrigação, na bacia do São Francisco, apenas 300.000 hectares são irrigados, o que representa apenas 10% do potencial de áreas aptas para a irrigação, sendo 74.000 hectares correspondentes a projetos públicos (Vale do São Francisco, 2002b). Nos últimos trinta anos, as áreas irrigadas do semi-árido foram palco de significativas transformações, principalmente no que diz respeito às culturas ali produzidas atualmente como a soja, uva, café entre outras.

O Quadro 5 mostra a distribuição do potencial de solos nos Estados da bacia do São Francisco.

Quadro 5. Distribuição do potencial de solos irrigáveis com acessibilidade a águas superficiais na bacia do rio São Francisco

Solos irrigáveis com acessibilidade a águas superficiais (ha)				
Estado	Classe de Terras para Irrigação			Total
	2	3	4	
Minas Gerais	178.000	2.389.700	5.500	2.573.200
Bahia	552.200	4.310.200	-	4.862.400
Pernambuco	-	453.500	-	453.500
Sergipe	-	65.000	-	65.000
Alagoas	-	133.700	12.200	145.900
Total	730.200	7.352.100	17.700	8.100.000

Fonte: PLANVASF (o PLANVASF excluiu Goiás e Distrito Federal em seus levantamentos).

3.3 Estimativa, a Partir de Dados Secundários, da Quantidade de Água Utilizada pela Atividade Agrícola na Irrigação

Para estimar a quantidade de água utilizada na irrigação, com base em dados secundários, identificaram-se e estabeleceram-se contatos com instituições governamentais e, ou privadas com o intuito de averiguar:

- o tipo de dados existentes;
- a qualidade desses dados; e
- o período a que os dados se referiam.

Com o primeiro contato, selecionaram-se as instituições que detinham bancos de informações atualizados e, aparentemente, confiáveis, para a coleta e reprodução das informações. Fez-se, também, um extenso levantamento bibliográfico em teses de mestrado e doutorado, livros, relatórios técnicos e artigos científicos, que pudessem ser utilizados como base de informação. As informações coletadas foram organizadas por assunto, e, em alguns casos, foram confeccionados gráficos e mapas.

A Figura 11 (a) ilustra a distribuição espacial das áreas irrigadas na bacia do rio São Francisco. Os dados apresentados nesta figura foram provenientes do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), do Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias dos Afluentes do São Francisco para o Estado de Minas Gerais (PDRH), da Secretaria de Recursos Hídricos do Estado da Bahia (SRH) e de teses de mestrado e doutorado defendidas na Universidade Federal de Viçosa.

Observa-se, ainda na Figura 11 (b), que os sistemas de irrigação por **pivô central** se distribuem ao longo de toda a Bacia, com uma maior concentração no Norte (Jaíba, Janaúba, Janaúria e Manga) e no Noroeste (Unaí, Bonfinópolis de Minas e Paracatu) de Minas Gerais e no Oeste da Bahia (Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães).

Os sistemas de irrigação por **aspersão convencional** se concentram principalmente nas cidades de Jaíba, Itacarambi e Manga, em Minas Gerais, e na sub-bacia do Rio Corrente, nas cidades de Bom Jesus da Lapa e São Félix do Coribe, no Estado da Bahia. Já a irrigação por

microaspersão está dispersa ao longo de toda a Bacia, principalmente nas áreas de fruticultura irrigada. Observa-se pequeno número de áreas irrigadas por **gotejamento**.

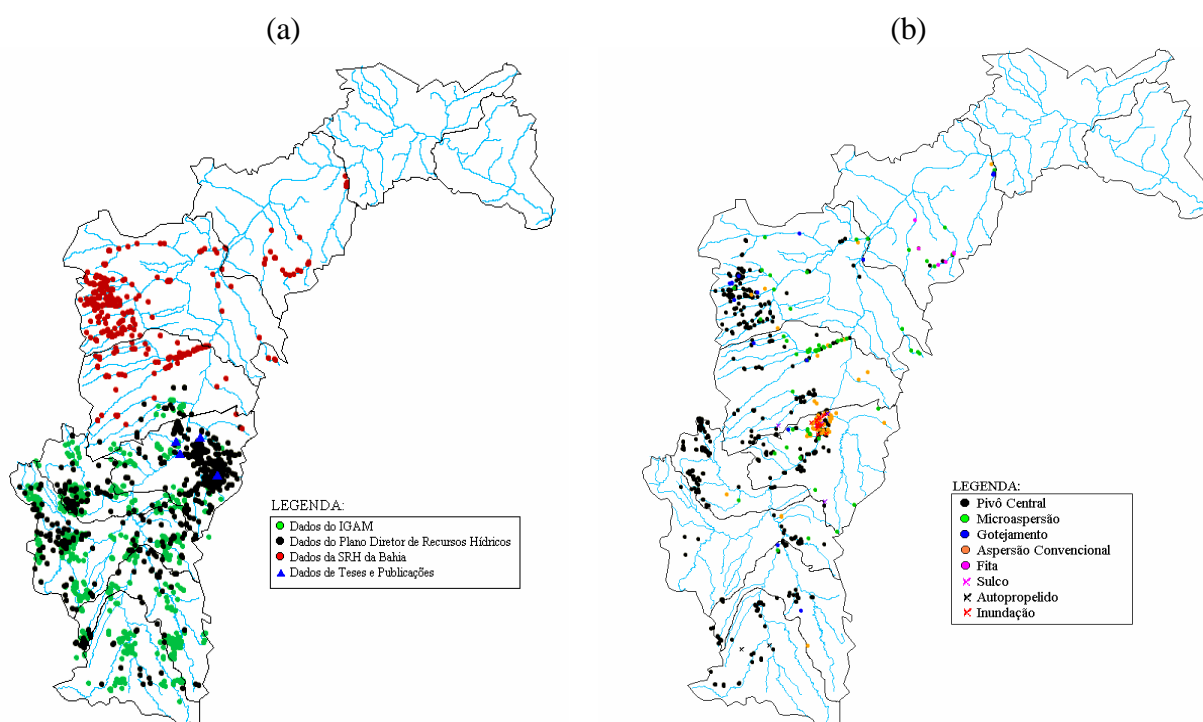


Figura 11. Bacia do rio São Francisco: (a) distribuição espacial das áreas irrigadas e (b) principais métodos de irrigação utilizados.

No Quadro 6 apresentam-se os valores indicativos da relação vazão/área irrigada para cada método de irrigação nos Estados de Minas Gerais e Bahia, segundo dados do PDRH-SF e do cadastro de usuários outorgados da SRH-BA, respectivamente.

Os maiores consumos de água por unidade de área irrigada em Minas Gerais foram observados no método de irrigação por superfície, enquanto os menores foram obtidos nos sistemas por gotejamento e mangueira. Na Bahia, as maiores relações vazão/área irrigada foram obtidas para pivô central e aspersão convencional; enquanto as menores relações foram obtidas em sistemas de irrigação localizada, onde se verificaram valores inferiores a 1 L/s/ha.

Quadro 6. Relação vazão/área irrigada em função dos métodos de irrigação para Minas Gerais e Bahia

Método de irrigação	Relação vazão/área irrigada (L/s/ha)	
	Minas Gerais	Bahia
Sulcos	1,67	-
Inundação	2,05	-
Aspersão convencional	1,22	0,84
Pivô-central	1,07	0,90
Autopropelido	0,84	-
Micro-aspersão / sub-copa	1,20	0,55
Gotejamento	0,83	0,66
Mangueira	0,80	-
Fita perfurada	-	0,79

3.4 Eficiência da Utilização da Água pela Atividade Agrícola na Irrigação em Regiões Específicas da Bacia

O número de projetos de irrigação avaliados em cada região foi estabelecido observando-se a diversificação dos sistemas de irrigação, das culturas irrigadas, do tipo de fonte de água (rio ou poço) e do nível tecnológico do produtor.

As avaliações foram conduzidas nos três Estados que detém a maior parcela da área do Vale do São Francisco, Bahia, Minas Gerais e Pernambuco. Foram avaliados 55 projetos (Figura 12) contemplando os seguintes sistemas: gotejamento (8) (Foto1), microaspersão (25) (Foto2), aspersão convencional (13) (Foto 3), canhão hidráulico (1) e pivô central (8) (Foto 4).

Na avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação utilizaram-se as metodologias consagradas para cada sistema:

- coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para irrigação localizada;
- coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas por aspersão,
- coeficiente representativo das perdas por deriva e por evaporação para irrigação por aspersão;
- eficiência de aplicação referente à média das 25% menores lâminas (Eq) para sistemas de irrigação localizada;
- eficiência de aplicação referente à média das 50% menores lâminas (Eh) para sistemas de irrigação por aspersão e
- índice de adequacidade atual e de projeto da média das 25% menores lâminas aplicadas para os métodos por aspersão e localizada.

O valor de $CUD_{60\%}$ abaixo do qual a uniformidade de aplicação foi considerada inadequada para irrigação localizada, bem como o valor de $CUD_{90\%}$ acima do qual ela foi considerada excelente, juntamente com os valores de CUD resultantes das avaliações realizadas nos sistemas de irrigação localizada e o seu valor médio são apresentados na Figura 13. Observa-se que a média dos CUDs foi 79,1%, valor inferior ao considerado excelente (90%).

Das 33 avaliações de sistemas de irrigação localizada apenas quatro (12,1%) apresentaram valores de CUD menores do que o valor considerado inadequado para este sistema ($CUD_{60\%}$). Destas, duas (50%) apresentaram valores de CUD muito próximos do $CUD_{60\%}$, indicando que pequenas melhorias advindas da manutenção corretiva seriam suficientes para elevar as suas uniformidades.

Os outros dois sistemas (50%), apresentaram valores de CUD muito abaixo do mínimo recomendado. Esses baixos valores ocorreram por causa de entupimentos dos emissores, indicando claramente deficiências na manutenção preventiva e corretiva do sistema. Ainda na Figura 13, nota-se que dez (30,3%) dos sistemas avaliados obtiveram valores de CUD acima do valor considerado excelentes, indicando que os mesmos foram bem dimensionados e estão sendo manejados adequadamente.

O valor de CUC abaixo do qual a uniformidade de aplicação foi considerada inadequada (75%) para a irrigação por aspersão, bem como o valor acima do qual ela foi considerada excelente (85%), juntamente com os valores de CUC resultantes das avaliações dos sistemas de irrigação por aspersão e o seu valor médio são apresentados na Figura 14.



Foto 1. Vista parcial de um cultivo de melão irrigado por gotejamento, com uma linha lateral para cada linha de plantio.



Foto 2. Vista de um pessegueiro irrigado por microaspersão.



Foto 3. Vista parcial de um campo cultivado com alface, irrigado com um sistema de irrigação por aspersão convencional. Em primeiro plano aparece a linha principal, a válvula de derivação e a linha lateral, onde estão instalados aspersores em um tubo de subida.



Foto 4. Vista parcial de um pivô central.

