

# ESTIMATIVA DE INDICADORES HIDROLÓGICOS PARA AS SUB-BACIAS DO RIO SÃO FRANCISCO

Omar Barbosa da Silva Júnior<sup>1</sup>&Carlos Eduardo Morelli Tucci<sup>1</sup>

## RESUMO

Para dar suporte ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas brasileiras é necessário se ter o conhecimento das disponibilidades hídricas peculiares a cada região para serem utilizadas na determinação dos usos potenciais e na identificação dos conflitos pelo uso da água. Contudo, existe uma escassez de dados hidrológicos, principalmente séries históricas de vazões, em muitas regiões brasileiras, como ocorre na bacia do Rio São Francisco. A bacia hidrográfica do rio da integração nacional apresenta grande variabilidade espacial e temporal de vazões o que exige sua divisão em unidades menores (regiões ou sub-bacias) de gestão. Dessa forma, para a caracterização das disponibilidades hídricas das sub-bacias do rio São Francisco, foi adotada a metodologia dos indicadores hidrológicos. Neste trabalho, os indicadores regionais foram calculados para as 10 sub-bacias do rio São Francisco mostrando um forte gradiente na direção Norte – Sul, com uma diminuição da disponibilidade hídrica natural de montante (sul) para jusante (norte) da bacia.

## ABSTRACT

It is necessary to have the knowledge of the hydrologic behavior of each region to give support to the planning of the water resources in the Brazilian basins for may be used in the determination of the potential uses and in the identification of the conflicts for the water use. However, exists a small data in many Brazilian areas, as it happens in the basin of the Rio São Francisco. The basin of the river of the national integration presents great spatial and temporal variability of flows that demands your division in smaller units (sub-basins) to the its planning. The methodology adopted for the characterization of the water resources of the sub-basins of the river São Francisco was the regional hydrologic indicators. In this work, the regional indicators were

---

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) Av. Bento Gonçalves, 9500 – Agronomia CEP: 91.501-970 Porto Alegre/RS - Caixa Postal 15029 Fone: (0xx51) 3316-6326 Fax: (0xx51) 3316-7292 e-mail: [omar@ppgiph.ufrgs.br](mailto:omar@ppgiph.ufrgs.br), [tucci@iph.ufrgs.br](mailto:tucci@iph.ufrgs.br)

calculated for the 10 sub-basins of the river, that shows a gradient fort in the North - South direction, with a decrease of the natural flow of headwater (south) for the mouth (north).

**Palavras Chave** :Indicadores Hidrológicos; Regionalização; Rio São Francisco.

## **INTRODUÇÃO**

A tomada de decisões a respeito de planejamento e gestão de bacias hidrográficas deve considerar obrigatoriamente aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais, mutáveis no tempo e associados a incertezas de difícil quantificação. À medida que as demandas de água crescem acirram-se os conflitos e disputas pelo recurso hídrico e o gerenciamento dos recursos hídricos tendem a se tornar uma tarefa cada vez mais complexa.

A quantificação hídrica representa uma das atividades de maior importância para tomadas de decisão adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos. A grande variabilidade de disponibilidade hídrica, tanto temporal quanto espacial, ressalta a necessidade de permanente quantificação de descargas líquidas visando à previsão de vazões futuras. O êxito no planejamento, projeto e operação de sistemas de controle e utilização de recursos hídricos depende em grande parte do conhecimento da quantidade de água envolvida. Abastecimento de água potável, abastecimento industrial, geração de energia hidrelétrica, irrigação, controle de cheias e secas, navegação fluvial, assimilação e diluição de esgotos sanitários e de efluentes industriais e preservação ecológica são alguns dos muitos usos e controles de recursos hídricos para os quais a avaliação da quantidade hídrica é de grande importância.

Este estudo tem a finalidade de obter, a partir dos dados hidrológicos existentes, uma síntese de informações expedita das vazões dos rios da bacia do rio São Francisco e, em especial da vazão de referência utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica natural e artificial dos rios, através de uma metodologia simplificada e, portanto, com maior incerteza, que, no entanto, não compromete os resultados de uma visão macro da realidade hidrológica da bacia. Dessa forma, para a caracterização das disponibilidades hídricas da bacia foi adotada a metodologia dos indicadores hidrológicos (Tucci, 2002).

Os indicadores hidrológicos são entendidos aqui como variáveis indicadoras das características do comportamento hídrico das bacias hidrográficas utilizadas no desenvolvimento e uso dos recursos hídricos e na conservação ambiental.

A seguir serão descritas a bacia do rio São Francisco e a metodologia empregada para o cálculo dos indicadores regionais. Os resultados e as considerações da aplicação da metodologia descrita na bacia do rio São Francisco são apresentados no final do trabalho, seguidos pela conclusão final do trabalho como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos no Brasil.

## ÁREA EM ESTUDO: BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

O rio São Francisco nasce no estado de Minas Gerais, na serra da Canastra, a uma altitude de 1.600 m e dirige-se 2.700 km para o Nordeste até a foz, na divisa de Alagoas e Sergipe (Figura 1). O rio desloca-se, em grande parte, no semi-árido nordestino, tendo uma grande importância regional dos pontos de vista ecológico, econômico e social (Tundisi et al., 1999). Atualmente, os principais usos das águas do rio São Francisco são: os grandes aproveitamentos hidroelétricos que geram 10.356 MW de energia elétrica; a irrigação com 330.000 ha de áreas cultivadas; a navegação com 1.500 km navegáveis; o suprimento de água para o abastecimento de 13.141.400 habitantes residentes na bacia; pesca e aqüicultura.