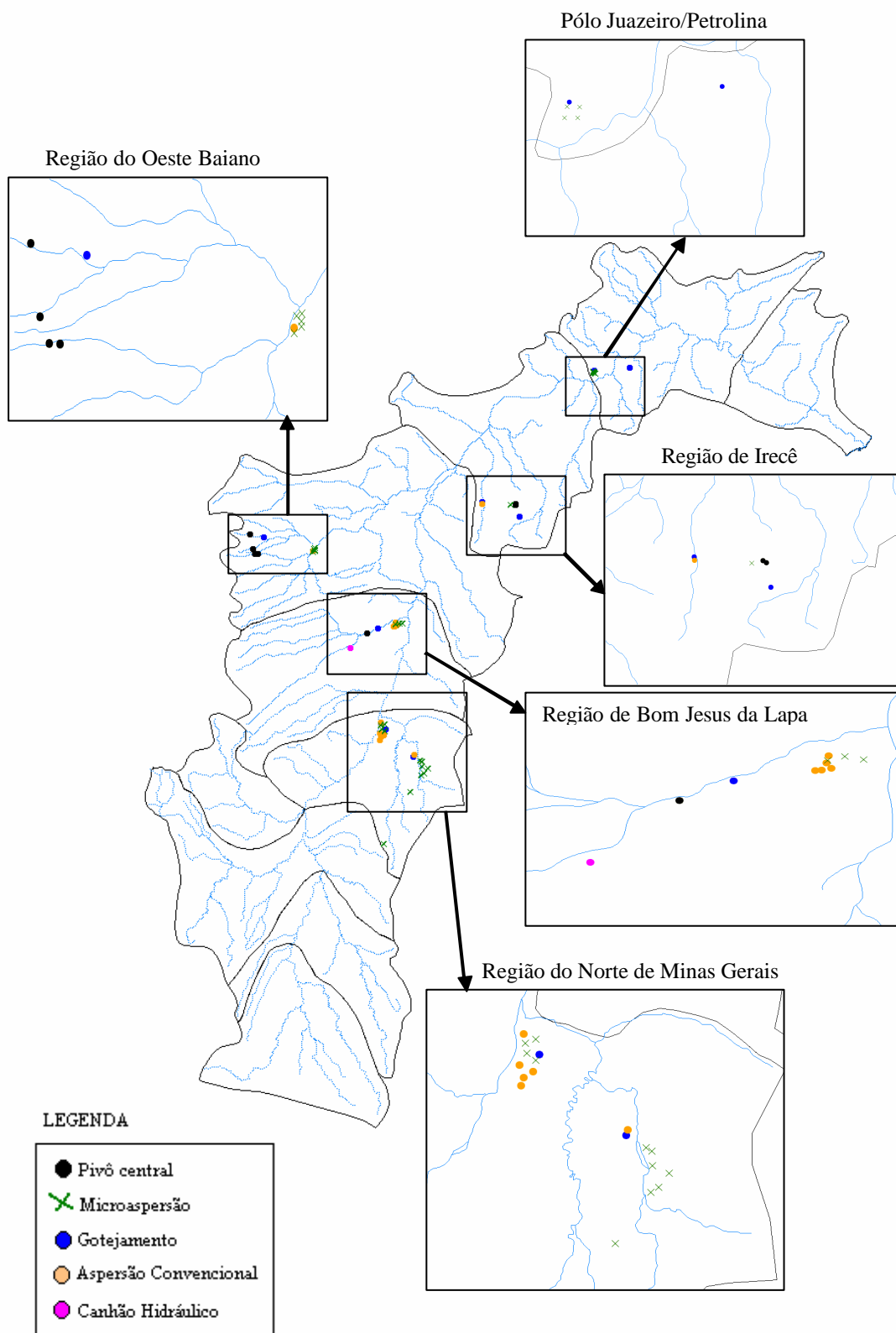


Figura 12. Distribuição espacial dos sistemas de irrigação avaliados na bacia do rio São Francisco, com destaque para as avaliações conduzidas em cada região.

Observa-se na Figura 14 que a média dos CUCs foi 78,6%, superior ao valor considerado inadequado, mas inferior ao considerado excelente. Dos 22 projetos avaliados, cinco deles (22,7%) apresentaram valores de CUC menores do que o mínimo recomendado ($CUC_{75\%}$) e sete sistemas (31,8%) acima do considerado excelente ($CUC_{85\%}$).

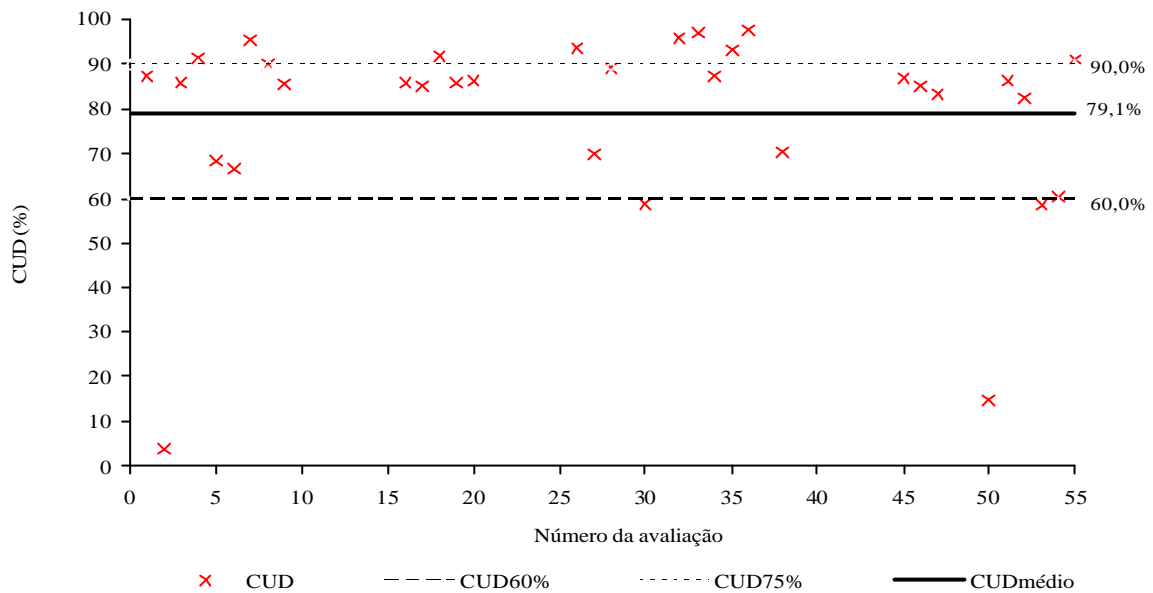


Figura 13. Valores de CUD obtidos ns sistemas de irrigação localizada.

Apenas dois sistemas apresentaram valores de CUC muito abaixo do mínimo recomendado, em decorrência da grande variação na pressão de operação dos aspersores, do grande espaçamento entre linhas laterais e entre aspersores, e da alta velocidade do vento observada durante a condução dos testes.

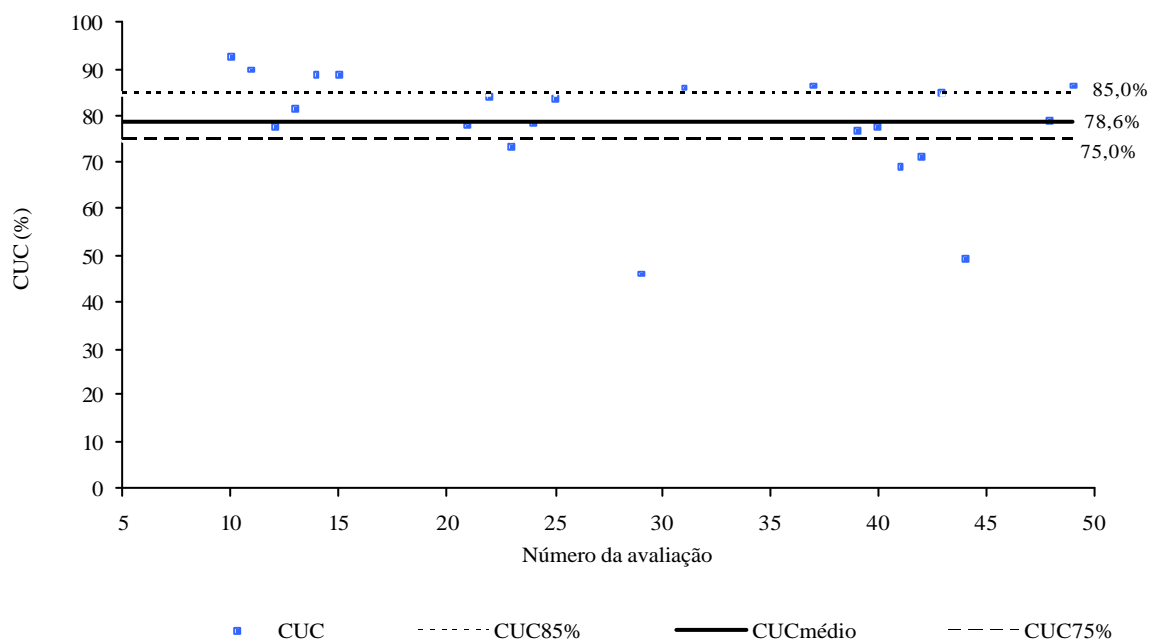


Figura 14. Valores de CUD obtidos nos sistemas de irrigação por aspersão.

As perdas por evaporação e arraste nos projetos de irrigação por aspersão foram, em média, 10,9% (Figura 15), sendo maiores na aspersão convencional do que em pivô central, conforme pode ser comprovado pelo maior valor médio deste parâmetro: 12,6% para aspersão convencional e 8% para pivô central.

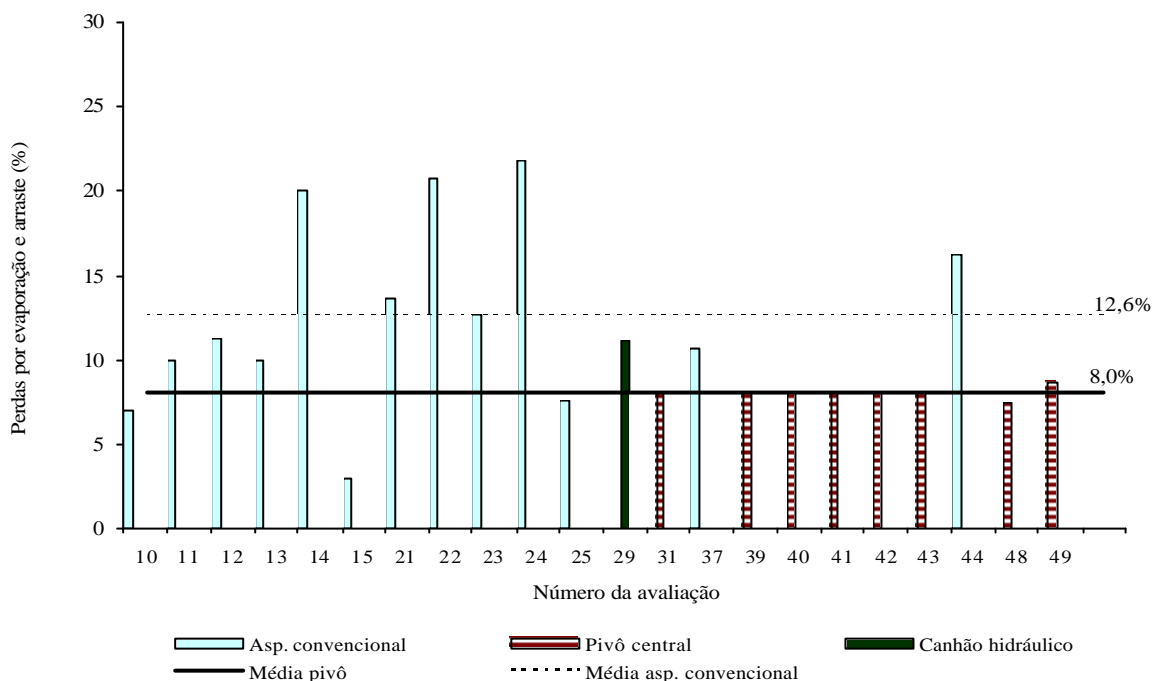


Figura 15. Perdas por evaporação e arraste em aspersão convencional e pivô central, bem como os seus valores médios.

Os valores de eficiência de aplicação obtidos nos sistemas de irrigação localizada avaliados, referentes às 25% menores lâminas (Eq), bem como o seu valor médio e o considerado excelente (85%) para este parâmetro são apresentados na Figura 16.

Os valores variaram de 3,8 a 97,7%, com média de 79,1%, a qual está abaixo do valor considerado excelente para irrigação localizada. Este valor indica que de cada 100 litros utilizados para irrigação, 79,1 litros são efetivamente utilizados pela cultura, sendo o restante perdido por vazamentos, evaporação e percolação.

Já a eficiência de aplicação na irrigação por aspersão, referente às 50% menores lâminas (Eh), bem como o seu valor médio e aquele considerado excelente (80%) são apresentados na Figura 17. Os valores variaram de 41,1 a 86,2%, com média de 70,3%, a qual está abaixo do valor considerado excelente para irrigação por aspersão.

Observa-se nas Figuras 16 e 17 que, em média, a eficiência de aplicação da irrigação localizada foi superior à da irrigação por aspersão, em decorrência do fato das perdas por evaporação e arraste serem consideravelmente altas na irrigação por aspersão e praticamente inexistentes na irrigação localizada. Outro fator a ser considerado são os espaçamentos inadequados entre laterais e aspersores que foram verificados nas irrigações por aspersão.

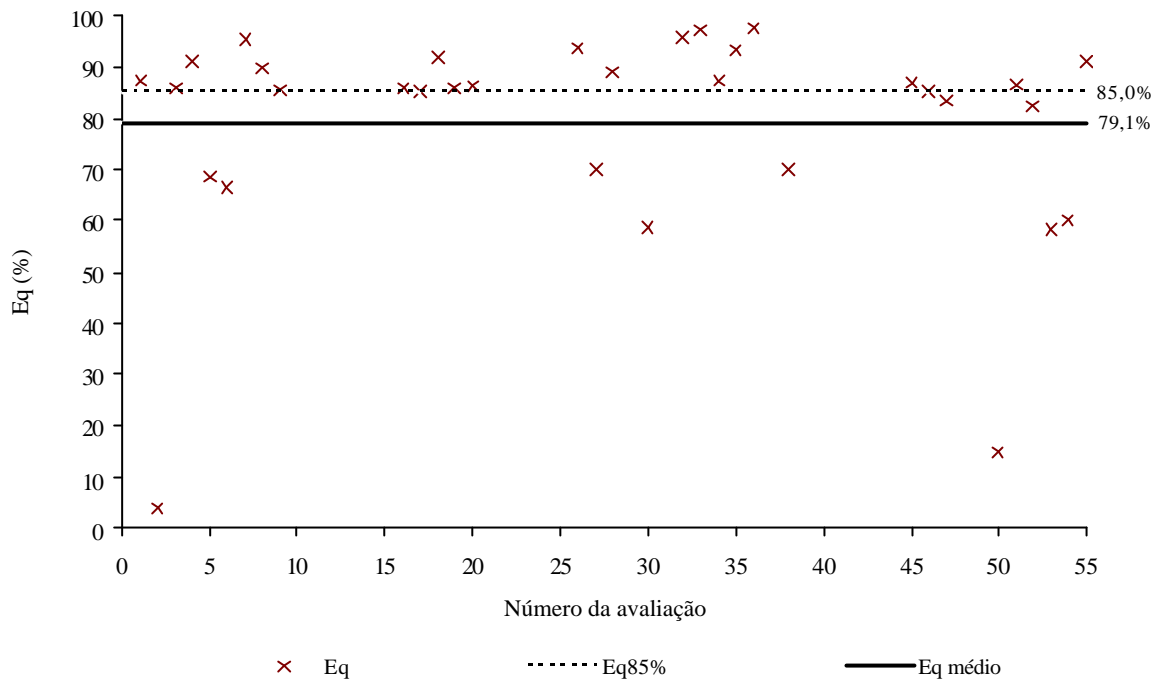


Figura 16. Eficiência de aplicação na irrigação localizada referente às 25% menores lâminas (Eq), seu valor médio e o valor considerado excelente para este parâmetro.

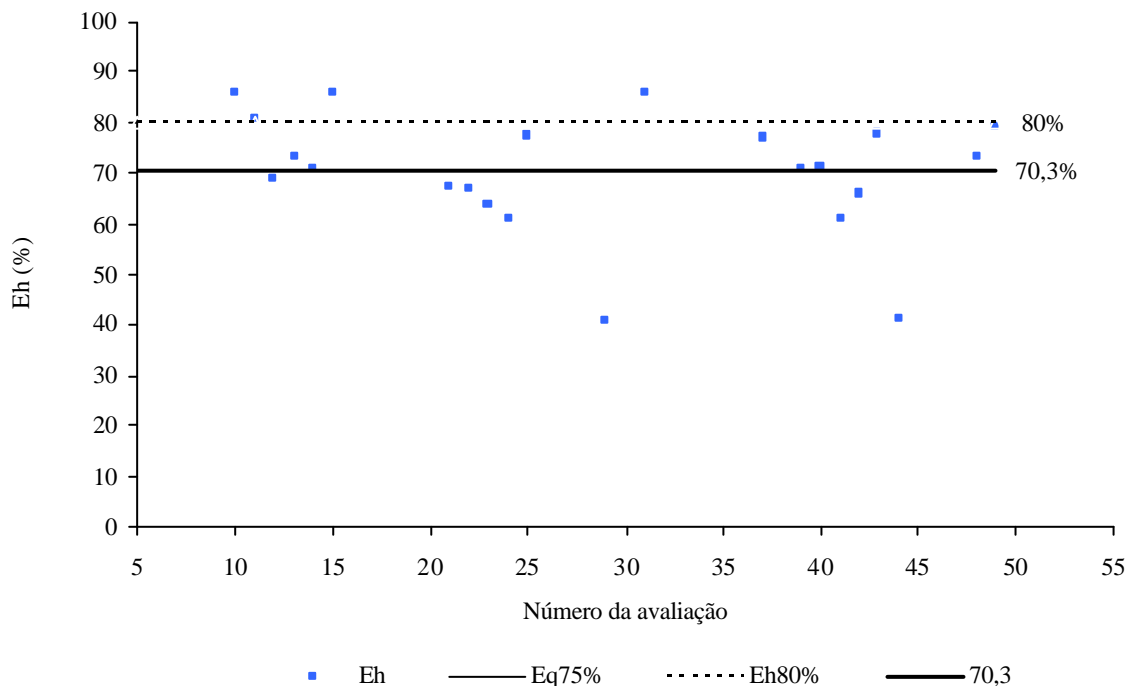


Figura 17. Eficiência de aplicação na irrigação por aspersão (Eh) referente às 50% menores lâminas, seu valor médio e o valor considerado excelente para este parâmetro.

Os índices de adequacidade atual e de projeto para irrigação localizada e para irrigação por aspersão são apresentados, respectivamente, nas Figuras 16 e 17. O uso deste índice se faz

necessário, uma vez que se pode ter uma eficiência de aplicação elevada em condições de irrigação deficitária, mascarando as análises. O índice de adequacidade atual indica se a irrigação foi em excesso ou em déficit. Um valor superior à unidade indica irrigação em excesso, um valor igual à unidade indica irrigação ideal e um valor menor indica irrigação deficitária.

Analisando-se a Figura 18 pode-se inferir que em 27 (81,8%) casos a média das 25% menores lâminas aplicada ($\bar{L}_{25\%}$) foi inferior à lâmina requerida, o que indica uma situação de irrigação deficitária. Em dois casos (6%) $\bar{L}_{25\%}$ foi igual à lâmina requerida, indicando que a irrigação foi adequada, e em quatro casos (12%) foi maior, indicando irrigação em excesso.

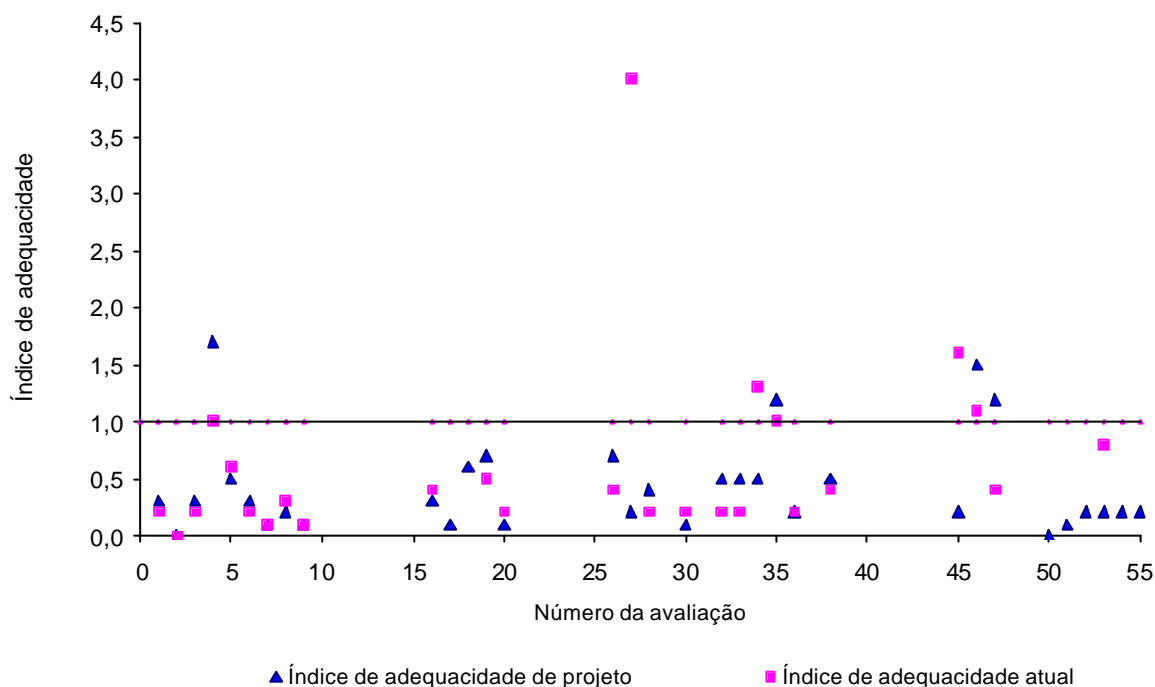


Figura 18. Índices de adequacidades atual e de projeto para sistemas de irrigação localizada.

Em 19 casos (57,6%) verificaram-se índices de adequacidade atual menores que os de projeto, mostrando que o déficit atual foi maior do que o de projeto, em virtude das irrigações terem sido realizadas após a data prevista. Em apenas dois (6%) casos a irrigação foi feita no momento programado. Por outro lado, em 12 casos (36,4%) a irrigação foi realizada antes do previsto, indicando déficit atual menor que o de projeto.

Analisando-se a Figura 19, em relação ao índice de adequacidade atual para os sistemas de irrigação por aspersão, pode-se inferir que em geral (77,3% dos casos) a média das 25% menores lâminas aplicada foi inferior à lâmina requerida, indicativo de irrigações deficitárias. Tal fato pode ser comprovado na figura por índices de adequacidade menores que a unidade. Em três casos (13,6%) a $\bar{L}_{25\%}$ foi igual a lâmina requerida, indicando que a irrigação foi adequada, e em dois casos (9,1%) foi maior indicando irrigação em excesso.

O manejo da irrigação permite identificar, com base em critérios técnicos, o momento de início das irrigações, bem como definir a quantidade de água adequada para atender as

necessidades hídricas da cultura, minimizando o consumo de energia, maximizando a eficiência de uso da água e mantendo favoráveis as condições de umidade do solo.

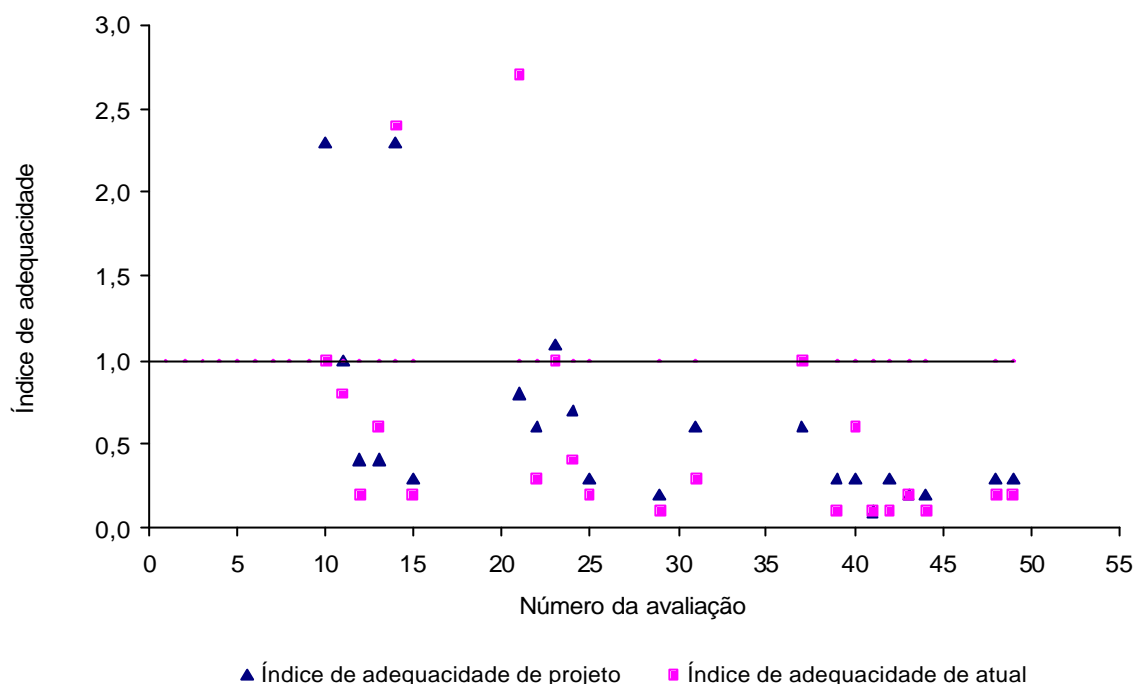


Figura 19. Índices de adequacidade atual e de projeto para sistemas por aspersão.