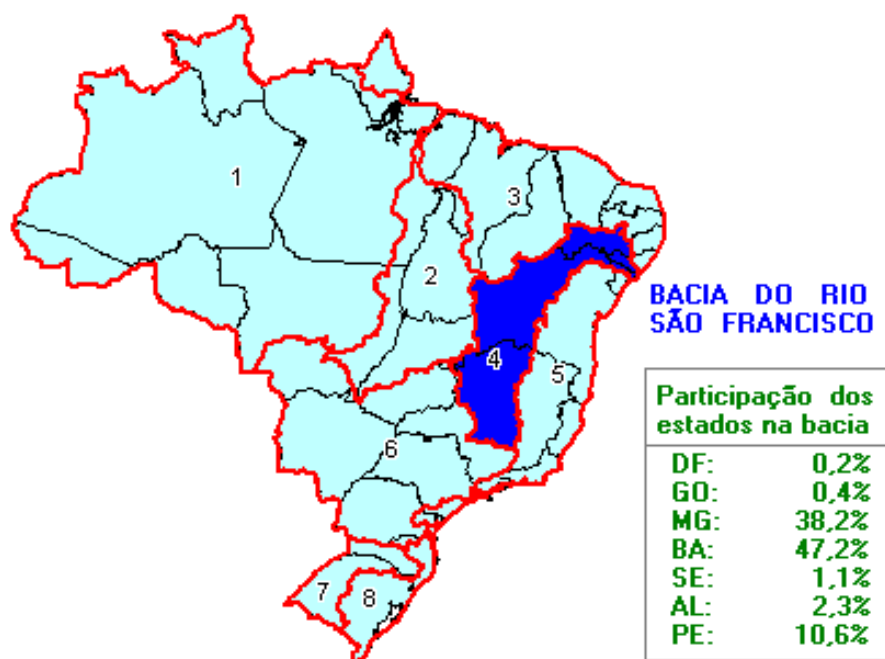


Figura 1. Mapa de localização da bacia do rio São Francisco

A bacia hidrográfica do rio São Francisco tem, aproximadamente, 644.500 km<sup>2</sup>, estende-se por regiões com climas úmido, semi-árido, e árido, em seis estados e no Distrito Federal (Figura 1). A bacia pode ser dividida em quatro regiões: Alto, Médio, Sub-Médio e Baixo São Francisco

(Figura 2). Muitos tributários do rio São Francisco são perenes, além do próprio São Francisco. No Médio São Francisco, há tributários temporários na margem direita onde predomina a caatinga como vegetação. Na parte mais baixa do Médio São Francisco, a agricultura irrigada é predominante com fruticultura de exportação e produção hortícola. A vegetação no Baixo São Francisco é predominantemente cerrado e mata Atlântica. O Baixo São Francisco tem clima úmido, porém, com tributários que provêm do semi-árido (Tundisi et al., 1999).

A Bacia do Rio São Francisco apresenta variabilidade climática associada à transição de um clima úmido e subúmido (alto São Francisco) para um clima árido e semi-árido (submédio São Francisco). O clima regional é fortemente influenciado pelo regime pluviométrico, apresentando precipitações médias anuais entre 400 e 1.500 mm, com temperatura média anual de 20 a 26,5 °C, apresentando baixo índice de nebulosidade e, por consequência, grande incidência da radiação solar (PNRH, 2002).

Dos municípios da Bacia, 251 estão situados no Polígono das Secas e 226 no Semi-Árido (PNRH, 2002). A este propósito, convém recordar que o Polígono das Secas corresponde a uma divisão regional, de ordem político-administrativa, e que é reconhecido pela legislação como uma área sujeita a períodos críticos de estiagens prolongadas. Já o Semi-Árido corresponde a um das seis grandes áreas climáticas do Brasil, caracterizada basicamente pelo regime de chuvas (menos de 800 mm anuais, distribuição irregular e concentração das precipitações em cerca de três meses).

Os principais reservatórios do rio São Francisco são: Sobradinho (1.050 MW); Itaparica (1.500 MW); Paulo Afonso 1, 2, 3 e 4 (3.845 MW); e Xingó (3.000). Além da produção de energia elétrica, os usos múltiplos dos reservatórios incluem: aquíicultura; irrigação; suprimento de água; turismo e recreação; pesca comercial e pesca esportiva. Dessa forma, o rio São Francisco tem uma enorme importância regional e pode ser considerado como um dos principais fatores de desenvolvimento do Nordeste (Tundisi et al., 1999).

Logo, para seu correto aproveitamento hídrico e desenvolvimento sustentável da bacia e da região circunvizinha, existe a necessidade de um planejamento integrado dos recursos hídricos da bacia do rio São Francisco, que deverá ser apoiada na visão macro da variabilidade espacial das disponibilidades hídricas ao longo da bacia.

Para realizar uma análise mais detalhada da bacia do rio São Francisco, foi adotado a divisão em 10 sub-bacias proposta pela ANEEL (2000) e indicada na Figura 3. As características dessas sub-bacias são apresentadas na Tabela 1. A sub-bacia 43 é a única que não apresenta o rio São Francisco como curso d'água principal.

Comparando as Figuras 2 e 3, percebemos que a divisão da ANEEL sub-divide o Alto São Francisco em duas sub-bacias (40 e 41); o Médio São Francisco em cinco (42, 43, 44, 45 e 46); o Sub-Médio em duas (47 e 48) e o Baixo São Francisco é equivalente à sub-bacia 49.

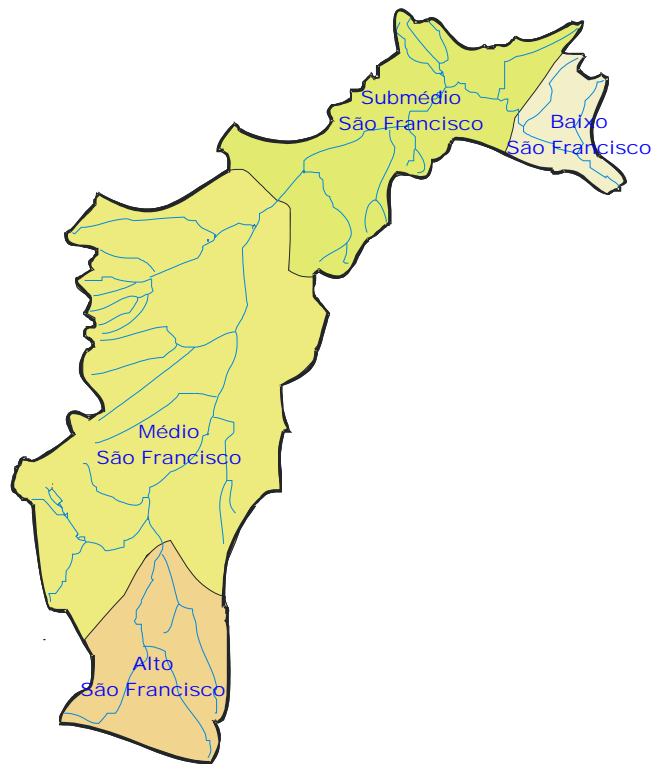


Figura 2. Divisão da bacia do rio São Francisco em quatro regiões.