A avaliação do manejo da irrigação foi feita, preliminarmente, comparando-se a lâmina aplicada pelo irrigante durante uma irrigação de rotina com o déficit atual de umidade no solo. Posteriormente, comparou-se o déficit atual com o déficit de projeto. Neste caso foi estabelecido que a situação ideal seria aquela em que o déficit atual fosse igual ao de projeto.

Com os dados de solo e da lâmina média aplicada foi possível diagnosticar as irrigações. A Figura 20 apresenta os valores das lâminas médias aplicadas (em azul) e a lâmina de água necessária para elevar a umidade do solo à de capacidade de campo (branca hachurado).

Quando a lâmina média aplicada é maior que a necessária, há uma aplicação de água em excesso e, conseqüentemente, perda por percolação, igual a diferença entre estas, representado na figura pela cor amarela. Caso contrário, ou seja, se lâmina necessária é maior que a lâmina média aplicada, têm-se um déficit atual de água no solo igual a diferença entre estas, imediatamente, após a irrigação.

O déficit atual está representado na figura na cor marrom. Quando a lâmina média aplicada é igual a lâmina necessária não haverá perda por percolação e nem a ocorrência de déficit atual de água no solo.

Observa-se nesta figura que das 33 avaliações realizadas em microaspersão e gotejamento, em 20 (60,6%) a lâmina aplicada foi menor que a necessária, caracterizando irrigações deficitárias, enquanto que em 13 avaliações (39,4%) houve aplicação de água em excesso, caracterizando perdas por percolação, em média, de 5,5 mm. O déficit médio de irrigação foi 24,6 mm, com um valor máximo de 89,7 mm.

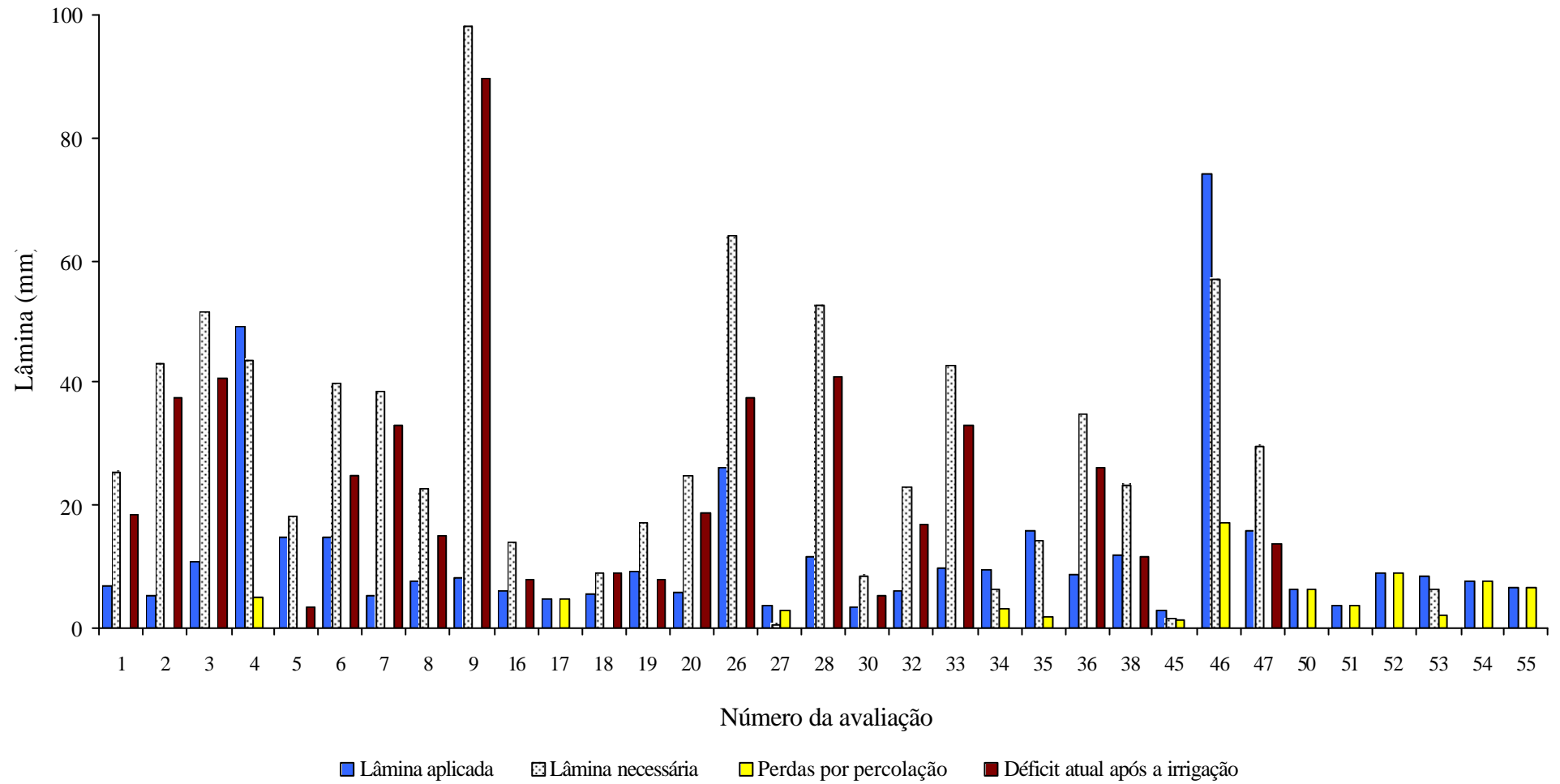


Figura 20. Lâminas aplicada e necessária, perda por percolação profunda e déficit atual de água no solo na irrigação localizada.

Observa-se na Figura 21, referente aos déficits atual e de projeto na irrigação localizada que em 15 projetos (45,5%) avaliados o déficit atual foi, em média, 15,9 mm maior que o déficit de projeto, indicando que as irrigações foram realizadas após o momento recomendado.

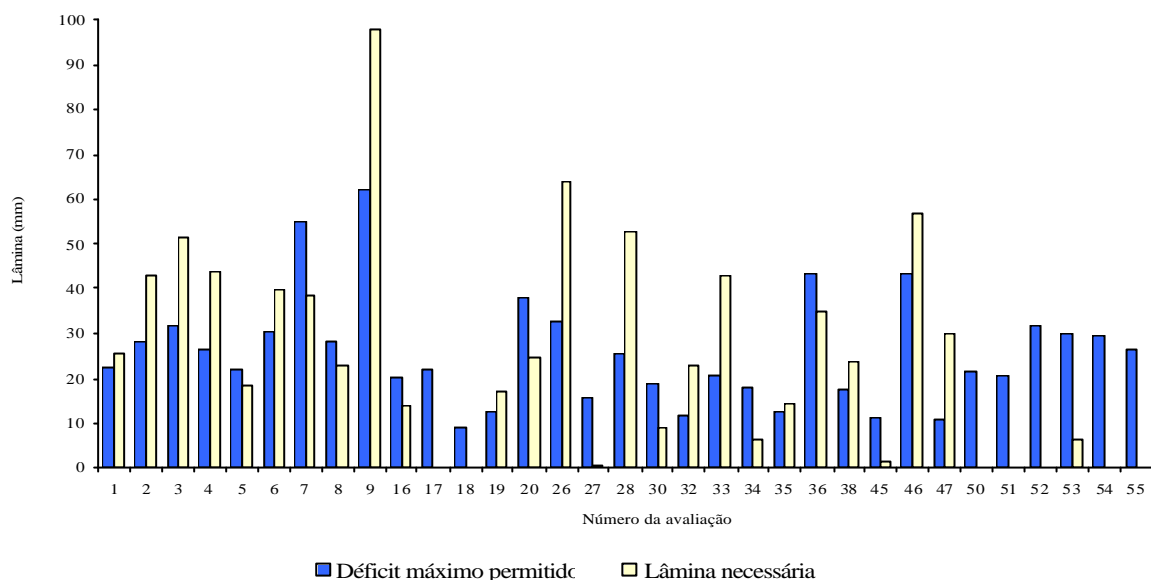


Figura 21. Representação dos déficits de projeto e atual de água no solo na irrigação localizada.

Em sete unidades avaliadas (21%) o déficit de água no solo no momento da irrigação foi igual ao déficit de projeto, caracterizando que a irrigação foi realizada no momento correto. Entretanto as lâminas aplicadas foram superiores às recomendadas em seis projetos e inferior em um. Ainda nesta figura verifica-se que em 11 unidades, ou seja, 33,3% do total, o déficit atual foi inferior ao déficit de projeto, indicando que a irrigação foi conduzida antes da hora.

Na Figura 22 evidencia-se que, das 22 avaliações efetuadas nos sistemas de irrigação por aspersão, em 15 (68,1%), a lâmina aplicada foi menor que a necessária, caracterizando irrigação deficitária, em média 18,6 mm. Em duas avaliações a lâmina necessária foi aplicada corretamente, enquanto que em 22,7% dos projetos aplicou-se água em excesso, com valor médio de lâmina excedente de 8 mm.

Das avaliações realizadas nos sistemas de irrigação por aspersão, observou-se que em quatro (68,2%) o déficit atual foi, em média, 8,2 mm maior que o déficit de projeto, enquanto que em sete (31,8%) o déficit atual foi inferior ao de projeto, indicando que a irrigação foi conduzida antes da hora (Figura 23).

3.5 Potencial de Economia de Água

Os percentuais de economia de água em relação ao total de água aplicado em cada projeto avaliado são apresentados nos Quadros 7 e 8 para irrigação localizada e por aspersão, respectivamente. Observa-se que existe um potencial médio de economia de água de 63,9% na irrigação localizada e de 43,1% na irrigação por aspersão.

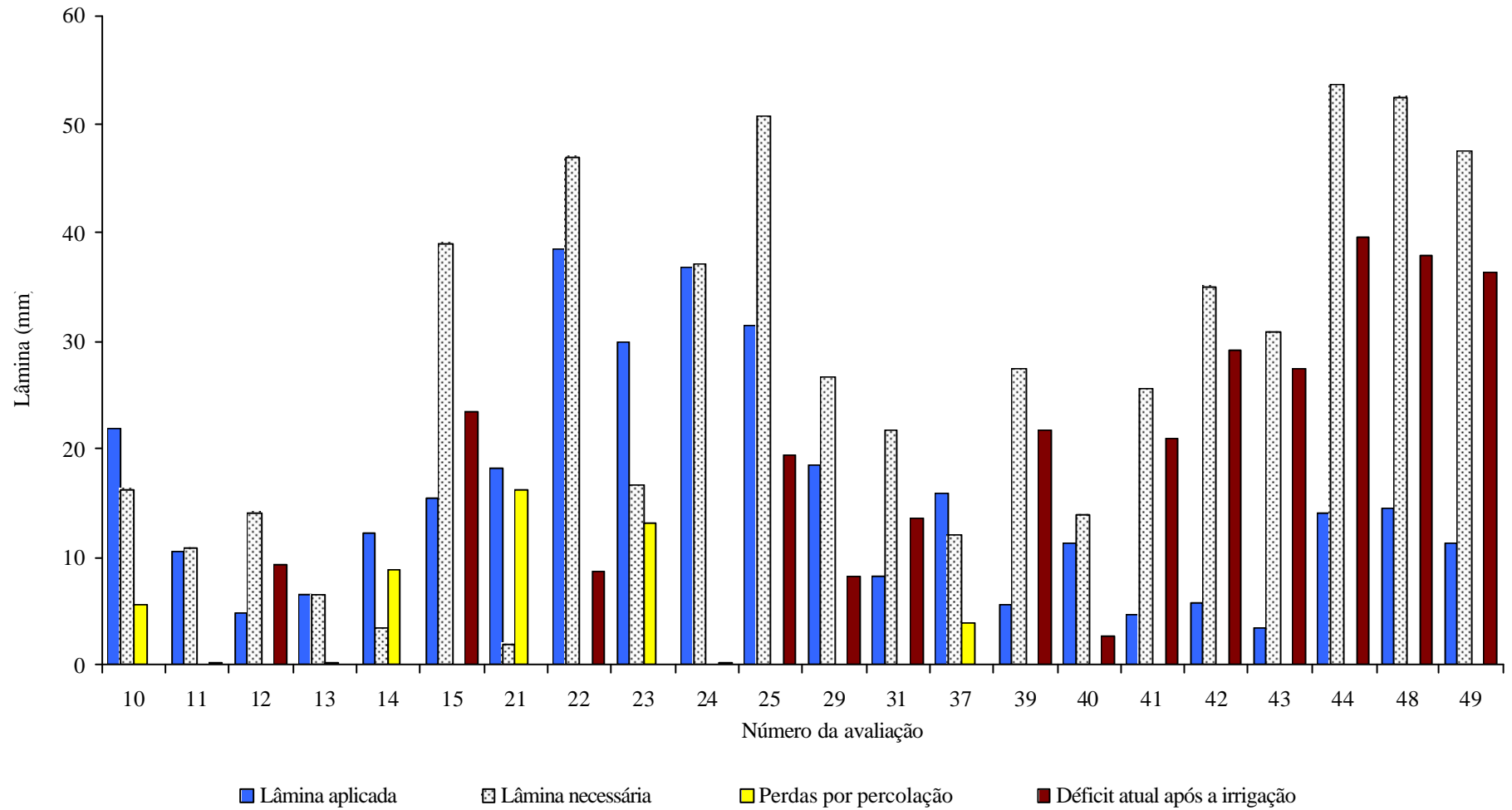


Figura 22. Representação das lâminas aplicada e necessária, da perda por percolação profunda e do déficit atual de água no solo na irrigação por aspersão.

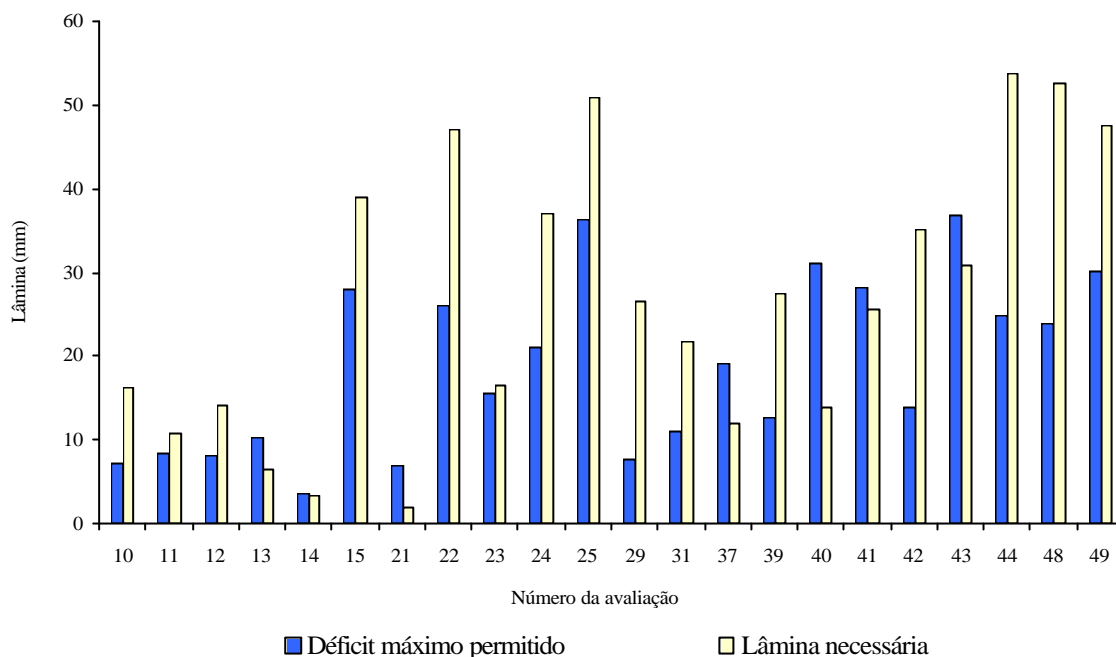


Figura 23. Representação dos déficits de projeto e atual de água no solo na irrigação por aspersão.

Quadro 7. Lâmina média aplicada ($L_{m_{aplicada}}$), lâmina necessária (L_N) e potencial para economia de água ao ano (P_{EA}) para os sistemas de irrigação localizada

Número da avaliação*	Microaspersão		Gotejamento		P_{EA} (%)
	$L_{m_{aplicada}}$ (mm)	L_N (mm)	$L_{m_{aplicada}}$ (mm)	L_N (mm)	
4	49,0	43,8	-	-	10,6
17	4,7	0	-	-	100,0
27	3,7	0,7	-	-	81,1
34	9,5	6,4	-	-	32,6
35	15,9	14,2	-	-	10,7
45	-	-	2,9	1,5	48,3
46	-	-	74,1	57	23,1
50	6,2	0	-	-	100,0
51	3,5	0	-	-	100,0
52	8,9	0	-	-	100,0
53	8,5	6,4	-	-	24,7
54	-	-	7,7	0	100,0
55	-	-	6,7	0	100,0
Média					63,9

* Avaliações com aplicações de água em excesso.

Quadro 8. Lâmina média aplicada ($L_{m_{aplicada}}$), lâmina necessária (L_N) e potencial para economia de água ao ano (P_{EA}) para o sistema de irrigação por aspersão convencional

Número da avaliação	Aspersão Convencional		P_{EA} (%)
	$L_{m_{aplicada}}$	L_N	
10	21,8	16,2	25,7
13	6,6	6,4	3,0
14	12,2	3,4	72,1
21	18,2	2,0	89,0
23	29,8	16,6	44,3
37	15,9	12,0	24,5
Média			43,1

*Avaliações com aplicações de água em excesso.

Na Figura 24 é apresentado o potencial médio de economia de água em cada irrigação e para cada sistema. Observa-se que a irrigação por gotejamento apresentou maior potencial de economia de água, 8,2 mm, seguido pela aspersão convencional com 8,0 mm e microaspersão com 4,3 mm.

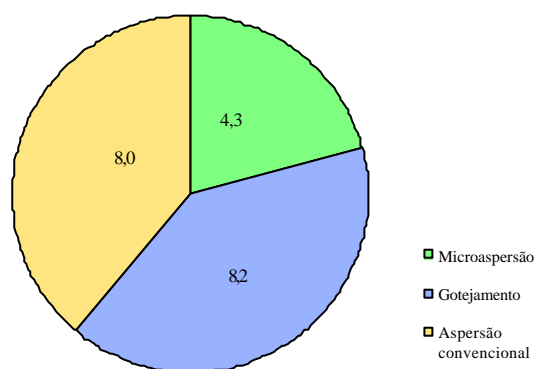


Figura 24. Potencial médio de economia de água (mm) em cada irrigação.

3.6 Escoamento da Produção Irrigada

A coleta de dados qualitativos e quantitativos com relação à área plantada, à produção e os volumes comercializados interna e externamente foi realizada por intermédio de visitas de campo, entrevistas semi-estruturadas junto a produtores, técnicos, extensionistas e diretores de associações de produtores rurais das localidades selecionadas (Pirapora, Jaíba e Janaúba, em Minas Gerais, Barreiras e Juazeiro, na Bahia, e Petrolina, em Pernambuco).

Definidos os centros de produção agrícola, procurou-se delimitar o destino da produção para os mercados consumidores em dois grupos distintos: mercados consumidores dentro da Bacia e mercados consumidores fora da área de abrangência da bacia do rio São Francisco, para se estimar o fluxo de produtos agrícolas irrigados das regiões produtoras na bacia para os seus

respectivos mercados consumidores. A produção das culturas selecionadas e a produção total nos perímetros irrigados, em 2001, são apresentadas no Quadro 9.

Na região Norte de Minas (Pirapora, Janaúba e Jaíba) observou-se que a principal lavoura cultivada é banana, seguida pela uva. A banana é comercializada, principalmente, nas CEASAs das cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, que absorvem 42,16%, 19,45% e 17,77%, da produção, respectivamente. Já a uva produzida na região é destinada, principalmente, ao CEASA de Belo Horizonte (78,54% no ano 2001).

Quadro 9. Produção dos perímetros irrigados da CODEVASF nos municípios selecionados, em 2001

Localidade	Cultura Principal	Produção (kg) (Cultura principal)	Produção Total (kg) (Todas culturas)
Pirapora	Uva	4.370.645	5.095.606
Janaúba	Banana	56.734.294	57.220.814
Jaíba	Banana	40.168.520	44.365.469
Barreiras	Café	13.301.940	-
Juazeiro	Manga	37.515.770	1.091.973.100
Petrolina	Manga	79.394.530	268.629.270

Fonte: Relatórios de Produção CODEVASF (2001).

No dipólo Petrolina/Juazeiro verificou-se que a cultura principal é a manga, destinada ao mercado externo (82% em 2001). Parte da uva produzida também é destinada ao exterior (37,9%), enquanto que a produção de café do pólo de Barreiras destina-se ao Sul de Minas Gerais, para industrialização e comercialização nos mercados interno e externo.

Os dados agregados para todos os municípios selecionados permitem concluir que 80% da produção destinam-se aos mercados consumidores que se encontram fora da bacia do rio São Francisco (Figura 25).

A captação de água pela agricultura, com o propósito de irrigar lavouras, que terão os seus produtos vendidos para consumidores fora da bacia, diminui a disponibilidade de recursos hídricos a serem utilizados para outros usos como o doméstico, industrial, aquíicultura, e pecuária, pois à medida que as áreas irrigáveis são expandidas é necessário aumentar o suprimento de água para as lavouras irrigadas.

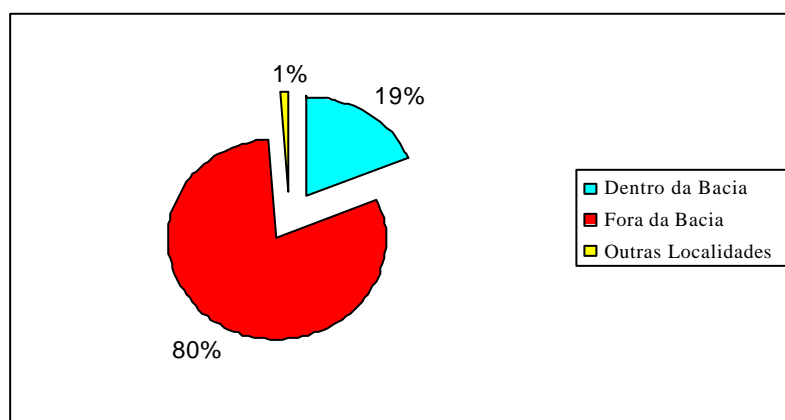


Figura 25. Distribuição percentual da produção da bacia do São Francisco, para regiões dentro e fora da bacia.