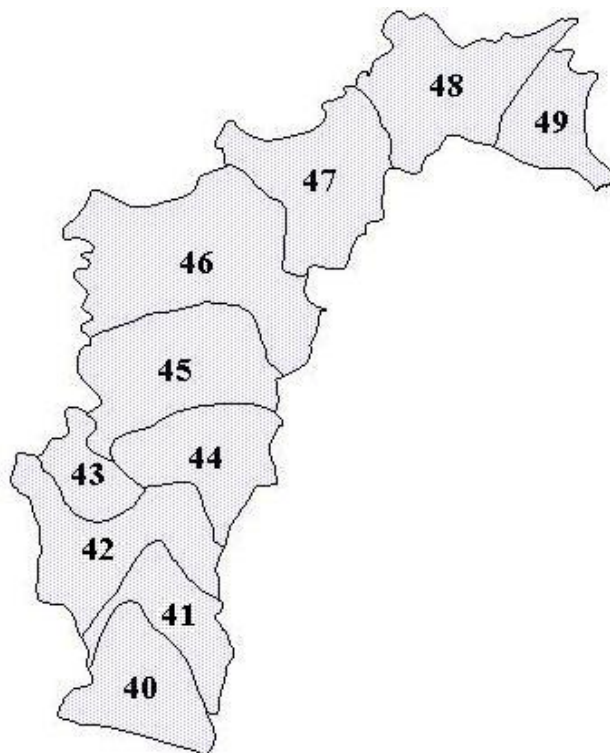


Figura 3. Localização das 10 sub-bacias da bacia do Rio São Francisco (ANEEL, 2000).

Tabela 1. Características das sub-bacias do Rio São Francisco.

Sub-bacia	Principais cursos d'água	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
40	Rios São Francisco, Pará, Paraopeba, Indaiá	50.600
41	Rios São Francisco, das Velhas e Abaeté	37.400
42	Rios Paracatu e Jequitaiá	66.300
43	Rio Urucuia	28.000
44	Rios São Francisco e Verde Grande	49.500
45	Rios São Francisco, Carinhanha, Formoso e Corrente	71.600
46	Rios São Francisco, Grande e Paramirim	117.500
47	Rios São Francisco, Grande e Paramirim	89.400
48	Rios São Francisco, Brigida, Pajeú e Curuça	72.600
49	São Francisco, Moxotó, Ipanema e Traipu	61.600

## METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DAS VAZÕES NAS SUB-BACIAS

Os indicadores hidrológicos utilizados foram:

**Vazão média de longo período ( $Q_m$ ):** definida pela média aritmética das vazões diárias de todo o período da série de vazões disponível numa determinada bacia hidrográfica. Esta vazão é a maior vazão possível de ser regularizada ou a maior disponibilidade hídrica de uma bacia;

**Vazão média de inundação ( $Q_c$ ):** é a média das vazões máximas anuais de uma bacia. Normalmente o leito menor de um rio é delimitado para a vazão de 1,5 a 2 anos de tempo de retorno. Portanto, a vazão média de inundação é a vazão aproximada que caracteriza o leito menor do rio.

**Vazão com permanência de 95% ( $Q_{95}$ ):** indica que as vazões de um rio 95% do tempo são maiores ou iguais ao seu valor. Esta variável tem sido utilizada para caracterizar a disponibilidade hídrica natural, aceitando assim, que 5% do tempo a bacia poderá fornecer disponibilidade hídrica inferior à vazão  $Q_{95}$ . Este valor é utilizado nos estudos de energia elétrica, abastecimento, navegação, entre outros. A vazão de permanência caracteriza principalmente a duração ao longo do tempo da disponibilidade hídrica e não um limite inferior.

**Vazão com permanência de 90% ( $Q_{90}$ ):** indica que as vazões de um rio 90% do tempo são maiores ou iguais ao seu valor. Esta variável pode ser utilizada em conjunto com a anterior para definir o ramo inferior da curva de permanência.

Estes indicadores mostram que a vazão média representa sempre a maior vazão regularizável e o potencial hídrico da bacia, apesar de nunca ser atingido devido à evaporação do lago, enquanto que a vazão de  $Q_{95}$  é utilizada aqui como a disponibilidade hídrica natural da bacia.

A metodologia adotada neste estudo foi baseada no critério de uso de índices por sub-bacias. Admite-se que a variabilidade das relações entre as variáveis adotadas ( $Q_m$ ,  $Q_c$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ ) seja pequena e o seu valor médio seja representativo.

Para cada sub-bacia  $i$  da bacia do rio São Francisco foi adotado o seguinte critério:

(1) determinar as seguintes relações para cada posto  $k$

$$q_m = \frac{Q_m}{A} \quad (1)$$

$$r_c = \frac{Q_c}{Q_{95}} \quad (2)$$

$$r_{95} = \frac{Q_{95}}{Q_m} \quad (3)$$

$$r_{90} = \frac{Q_{90}}{Q_m} \quad (4)$$

onde:  $A$  é a área de drenagem do posto fluviométrico, em  $\text{km}^2$ .