4. CONCLUSÕES GERAIS

4.1 Análise do Comportamento Hidrológico na Bacia

- As precipitações médias anuais no Alto São Francisco são de 1.000 a 1.750 mm, no Médio de 550 a 1.750 mm, no Sub-médio de 400 a 550 mm e no Baixo de 400 a 1.300 mm.
- As vazões médias de longa duração evidenciadas no rio principal ao longo do Alto São Francisco são inferiores a 1.000 m³/s, no Médio de 1.000 a 2.700 m³/s e no Submédio e Baixo de 2.000 a 2.700 m³/s.
- As vazões médias de longa duração são, em todas as estações situadas em afluentes do São Francisco, menores que 1.000 m³/s.
- As vazões específicas médias de longa duração diminuem ao longo do rio São Francisco da sua nascente para a foz, sendo o valor máximo igual a 22,61 L/s/km², obtido em Iguatama, e o valor mínimo igual a 4,22 L/s/km², evidenciado em Traipú.
- Os valores médios (período de 1950 a 1999) das vazões máximas anuais obtidas na calha principal no Alto São Francisco são inferiores a 4.000 m³/s, no Médio e Submédio de 4.000 a 7.800 m³/s e no Baixo de 7.000 a 7.800 m³/s.
- Os valores médios (período de 1950 a 1999) das vazões mínimas anuais com sete dias de duração obtidos no rio principal no Alto São Francisco são inferiores a 500 m³/s, de 500 a 1.700 m³/s no Médio e de 1.000 a 1.700 m³/s no Submédio e Baixo.
- Nos afluentes do São Francisco o valor médio da vazão mínima anual com sete dias de duração foi, em geral, inferior a 100 m³/s. Apenas em seis estações a vazão mínima superou 100 m³/s, sendo entretanto inferior a 200 m³/s.
- O coeficiente de deságüe nas estações situadas no rio principal ao longo do Alto São Francisco é de 0,3 a 0,5; de 0,1 a 0,3 nas estações localizadas no Médio e de 0,1 a 0,2 nas estações situadas no Submédio e Baixo.
- Os valores médios (período de 1950 a 1999) das vazões associadas à 95% de permanência obtidos na calha principal do São Francisco são inferiores a 500 m³/s no Alto, de 500 a 1.700 m³/s no Médio e de 1.000 a 1.700 m³/s no Submédio e Baixo.
- Para o Alto São Francisco é evidenciada a seguinte tendência de variação durante o período de 1950 a 1999: aumento da precipitação média anual, do coeficiente de deságüe e das vazões média, máxima e mínima.
- No Médio São Francisco observa-se a seguinte tendência de variação temporal: redução da precipitação média anual e aumento do coeficiente de deságüe e das vazões média, máxima e mínima.

- No Submédio e no Baixo São Francisco é constatada a seguinte tendência de variação temporal: aumento da precipitação média anual e da vazão mínima e redução das vazões média e máxima, bem como do coeficiente de deságüe.
- A alta significância da variação temporal da vazão mínima com sete dias de duração e das vazões associadas às maiores permanências na estação Boca da Caatinga indicam uma nítida mudança das condições de escoamento do rio Verde Grande e de seus afluentes durante os meses mais secos, o que decorre do expressivo crescimento da agricultura irrigada na região.
- A diferença entre a vazão média de longa duração observada na estação Juazeiro a partir de 1979 (início de operação de Sobradinho) e a vazão estimada a partir da extensão da série histórica com base em dados das estações de Ibotirama e Bom Jesus da Lapa é da ordem de 350 m³/s.
- Após a construção e início de operação de Sobradinho houve, na estação Juazeiro, um expressivo decréscimo da vazão mensal máxima (superior a 1.000 m³/s) e aumento da vazão mensal mínima (superior a 500 m³/s).
- A vazão média de longa duração em Traipú (localizada próximo a foz da bacia do São Francisco) no período de 1979 a 1999 é igual a 2.608 m³/s.
- A vazão média de longa duração em Traipú (área de drenagem de 622.600 km²), no período de 1979 a 1999, igual a 2.608 m³/s, é inferior à evidenciada em Ibotirama (área de drenagem de 325.200 km²) e igual a 2.664 m³/s, o que mostra a pequena contribuição do trecho de Ibotirama a Traipú para o aumento da vazão e o expressivo impacto das ações desenvolvidas nesta área ao longo do período de 1979 a 1999.

4.2 Uso da Água pela Irrigação na Bacia

- Os dados secundários da bacia São Francisco se encontram dispersos em diversos órgãos públicos em nível federal e estadual.
- A irrigação representa a grande maioria das outorgas emitidas nos Estados de Minas Gerais (76,0 %) e da Bahia (93,9%).
- Em 20 (60,6%) das 33 avaliações realizadas em propriedades que utilizam a microaspersão e o gotejamento, a lâmina aplicada foi menor que a lâmina necessária, caracterizando irrigações deficitárias. Em apenas 13 avaliações (39,4%) houve aplicação de água em excesso, ocasionando perdas por percolação.
- A lâmina média percolada nos sistemas localizados foi 5,5 mm, com valor máximo de 17,1 mm, enquanto que o déficit médio de água foi 24,6 mm, com maior valor observado de 89,7 mm.
- O déficit atual de água no solo, nas avaliações das áreas com irrigação localizada, foi maior que o déficit de projeto em 45,5% das propriedades avaliadas, sendo que o déficit atual superou, em média, em 15,9 mm o de projeto. O maior diferença entre os déficits foi 36 mm.

- Em sete unidades avaliadas o déficit de água no solo no momento da irrigação foi igual ao déficit de projeto, caracterizando que a irrigação foi realizada no momento correto.
- Em 11 unidades, ou seja, 33,3% do total, o déficit atual de água no solo foi inferior ao déficit máximo permitido, indicando que a irrigação foi conduzida antes do momento recomendado.
- Em 15 (68,1%) das 22 avaliações conduzidas nos sistemas de irrigação por aspersão (aspersão convencional, canhão hidráulico e pivô central) a lâmina aplicada foi menor que a lâmina necessária, caracterizando irrigações deficitárias.
- Em média, foi observado nas áreas irrigadas por aspersão, um déficit de água no solo de 18,6 mm, após as irrigações. O maior valor observado foi 39,6 mm.
- Em duas avaliações, em propriedades irrigadas por aspersão, a lâmina aplicada foi igual a necessária, indicando irrigações corretas, enquanto que em cinco (22,7%) avaliações constatou-se aplicações em excesso, em média de 8 mm.
- O déficit atual foi maior que o de projeto em 15 (68,2%) das propriedades avaliadas, sendo a diferença, em média, de 8,2 mm. O maior diferença observada entre os déficits foi 28,7 mm. Em sete (31,8%) avaliações o déficit atual foi inferior ao de projeto, indicando que a irrigação foi iniciada antes do momento adequado.
- O valor médio dos coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) foi 79,1%, inferior ao considerado excelente ($CUD_{90\%}$). Das 33 avaliações conduzidas em apenas quatro (12,1%) os valores de CUD foram menores que o considerado inadequado para este sistema ($CUD_{60\%}$).
- Em dez (30,3%) sistemas avaliados os valores de CUD foram superiores ao considerado excelente.
- A média dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) foi 78,6%, valor superior ao considerado inadequado ($CUC_{75\%}$), mas inferior ao considerado excelente ($CUC_{85\%}$). Em apenas cinco (22,7%) das 22 avaliações conduzidas foram observados valores menores que o considerado inadequado. Em sete avaliações (31,8%) os valores de CUC foram superiores ao considerado excelente.
- A uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação localizada foi, em geral, superior a da irrigação por aspersão.
- As perdas por evaporação e arraste foram, em média, 10,9%, sendo maiores na aspersão convencional (12,6%) do que em pivô central (8%).
- A eficiência de aplicação de água referentes à 25% das menores lâminas aplicadas (Eq) variaram de 3,8% a 97,7%, com média de 79,1%, abaixo de 85%, valor considerado excelentes para a irrigação localizada.

- Os valores da eficiência de aplicação de água referentes às 50% menores lâminas aplicadas (Eh) variaram de 86,2 a 41,1%, com média de 71,5%, abaixo 80%, valor considerado excelente para os sistemas por aspersão.
- Em 27 (81,8%) avaliações realizadas em propriedades com irrigação localizada o índice de adequacidade atual em relação às 25% menores lâminas aplicada foi inferior a unidade indicando irrigação deficitária; em dois casos ele foi igual à unidade, indicando irrigação adequada em quatro casos foi maior que um, indicando irrigação em excesso.
- Em 19 (57,6%) avaliações em áreas com irrigação localizada o índice de adequacidade atual foi menor que o de projeto, indicando que a irrigação foi realizada após o momento adequado; em dois (6%) casos os dois índices foram iguais, indicando que a irrigação foi realizada no momento correto e em 12 (36,4%) das irrigações avaliadas o índice de adequacidade atual foi maior que o de projeto, indicando que a irrigação foi realizada antes do momento adequado.
- Em 77,3% das avaliações realizadas em irrigação por aspersão o índice de adequacidade atual em relação às 25% menores lâminas aplicadas foi inferior à unidade indicando irrigações com déficit; em três casos ele foi igual à unidade, indicando irrigação adequada e em dois casos foi maior que um, indicando irrigação em excesso.
- Em 15 (68,2%) propriedades com irrigação por aspersão o índice de adequacidade atual foi menor que o de projeto, indicando que a irrigação foi realizada após a data prevista; em dois (9,1%) casos eles foram iguais, indicando que a irrigação foi realizada no momento correto, e em cinco (22,7%) das irrigações avaliadas o índice de adequacidade atual foi maior que o de projeto, indicando que a irrigação foi realizada antes da data prevista.
- Se fosse adotado um manejo adequado da irrigação 63,9% da água aplicada nas áreas com irrigação localizada e 43,1% da água aplicada na áreas com aspersão poderiam ter sido economizadas.

5. RECOMENDAÇÕES GERAIS

- Considera-se que o trabalho desenvolvido permitiu a obtenção de informações de caráter geral, que possibilitam uma visualização global do comportamento hidrológico, do uso da água na irrigação e da destinação dos produtos gerados com o uso desta. O fato de o estudo ter sido realizado para toda a bacia, entretanto, dificultou a obtenção de informações detalhadas dos diversos fatores que interferem nos comportamentos evidenciados.
- A partir dos resultados obtidos neste trabalho, considera-se que possam ser tomadas medidas visando uma análise mais detalhada em sub-bacias menores, como as dos rios Verde Grande e Paracatu. Estudos desta natureza permitirão, pelo seu menor espaço geográfico de análise, uma abordagem mais aprofundada dos diversos fatores que interferem na disponibilidade de água na sub-bacia, e das formas possíveis de intervenção sobre estes a fim de garantir o aumento de disponibilidade e o uso otimizado da água.
- Julga-se também essencial, para a otimização do uso da água e a sua adequada gestão, a geração de um banco de dados unificado no qual inconsistências, como, por exemplo,

aquelas evidenciadas em relação à área irrigada e à vazão outorgada, sejam compatibilizadas.

Considerando que:

- O desenvolvimento econômico e social na bacia do São Francisco se deve em grande parte à implementação dos projetos de irrigação que mudaram e continuam a mudar a economia da região;
- que esta mudança se deu em um período relativamente curto, não possibilitando a adoção e o aprendizado das técnicas adequadas de manejo da irrigação, e nem a manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos de irrigação; e
- que a irrigação ineficiente e inadequada resulta em desperdício de água e energia, recursos finitos que estão cada dia mais escassos.

Julga-se fundamental desenvolver ações para aumentar a eficiência do uso da água na Bacia, em especial pelo setor agrícola.

Afluentes do São Francisco, o rio Paracatu drena uma bacia de aproximadamente 45.600 km². Os municípios componentes da bacia do Paracatu localizam-se na porção Noroeste de Minas Gerais e Leste de Goiás, abrangendo ainda o Distrito Federal. Historicamente, estas áreas constituem-se como de ocupação antiga, sendo a extração de minerais e a pecuária as atividades responsáveis pelo início desse processo (ANA, 2002).

Quanto à base produtiva, a bacia do Paracatu tem sua estrutura sustentada no setor agropecuário, principal gerador de emprego e renda. A agricultura é predominantemente constituída por lavouras temporárias, entretanto a implantação de planos e programas governamentais direcionados para esta área, no final da década de 70 e no decorrer dos anos 80, notadamente o PLANOROESTE, vem contribuindo para impulsionar a atividade agrícola na Bacia, principalmente a agricultura irrigada (ANA, 2002).

Quanto ao uso atual dos recursos hídricos, a distribuição do uso da água, subterrânea e superficial, na bacia do Paracatu tem as seguintes características (Ferreira e Euclides, 1998):

- As áreas onde se concentram os maiores centros de exploração localizam-se nos municípios de Paracatu e Unaí;
- a estrutura de uso da água subterrânea mostra que do volume total explorado cerca de 68% destinam-se a uso público; 20% para uso pecuário; 9,6% para usos doméstico e industrial e 1,6% para uso agrícola;
- o volume atual de água subterrânea explorada pelos sistemas de abastecimento d'água atinge 55% do volume total captado; e
- o consumo da água superficial para fins industriais é ainda muito reduzido, enquanto o consumo para irrigação já apresenta conflitos em algumas regiões.

A bacia do rio Verde Grande ocupa uma área aproximada de 31.000 km², dos quais cerca de 87% encontram-se em território mineiro e 13% em território baiano (SEAPA, 1999).

A área da bacia do Verde Grande tem respondido por uma parte expressiva das mudanças ocorridas na base produtiva da região Norte de Minas, onde se localizam dois dos principais pólos de desenvolvimento econômico, o de Montes Claros e o de Janaúba (Ferreira e Euclides, 2002).

Conforme estabelece a Constituição Federal, a bacia do rio Verde Grande é constituída por cursos d'água de domínio da união, como os rios Verde Grande e Verde Pequeno, e por rios de domínio dos Estados de Minas Gerais e Bahia. Isso pode demonstrar o grau de complexidade da administração dos recursos hídricos da Bacia, dificultada ainda mais pela existência de órgãos diversos com numerosas e, por vezes, superpostas competências (Ferreira e Euclides, 2002).

Quanto ao uso atual dos recursos hídricos na bacia do Verde Grande tem-se as seguintes características (SEAPA/RURALMINAS/TECNOSOLO/ EPTISA, 1999):

- Aproximadamente 8% estão ocupados com culturas permanentes e/ou temporárias, sendo que perto de 20.000 ha (0,65%) correspondem a culturas irrigadas.
- Os maiores déficits hídricos estão localizados na bacia do rio Gortuba e no trecho médio da bacia do rio Verde Grande a montante da cidade de Jaíba.
- A demanda de água para irrigação, de 398,16 hm³/ano, constitui o melhor indicador dos limites de disponibilidade dos recursos hídricos da Bacia, por seu porte e por ser uma atividade disseminada em todas as áreas da Bacia. Responde por 88% do total da demanda de água na região, sem considerar a manutenção de um fluxo residual mínimo. Considerando este fluxo, o percentual cai para 84%.

Tendo em vista a grande importância dos rios Paracatu e do Verde Grande no âmbito da bacia do São Francisco, pretende-se adotá-los como bacias-piloto para o desenvolvimento das ações para aumentar a eficiência do uso da água nestas Bacias, em especial pelo setor agrícola, buscando, gerar informações e conhecimentos que possam servir de base para ações em outras bacias. Assim, recomenda-se que em trabalhos futuros sejam contemplados, para as Bacias do Paracatu e do Verde Grande, os seguintes objetivos (Ações):

- Atualizar os cadastro de usuários da água das Bacias;
- Analisar o comportamento hidrológico nas Bacias, bem como avaliar a variação espacial e temporal da precipitação e da vazão a partir de 1970;
- Proceder ao levantamento do uso do solo e do crescimento da área irrigada a partir de 1970;
- Quantificar a eficiência de irrigação nas Bacias;
- Avaliar a interferência das ações antrópicas desenvolvidas nas Bacias no seu comportamento hidrológico;
- Desenvolver modelo para a análise integrada dos impactos causados pelos múltiplos usuários da água na sua disponibilidade; e
- Desenvolver e implementar um programa de treinamento e de capacitação de irrigantes.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BACIA DO SÃO FRANCISCO	
1.1 Geografia, Clima e Hidrologia	2
1.2 Aproveitamentos Hidrelétricos e Capacidade de Acumulação	8
1.3 Solos, Exploração Agrícola e Irrigação	11
2. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO NA BACIA	14
2.1 Procedimento Metodológico Utilizado	15
2.1.1 Seleção e análise dos dados básicos	15
2.1.2 Preenchimento de falhas e extensão das séries	16
2.1.3 Cálculo da precipitação média	19
2.1.4 Vazões mínima e máxima	19
2.1.5 Coeficiente de deságüe	19
2.1.6 Curva de permanência	20
2.1.7 Variação absoluta, variação relativa e significância	20
2.1.8 Confecção de mapas com a variação absoluta, variação relativa e significância das variáveis hidrológicas analisadas	21
2.1.9 Análise da estacionariedade	21
2.2 Variação Espacial e Temporal do Comportamento Hidrológico na Bacia	21
2.2.1 Variação espacial das principais variáveis hidrológicas estudadas	21
2.2.2 Variação temporal das principais variáveis hidrológicas estudadas	30
• Sub-bacia 40	35
• Sub-bacia 41	41
• Sub bacia 42	42
• Sub bacia 43	43
• Sub bacia 44	44
• Sub bacia 45	48
• Sub bacia 46	48
• Sub bacia 47	50
• Sub bacia 48	50
• Sub bacia 49	62
2.2.3 Análise da variação do comportamento das vazões na calha do rio principal no Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco	63
3. USO DA ÁGUA PELA IRRIGAÇÃO NA BACIA	65
3.1 Panorama da Irrigação no Brasil	65

3.2	Panorama da Irrigação na Bacia do São Francisco	67
3.2.1	Alto São Francisco	72
3.2.2	Médio São Francisco	72
3.2.3	Submédio São Francisco	75
3.2.4	Baixo São Francisco	76
3.3	Estimativa, a partir de Dados Secundários, da Quantidade de de Água Utilizada pela Atividade Agrícola na Irrigação	77
3.3.1	Instituições que forneceram dados que contribuíram para o subprojeto	77
3.3.2	Principais métodos de irrigação utilizados na bacia do rio São Francisco	80
3.3.3	Área total irrigada pelos principais métodos de irrigação na bacia do rio São Francisco	81
3.3.4	Vazão outorgada	85
3.4	Eficiência da Utilização da Água pela Atividade Agrícola na Irrigação em Regiões Específicas da Bacia	93
3.4.1	Áreas específicas para avaliação, em campo, da performance dos diversos sistemas de irrigação	93
3.4.2	Manejo da irrigação nas áreas avaliadas	97
	• Características físico-hídricas dos solos coletados das áreas avaliadas	98
	• Avaliação do manejo da irrigação	99
3.4.3	Desempenho dos sistemas de irrigação avaliados na bacia do rio São Francisco	105
	• Uniformidade de aplicação de água	105
	• Eficiência de aplicação de água	110
3.5	Potencial de Economia de Água	114
3.5.1	Nas áreas avaliadas	114
3.5.2	Medidas técnicas para melhorar o desempenho e o manejo dos sistemas de irrigação avaliados	158
3.6	Escoamento da Produção Irrigada	160
3.7	Constatações sobre o Escoamento da Produção Irrigada	163
4.	CONCLUSÕES	164
4.1	Análise do Comportamento Hidrológico na Bacia	164
4.2	Uso da água pela Irrigação na Bacia	165
5.	RECOMENDAÇÕES	167

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
6.1 Referências Bibliográficas Específicas	181
6.2 Referências Bibliográficas Gerais	183
7. ATORES	185

ANEXOS

1. SOFTWARE DESENVOLVIDO	
2. DIAGRAMA DE BARRA DAS 178 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO	
3. DIAGRAMA DE BARRA DAS 77 ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO ESTUDO	
4. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO	
5. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO	
6. OBTENÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA	
7. ANÁLISE DE ESTACIONARIEDADE	
8. MAPAS REPRESENTATIVOS DA TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E DAS VAZÕES MENSIS AO LONGO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO DURANTE O PERÍODO DE 1950 A 1999	
9. COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO AJUSTADAS	
10. MAPAS REPRESENTATIVOS DA TENDÊNCIA DE VARIAÇÃO DA VAZÃO DE PERMANÊNCIA AO LONGO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO DURANTE O PERÍODO DE 1950 A 1999	
11. VARIAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO EVIDENCIADO NAS ESTAÇÕES PIRAPORA-BARREIRO, ARINOS, BOM JESUS DA LAPA, IBOTIRAMA E TRAIPIÚ	
12. METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ÁGUA UTILIZADA PARA IRRIGAÇÃO	
13. FLUXOS DE COMÉRCIO DA PRODUÇÃO IRRIGADA DE ÁREAS SELECIONADAS DA BACIA DO SÃO FRANCISCO	
14. ROTEIRO DE ENTREVISTAS PROJETO GEF SÃO FRANCISCO - SUBPROJETO 4.3	

LISTAS DE FIGURAS

1.	Bacia do São Francisco	3
2.	Ocorrências climáticas na bacia do rio São Francisco.	4
3.	Precipitação média anual na bacia do rio São Francisco.	5
4.	Hidrografia da bacia do São Francisco.	7
5.	Usinas hidrelétricas na bacia do São Francisco.	9
6.	Mapa com a localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.	17
7.	Mapa com a localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.	18
8.	da precipitação média anual na bacia do São Francisco.	23
9.	etas referentes à precipitação média anual.	24
10.	da vazão média de longa duração na bacia do São Francisco.	26
11.	da vazão máxima na bacia do São Francisco.	28
12.	da vazão mínima com sete dias de duração na bacia do São Francisco.	29
13.	do coeficiente de deságüe na bacia do São Francisco.	31
14.	da vazão com permanência de 95% na bacia do São Francisco Figura 15. Variação da precipitação média anual, absoluta (a) e relativa (b), ao longo da bacia do São Francisco durante o período de 1950 a 1999.	32
15.	Variação da precipitação média anual, absoluta (a) e relativa (b), ao longo da bacia do São Francisco durante o período de 1950 a 1999.	33
16.	Variação da vazão média anual, absoluta (a) e relativa (b), nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.	34
17.	Distribuição esquemática das vazões médias do São Francisco e seus afluentes no período de 1950 a 1999 (m ³ /s).	36
18.	Variação da vazão máxima anual, absoluta (a) e relativa (b), nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.	37
19.	Variação da vazão mínima anual com sete dias de duração, absoluta (a) e relativa (b), nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.	38

20.	Variação do coeficiente de deságüe nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.	39
21.	Variação da vazão com permanência de 95%, absoluta (a) e relativa (b), nas estações fluviométricas situadas no São Francisco e em seus afluentes durante o período de 1950 a 1999.	40
22.	Precipitação média anual (a); vazão média anual (b); coeficiente de deságüe (c); e vazão máxima anual (d) durante o período de 1970 a 1994 na estação Boca da Caatinga.	46
23.	Vazão mínima anual com sete dias de duração (a); e vazões associadas às permanências de 50% (b); 75% (c); e 95% (d) durante o período de 1970 a 1994 na estação Boca da Caatinga	47
24.	Precipitação média anual (a); vazão média anual (b); coeficiente de deságüe (c); e vazão máxima anual (d) durante o período de 1950 a 1999 na estação Juazeiro.	52
25.	Vazão mínima anual com sete dias de duração (a); e vazões associadas às permanências de 50% (b); 75% (c); e 95% (d) durante o período de 1950 a 1999 na estação Juazeiro.	53
26.	Precipitação média anual (a); vazão média anual (b); coeficiente de deságüe (c); e vazão máxima anual (d), considerando os períodos de 1950 a 1973 e 1979 a 1999 na estação Juazeiro.	56
27.	Vazão mínima anual com sete dias de duração (a); e vazões associadas às permanências de 50% (b); 75% (c); e 95% (d), considerando os períodos de 1950 a 1973 e 1979 a 1999 na estação Juazeiro.	57
28.	Variação, para a estação de Juazeiro no período de 1979 a 1999, da vazão média anual, considerando os dados originais e o preenchimento tanto a partir da estação Bom Jesus da Lapa como da estação Ibotirama.	58
29.	Variação, para a estação de Juazeiro no período de 1979 a 1999, da vazão média nos meses de janeiro (a); fevereiro (b); março (c); e abril (d), considerando os dados originais e o preenchimento a partir das estações de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama.	59