(2) O valor médio de cada índice em cada região é obtido pela média aritmética dos valores de cada posto. O seu desvio padrão e coeficiente de variação permite observar a variabilidade dos valores e o erro em se adotar a média

(3) Para o cálculo da vazão de cada sub-bacia utiliza-se a sua área ( $A_s$ ) para determinar os valores das variáveis citadas. Primeiro calculando  $Q_m = A_s \cdot q_m$  e as demais vazões através dos outros índices.

(4) Alguns cuidados foram tomados sempre a informação estava disponível:

(a) numa sub-bacia as vazões do rio principais foram distinguidas das sub-bacias contribuintes no cálculo da média, pois representam universos diferentes. O rio principal, neste caso o rio São Francisco, é o integrador acumulado das bacias a montante e a vazão da sub-bacia representa apenas a contribuição desta parcela do todo (Figura 2);

(b) quando existem obras construídas adotou-se os valores apenas depois da sua construção, caracterizando o cenário atual de disponibilidade. Provavelmente, nos dados disponíveis poderão ter sido omitidos alguns reservatórios.

(5) Como sub-produto destas variáveis é possível estimar o trecho inferior da curva de permanência com base nas vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  através do seguinte:

$$Q_p = \exp(a \cdot P + b) \quad (5)$$

onde:

$$a = -\frac{1}{5} \ln \frac{Q_{90}}{Q_{95}} \quad (6)$$

$$b = \ln Q_{90} - 90 \cdot a \quad (7)$$

$P$  é percentagem fornecida em %.

## **Limitações da metodologia**

Os procedimentos adotados não têm a finalidade de obter a melhor solução regional, mas apenas obter índices médios das relações de fluxo sem realizar uma regionalização hidrológica. Os potenciais erros envolvidos são:

- A variabilidade da precipitação não é considerada e pode influenciar os resultados aumentando a flutuação dos valores, ficando a média pouco representativa;
- Existe grande variação do tamanho das bacias, o que também pode influenciar as vazões máximas e médias;
- As sub-divisões adotadas do antigo DNAEE não garantem nenhuma uniformidade hidrológica, apenas utilizou-se de uma geografia de distribuição de postos;
- Os valores obtidos devem ser utilizados com cuidado para áreas específicas e para o rio principal, quando este não identificado na amostra.

## **Critérios de seleção dos dados**

Os critérios para determinação das vazões citadas no item anterior são os seguintes:

- O critério de sub-divisão da bacia do rio São Francisco adotado foi o do antigo DNAEE (ANEEL) para localização dos postos fluviométricos;
- Para cada sub-divisão (sub-bacia) foram escolhidas amostras dos postos fluviométricos (em algumas sub-bacias foram escolhidos todos) com série hidrológica preferencialmente superior a 15 anos de dados. Em algumas sub-bacias não haviam séries longas e foram adotadas as que se dispunha;
- Para cada posto, foram calculadas as vazões citadas no item anterior através do banco de dados Hidroweb disponível no *site* da ANA ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) e da ANEEL ([www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)).

## **RESULTADOS**

### **Distribuição espacial das variáveis**

Os postos fluviométricos em cada uma das sub-bacias do Rio São Francisco selecionados e as vazões obtidas são apresentados na tabela A (em anexo). Na tabela B (em anexo) são apresentados os índices de cada posto. Pode-se observar que em cada uma destas sub-bacias o número de postos é pequeno e o desvio padrão é pouco representativo. Os postos fluviométricos localizados no rio São



Francisco a partir da sub-bacia 42 foram desconsiderados no cálculo dos índices regionais por incorporar características do comportamento hidrológicos das sub-bacias à montante dos postos.

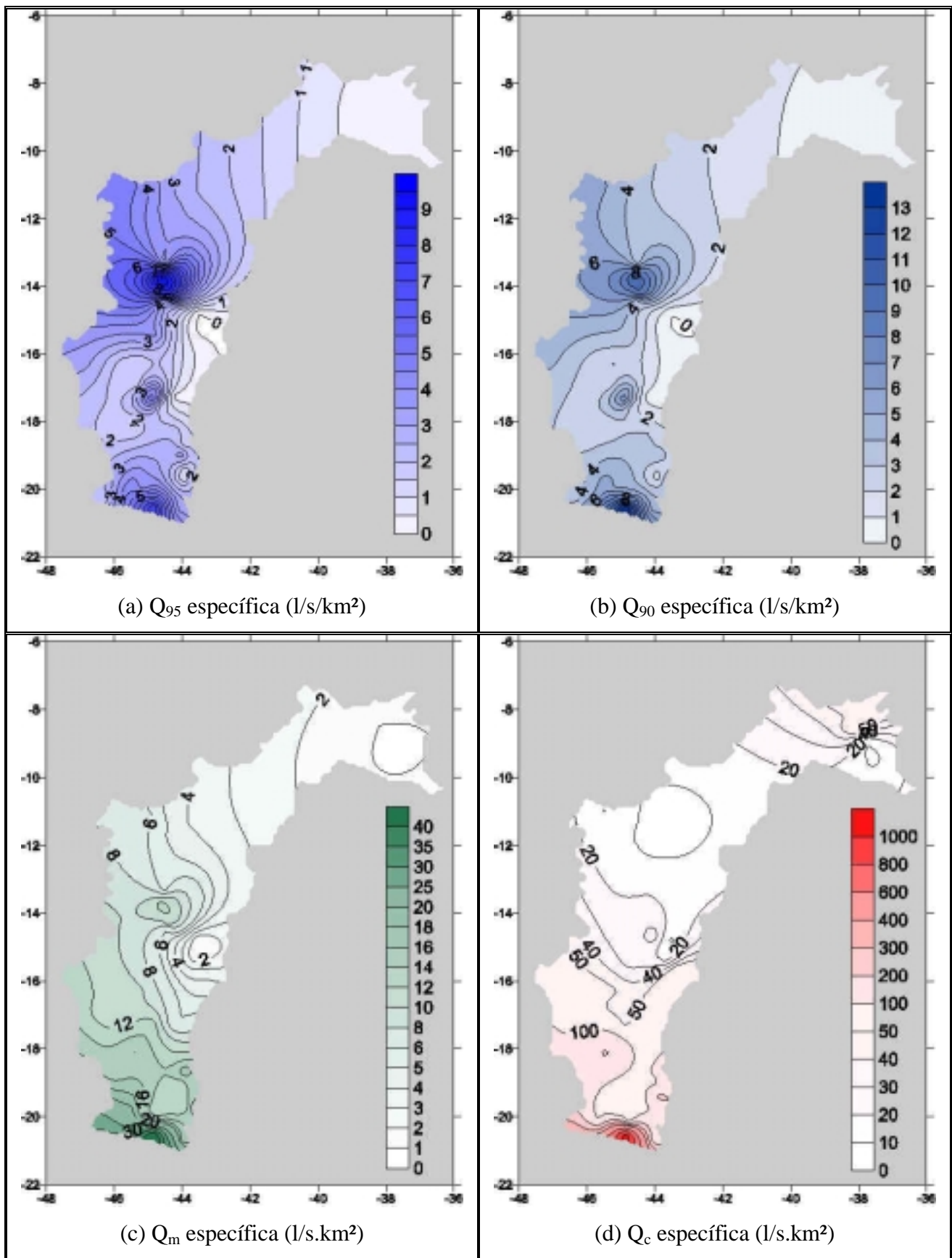


Figura 4. Vazões específicas na bacia do Rio São Francisco sem considerar o rio principal.

Com base nos valores das vazões características adotadas ( $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_m$ ,  $Q_c$ ) foram calculados os valores específicos das mesmas (em l/s.km<sup>2</sup>) para que se possa comparar os valores dos postos com diferentes áreas de drenagem. Os valores de vazão específica dos postos fluviométricos foram interpolados para a bacia do rio São Francisco através do método da Krigagem, como mostra a Figura 4.

Os resultados mostram que os maiores valores específicos de vazão mínima ( $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ , Figuras 4.a e 4.b) estão concentrados nas nascentes do rio São Francisco, na sub-bacia 40 (Alto São Francisco), e na sub-bacia 45 (Médio São Francisco). A jusante da sub-bacia 45, os valores decrescem gradativamente até a foz. Esses valores mostram a completa dependência das regiões do Sub-Médio e Baixo São Francisco das vazões perenes do rio São Francisco nos períodos de estiagem, pois essas regiões apresentam pequena disponibilidade hídrica natural, sendo o rio São Francisco uma exceção porque sua área de drenagem se estende até as regiões mais úmidas.

Os valores específicos de vazão média de longo período ( $Q_m$ , Figura 4.c) apresentam um gradiente bem definido de montante para jusante da bacia, sendo o Alto São Francisco a região mais úmida e o Baixo São Francisco a região mais seca.

Com relação aos valores específicos de vazões médias de cheia ( $Q_c$ , Figura 4.d), observa-se que os maiores valores se encontram, como nas vazões anteriores, no Alto São Francisco, porém, o Baixo São Francisco também apresenta valores elevados, se destacando em relação ao Médio São Francisco. Isso indica que a pequena pluviosidade no Baixo São Francisco apresenta uma grande intensidade, que provoca inundações nos períodos úmidos.

Fazendo essa análise através dos indicadores regionais, apresentados na Figura 5, observamos resultados diferentes. Os maiores índices de vazão mínima ( $r_{95}$  e  $r_{90}$ , Figuras 5.a e 5.b) estão no Médio São Francisco (Sub-bacias 45 e 46) diminuindo tanto à jusante, quanto à montante dessa região. O índice de vazão média de cheia ( $r_c$ , Figura 5.c) apresenta um gradiente oposto ao mostrado pela vazão específica (Figura 4.d), pois é o Baixo São Francisco que apresenta maiores valores de  $r_c$ , devido a grande amplitude das vazões máximas e aos baixos valores de vazão média, o que mostra a pequena capacidade de regularização natural das vazões nas sub-bacias 48 e 49.

A Figura 5.d apresenta as isoietas na região da bacia do Rio São Francisco. A figura mostra que o Alto São Francisco apresenta os maiores índices pluviométricos da bacia, alcançando valores anuais de 1500 mm, e que a região do Sub-Médio é a mais seca, atingindo valores anuais de apenas 400 mm. Essa variabilidade espacial das precipitações explica, em parte, a distribuição espacial das vazões médias (Figura 4.c).