30.	Variação, para a estação de Juazeiro no período de 1979 a 1999, da vazão média nos meses de maio (a); junho (b); julho (c); e agosto (d), considerando os dados originais e o preenchimento a partir das estações de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama.	60
31.	Variação, para a estação de Juazeiro no período de 1979 a 1999, da vazão média nos meses de setembro (a); outubro (b); novembro (c); e dezembro (d), considerando os dados originais e o preenchimento a partir das estações de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama.	61
32.	Potencial de terra para agricultura irrigada na bacia do rio São Francisco.	67
33.	Potencial para irrigação na bacia do São Francisco.	68
34.	Distribuição espacial das áreas irrigadas na bacia do São Francisco.	79
35.	Principais métodos de irrigação utilizados na bacia do rio São Francisco.	82
36.	Distribuição espacial dos sistemas de irrigação na bacia do rio São Francisco indicando as áreas com mais de um método de irrigação em uma propriedade e, também, aquelas em que o método de irrigação não foi definido.	83
37.	Percentual de outorgas concedidas, em função dos tipos de destinação de uso, concedidas na bacia do São Francisco, para os estados de Minas Gerais (a) e da Bahia (b).	86
38.	Vazão total outorgada em função dos diferentes tipos de uso da água para os Estados de Minas Gerais (a) e da Bahia (b).	86
39.	Distribuição espacial das propriedades e dos sistemas de irrigação avaliados na bacia do rio São Francisco, com destaque para as avaliações conduzidas em cada região.	96
40.	Perfil de distribuição de água característico do aplicado por um pivô central ao longo da linha lateral, destacando-se a lâmina média aplicada.	100
41.	Lâminas aplicada e necessária, perda por percolação profunda e déficit atual de água no solo para condição de irrigação localizada.	101
42.	Representação do déficit máximo permitido e déficit máximo verificado de água no solo em condições de irrigação localizada.	102
43.	Representação das lâminas aplicada e necessária, bem como da perda por percolação profunda e do déficit atual de água no solo para condição de irrigação por aspersão.	104

44. Representação do déficit máximo permitido e do déficit verificado em propriedades irrigadas por aspersão.	105
45. Valores de CUD obtidos para irrigação localizada, destacando-se os menores (CUD _{60%}) valores aceitáveis e os valores acima dos quais eles são considerados excelentes (CUD _{90%}).	107
46. Valores de CUC obtidos para irrigações por aspersão, destacando-se os menores valores aceitáveis (CUC _{75%}) e os valores acima dos quais eles são considerados excelentes (CUC _{85%}).	108
47. Valores de CUC (aspersão) e o CUD (localizada), destacando-se os menores valores (CUD _{60%} e CUC _{75%}) recomendados para estes parâmetros bem como os valores médios.	109
48. Perdas por evaporação e arraste em aspersão convencional e pivô central, bem como os seus valores médios.	109
49. Eficiência de aplicação na irrigação localizada referente às 25% menores lâminas (Eq), seu valor médio e o valor considerado excelente para este parâmetro.	111
50. Eficiência de aplicação na irrigação por aspersão (Eh) referente às 50% menores lâminas, o valor médio e o considerado excelente para este índice	111
51. Índice de adequacidade atual e de projeto para irrigação localizada.	113
52. Índice de adequacidade atual e de projeto para irrigação por aspersão.	113
53. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por microaspersão..	115
54. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	116
55. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	117
56. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	118
57. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por microaspersão (Eq).	119
58. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por microaspersão (Eq), avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom	120

Jesus da Lapa-BA (b).	
59. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por microaspersão (Eq), avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	121
60. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por microaspersão (Eq), avaliados nas regiões de Juazeiro-BA e Petrolina-PE.	122
61. Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por microaspersão.	123
62. Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	124
63. Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	125
64. Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por microaspersão, avaliados nas regiões de Juazeiro-BA e Petrolina-PE.	126
65. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por gotejamento.	127
66. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por gotejamento, efetuadas nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	128
67. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os métodos de irrigação por gotejamento, avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	129
68. Distribuição espacial dos coeficientes de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação por gotejamento, avaliados nas regiões de Juazeiro-BA e Petrolina-PE.	130
69. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por gotejamento (Eq).	131
70. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por gotejamento (Eq), avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	132
71. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por gotejamento (Eq), avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	133
72. Distribuição espacial da eficiência de aplicação para os sistemas de irrigação por gotejamento (Eq), avaliados nas regiões de Juazeiro-BA e Petrolina-PE.	134
73. Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por gotejamento (Eq).	135

74.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por gotejamento, avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	136
75.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por gotejamento, avaliados nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	137
76.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por gotejamento, avaliados nas regiões de Juazeiro-BA e Petrolina-PE.	138
77.	Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico.	139
78.	Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico, avaliados nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	140
79.	Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os métodos de irrigação por aspersão, efetuadas nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	141
80.	Distribuição espacial da eficiência de aplicação(Eh) dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico.	142
81.	Figura Distribuição espacial da eficiência de aplicação (Eh) dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico, efetuadas nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	143
82.	Distribuição espacial da eficiência de aplicação (Eh) dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico, efetuadas nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	144
83.	Distribuição espacial do índice de adequacidade dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico (Eh).	145
84.	Distribuição espacial do índice de adequacidade dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico, efetuadas nas regiões de Janaúba e Jaíba-MG (a) e Bom Jesus da Lapa-BA (b).	146
85.	Distribuição espacial do índice de adequacidade dos sistemas de irrigação por aspersão e canhão hidráulico, efetuadas nas regiões de Barreiras (a) e Irecê-BA (b).	147
86.	Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas de irrigação por pivô central.	148
87.	Figura Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas de irrigação por pivô central, avaliados nas regiões de e Bom Jesus da Lapa (a) e Barreiras-BA (b).	149

88.	Distribuição espacial dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os sistemas de irrigação por pivô central, avaliados nas regiões de Irecê-BA.	150
89.	Distribuição espacial da eficiência de aplicação (Eh) dos sistemas de irrigação por pivô central.	151
90.	Distribuição espacial da eficiência de aplicação (Eh) dos sistemas de irrigação por pivô central, efetuadas nas regiões de Bom Jesus da Lapa (a) e Barreiras-BA (b).	152
91.	Distribuição espacial da eficiência de aplicação (Eh) dos sistemas de irrigação por pivô central, efetuadas nas regiões de Irecê-BA.	153
92.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por pivô central.	154
93.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por pivô central, avaliados nas regiões de Bom Jesus da Lapa-BA (a) e Barriras (b).	155
94.	Distribuição espacial do índice de adequacidade para os sistemas de irrigação por pivô central, avaliados na região de Irecê.	156
95.	Potencial médio de economia de água (mm) em cada irrigação.	158
96.	Distribuição percentual da produção do Norte de Minas para os diferentes centros consumidores.	161
97.	Distribuição percentual da produção de Petrolina e Juazeiro para os diferentes centros consumidores.	162
98.	Distribuição percentual da produção da bacia do São Francisco para os diferentes centros consumidores.	162
99.	Distribuição percentual da produção da bacia do São Francisco, para regiões dentro e fora da bacia.	163

LISTA DE FOTOS

1.	Vista parcial do local de captação de água do Projeto Jaíba	73
2.	Vista parcial da barragem do Projeto Mirorós.	74
3.	Vista de um pivô central numa cultura de cafeeiro.	80
4.	Vista parcial de um tabuleiro cultivado com arroz, irrigado por inundação.	88
5.	Vista de um sistema de irrigação por sulcos, utilizando tubos janelados.	89

6.	Vista parcial de um pivô central.	89
7.	Vista parcial de um sistema linear, com captação de água em um canal com bordas em nível.	90
8.	Vista parcial de um campo cultivado com alface, irrigado com um sistema de irrigação por aspersão convencional. Em primeiro plano aparece a linha principal, a válvula de derivação e a linha lateral, onde estão instalados aspersores em um tubo de subida.	90
9.	Vista parcial de um cultivo de melão irrigado por gotejamento, com uma linha lateral para cada linha de plantio.	91
10.	Vista de um pessegueiro irrigado por microaspersão.	91
11.	Vista parcial de uma área cultivada com laranja e irrigada por um sistema autopropelido.	92
12.	Vista parcial de um laranjal irrigado com aspersão sub-copa.	92
13.	Microaspersão na cultura da banana (a) e aspersão convencional na cultura da cebola (b).	95
14.	Sistema de captação de água por poço tubular	95
15.	Estação de bombeamento principal do Projeto Jaíba que capta água do rio São Francisco através de um canal de chamada e abastece o canal principal.	97
16.	Vista parcial de uma área, irrigada por pivô central, em que parte da água aplicada ficou retida na superfície do solo compactado.	98
17.	Irrigação por aspersão convencional, funcionando com baixa uniformidade de aplicação de água, destacando-se as diferenças no crescimento da cultura.	106

LISTA DE QUADROS

1.	Capacidade de acumulação de água em 270 barragens construídas pela CODEVASF.	11
2.	Área de drenagem, precipitação e vazão específica média de longa duração para as 77 estações fluviométricas estudadas.	27
3.	Vazões, m ³ /s, média anual, e para cada um dos meses, para as estações de Bom Jesus da Lapa, Ibotirama e Juazeiro para os períodos de 1950 a 1973 e de 1979 a 1999. Para Juazeiro estão contempladas as análises dos dados originais e as séries de dados preenchidos a partir de Bom Jesus da Lapa e Ibotirama.	55

4.	A ocupação dos solos no Brasil.	66
5.	Produtividade média, no Brasil, em áreas irrigadas e não-irrigadas.	67
6.	Distribuição do potencial de solos irrigáveis com acessibilidade a águas superficiais na bacia do rio São Francisco.	69
7.	Demandas de água na bacia do rio São Francisco, por tipo e uso, no ano de 1994.	70
8.	Instituições que forneceram dados que contribuíram para a execução do projeto.	78
9.	Área irrigada por método de irrigação em Minas Gerais, segundo Schwartzman e Diniz (SD) (2001), e para o Norte de Minas Gerais, segundo os dados da CODEVASF.	81
10.	Área irrigada pelos métodos de irrigação no Estado da Bahia.	84
11.	Vazão total outorgada para cada método de irrigação para o Estado de Minas Gerais e da Bahia.	87
12.	Relação vazão/área irrigada em função dos métodos de irrigação para os Estados de Minas Gerais e da Bahia.	88
13.	Municípios e estados onde as avaliações das irrigações foram conduzidas bem como os métodos de irrigação (M = microaspersão; G = gotejamento; AC = aspersão convencional; PC = pivô central; e C = canhão hidráulico) e culturas avaliadas.	94
14.	Valores de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e densidade aparente (Da) dos solos amostrados nas propriedades avaliadas na bacia do São Francisco.	99
15.	Lâmina média aplicada ($L_{m_{aplicada}}$), lâmina necessária (L_N) e potencial de economia de água, por ano, (P_{EA}) para os sistemas de irrigação localizada.	157
16.	Lâmina média aplicada ($L_{m_{aplicada}}$), lâmina necessária (L_N) e potencial de economia de água, por ano, (P_{EA}) para o sistema de irrigação por aspersão convencional.	157
17.	Produção dos perímetros irrigados da CODEVASF nos municípios selecionados, em 2001.	161

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBP&D	Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café
CEASA	Centrais de Abastecimento
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CONAB	Companhia Brasileira de Abastecimento
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
DEA	Departamento de Engenharia Agrícola
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
GCPC	Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos
GEF	Global Environmental Found – Fundo das Nações Unidas para o Meio Ambiente
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
OEA	Organização dos Estados Americanos
PDR	Plano Diretor de Recursos Hídricos
PLANVASF	Plano Diretor para o Desenvolvimento do Vale do São Francisco
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PSF	Projeto São Francisco
SIH	Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas
SIPOT	Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SUVALE	Superintendência do Vale do São Francisco
UFV	Universidade Federal de Viçosa
USBR	United States Bureau of Reclamation