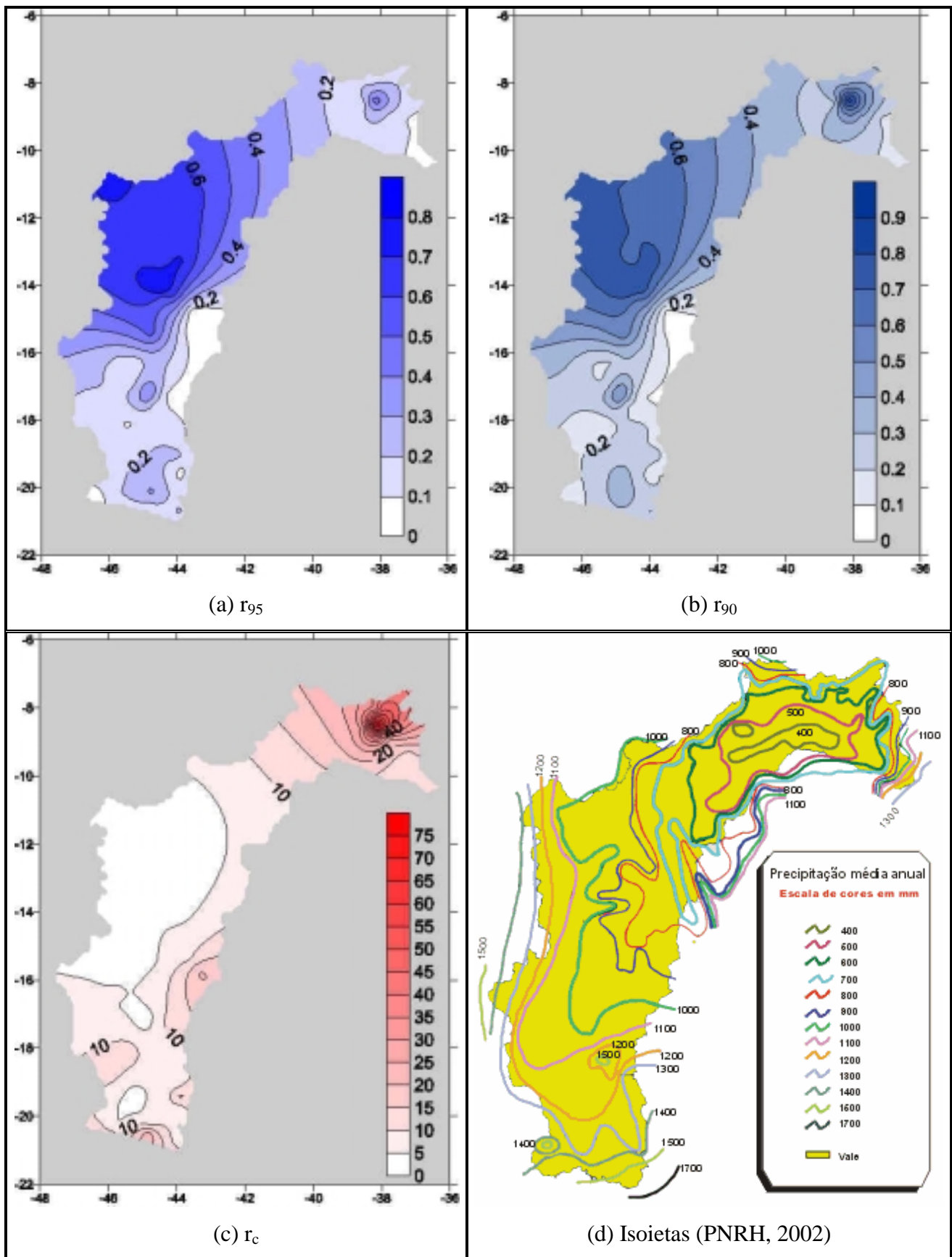


Figura 5. Indicadores regionais sem considerar o rio principal e isoietas na região da bacia do Rio São Francisco.

## Valores das variáveis por sub-bacia

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos indicadores regionais das sub-bacias do Rio São Francisco, sem considerar o rio principal, e a disponibilidade hídrica de cada sub-bacia. Os indicadores da sub-bacia 47 não foram estimados porque os postos fluviométricos com séries longas dessa sub-bacia estão no próprio rio São Francisco, que não foi considerado por agregar informações das sub-bacias à montante. Em contrapartida, a Tabela 3 mostra os indicadores regionais do rio São Francisco, considerando apenas os postos fluviométricos no próprio rio.

Tabela 2. Indicadores hidrológicos das sub-bacias do Rio São Francisco (sem o rio principal)

Sub-bacia	$q_m$ l/(s.km <sup>2</sup> )	$r_{95}$	$r_{90}$	$r_c$	A km <sup>2</sup>	$Q_m$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{95}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{90}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_c$ m <sup>3</sup> /s
SB 40	21,72	0,20	0,28	8,02	50.600	1.098,8	206,4	295,2	11.412
SB 41	14,34	0,14	0,19	9,91	37.400	536,2	73,5	101,9	5.367
SB 42	10,20	0,17	0,23	6,35	66.300	676,1	123,4	162,8	3.994
SB 43	10,56	0,15	0,20	5,10	28.000	295,7	45,5	58,8	1.508
SB 44	3,61	0,22	0,26	9,70	49.500	178,5	59,1	65,5	1.616
SB 45	9,51	0,67	0,71	2,45	71.600	680,9	462,7	486,7	1.618
SB 46	5,23	0,67	0,71	1,84	117.500	614,2	410,1	437,9	1.132
SB 47	-	-	-	-	89.400	-	-	-	-
SB 48	1,49	0,24	0,46	46,04	72.600	108,5	22,9	45,0	4.661
SB 49	0,69	0,13	0,27	19,42	61.600	42,4	5,1	10,4	772
Bacia 4	10,42	0,31	0,38	10,58	644.500	6.716,4	1.857,7	2.274,9	(*)

\* vazão média de cheia de toda a sub-bacia e não de um curso específico

Tabela 3. Indicadores hidrológicos do Rio São Francisco

Sub-bacia	$q_m$ l/(s.km <sup>2</sup> )	$r_{95}$	$r_{90}$	$r_c$
SB 40	17,29	0,20	0,26	3,80
SB 41	13,61	0,37	0,50	3,77
SB 42	10,87	0,33	0,43	4,03
SB 43	10,39	0,28	0,36	3,54
SB 44	10,95	0,31	0,36	3,47
SB 45	8,12	0,24	0,32	2,97
SB 46	7,11	0,27	0,33	2,81
SB 47	6,10	0,31	0,38	2,34
SB 48	5,16	0,43	0,49	2,42
SB 49	4,52	0,42	0,48	2,52
Bacia 4	8,31	0,34	0,41	3,05

A variabilidade da vazão específica pode ser observada na Figura 6. O valor médio nas sub-bacias do Rio São Francisco é da ordem de 10,42 l/(s.km<sup>2</sup>), ou 328,6 mm, para um intervalo entre

0,69 e 21,72 l/(s.km<sup>2</sup>). Os valores variam em função da precipitação (Figura 5.d) e do tamanho da bacia. A tendência é que com o aumento da bacia a vazão específica diminua.

As duas primeiras bacias (40 e 41), localizadas no Alto São Francisco, apresentam os maiores valores de vazão média (entre 14,3 a e 21,7 l/s.km<sup>2</sup>). Contudo, as duas últimas bacias (48 e 49), localizadas no Sub-Médio e Baixo São Francisco, apresentam baixos valores de vazão média (entre 0,7 e 1,5 l/s.km<sup>2</sup>). Esses valores mostram a grande variabilidade da disponibilidade hídrica das sub-bacias, com o coeficiente de variação (CV = Desvio Padrão / Média) da bacia em torno de 77% da média. Contudo, os valores para o rio São Francisco são mais homogêneos (Figura 6), variando de 17,29 a 4,52 l/s.km<sup>2</sup>, com média de 8,31 l/s.km<sup>2</sup>, com CV equivalente a 44%, quase a metade do valor encontrado para as sub-bacias.

Nas figuras 7 e 8, pode-se observar que os valores dos índices da curva de permanência ( $r_{95}$  e  $r_{90}$ ) são relativamente uniformes no rio São Francisco, entretanto, nas sub-bacias, existe uma grande variabilidade, com os valores das sub-bacias 45 e 46 se destacando das demais, o que indica uma melhor regularização nestas sub-bacias. Observa-se que os valores de  $r_{95}$  são da ordem de 30% (34% para o rio São Francisco e 31% para as sub-bacias) e o  $r_{90}$  são na ordem de 40% (41% para o rio São Francisco e 38% para as sub-bacias). A vazão total mínima, correspondendo à vazão mínima disponível natural ou vazão de referência ( $Q_{95}$ ) da bacia é 1.858 m<sup>3</sup>/s ou 2,88 l/(s.km<sup>2</sup>) equivalente a 91 mm. Estes valores são pequenos devido ao regime pluviométrico da região nordeste.

À medida que a bacia aumenta de tamanho, a capacidade de regularização do rio principal aumenta e a relação entre  $Q_{95}$  e  $Q_m$  também aumenta. Na figura 8, pode-se observar a variabilidade do coeficiente  $r_{95}$  com a área de drenagem utilizando-se todos os postos. As sub-bacias 45 e 46 apresentam tendências diferentes das demais sub-bacias, com valores bem maiores de  $r_{95}$ . As demais sub-bacias apresentam uma tendência exponencial de aumento do índice com a área de drenagem.

O fator relacionado com a vazão média de cheia ( $r_c$ ) apresentou um valor médio da ordem de 10,58 para as sub-bacias, com valores entre 1,84 (sub-bacia 46) e 46,04 (sub-bacia 48), mostrando uma grande variabilidade das inundações com relação à vazão média devido ao regime pluviométrico da região nordeste. Esse valor foi de apenas 3,05 (variando entre 2,34 e 4,03) para o rio São Francisco, o que indica a forte capacidade de regularização da bacia.

Considerando que o estudo sub-dividiu a análise e utilizou a média de cada sub-bacia para os índices regionais, foi analisado o coeficiente de variação de cada sub-bacia. Este valor variou de 2% a 57% para o  $r_{95}$ , com exceção da sub-bacia 44 que apresentou grande variabilidade em seus valores (CV igual a 108%), devido ao forte gradiente na direção NW - SE (Figura 5.a). Os valores são semelhantes para o  $r_{90}$ , igual a 91% para a sub-bacia 44 e variou entre 3% a 54% nas demais sub-bacias.

O índice  $r_c$  teve uma uniformidade maior nos valores de CV, sendo seu maior valor na sub-bacia 40 (75%) e variando entre 3% a 66% nas demais sub-bacias. Desse modo, podemos considerar que a variabilidade em cada sub-bacia é aceitável para os propósitos deste estudo.

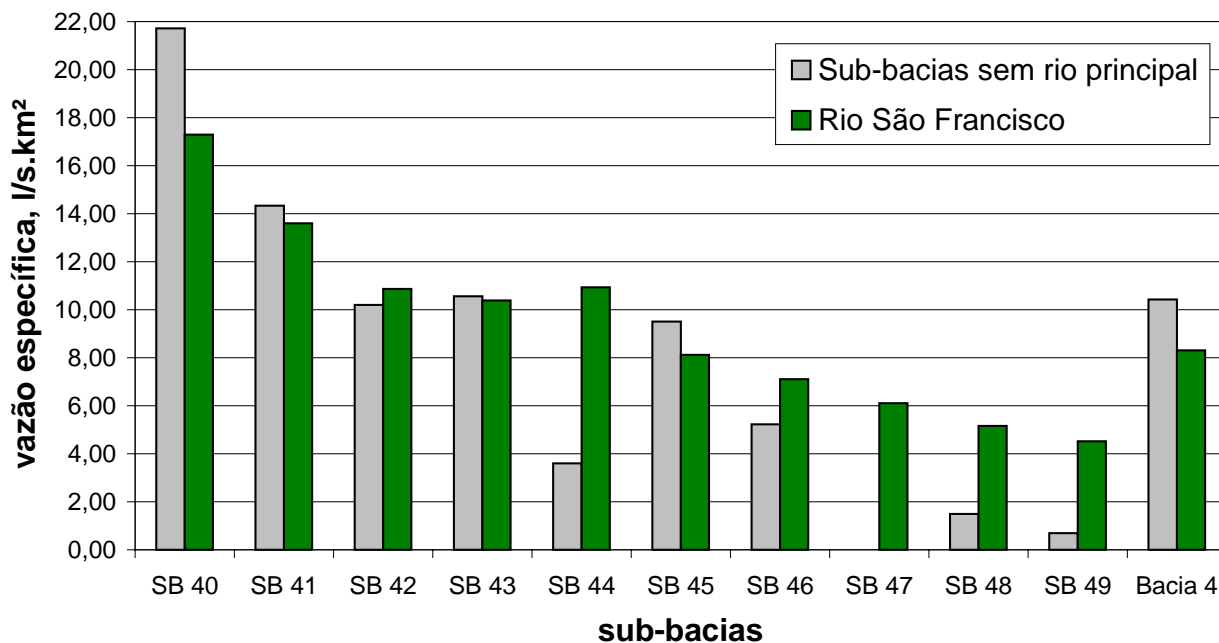


Figura 6. Variabilidade da vazão específica na bacia do Rio São Francisco

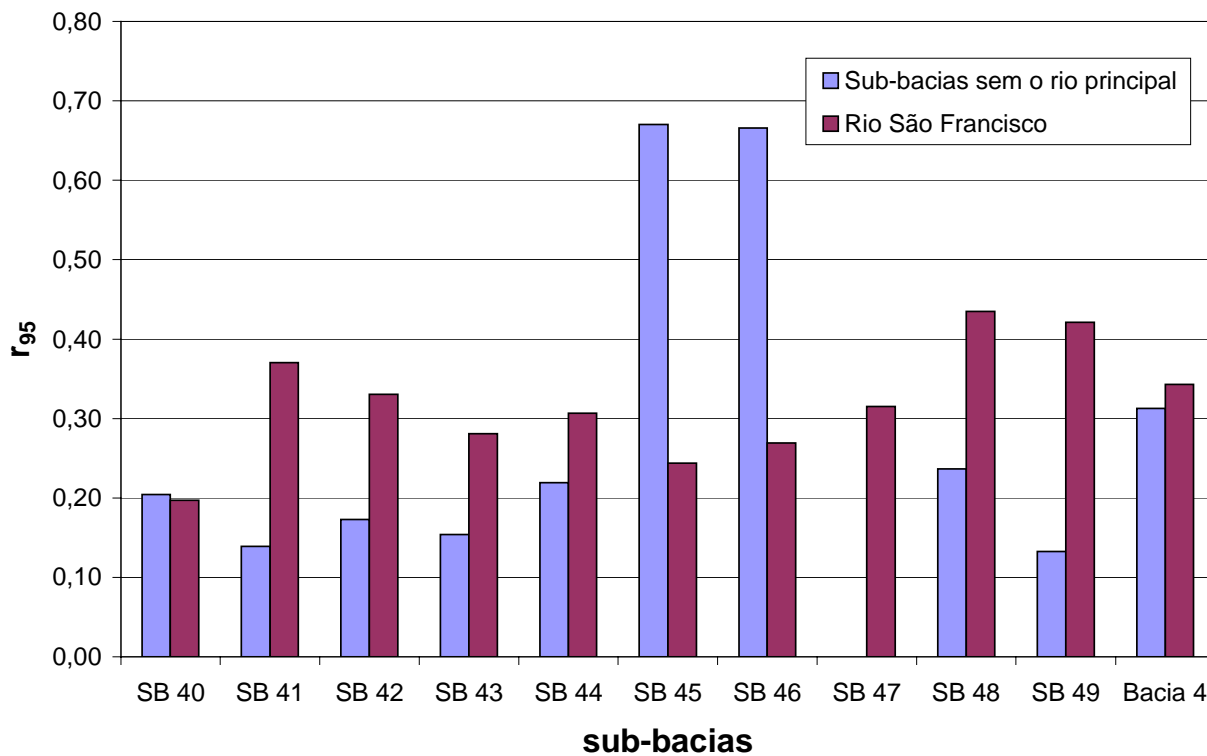


Figura 7. Variabilidade do índice da curva de permanência  $r_{95}$

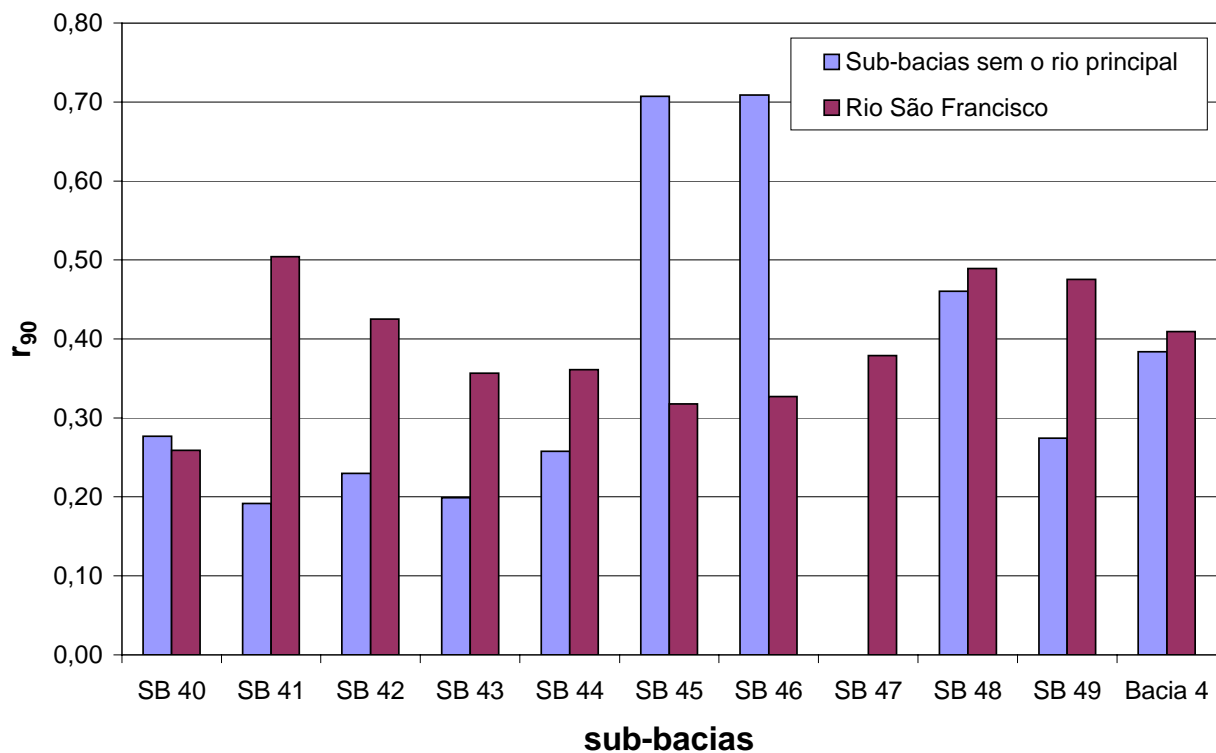


Figura 8. Variabilidade do índice da curva de permanência  $r_{90}$

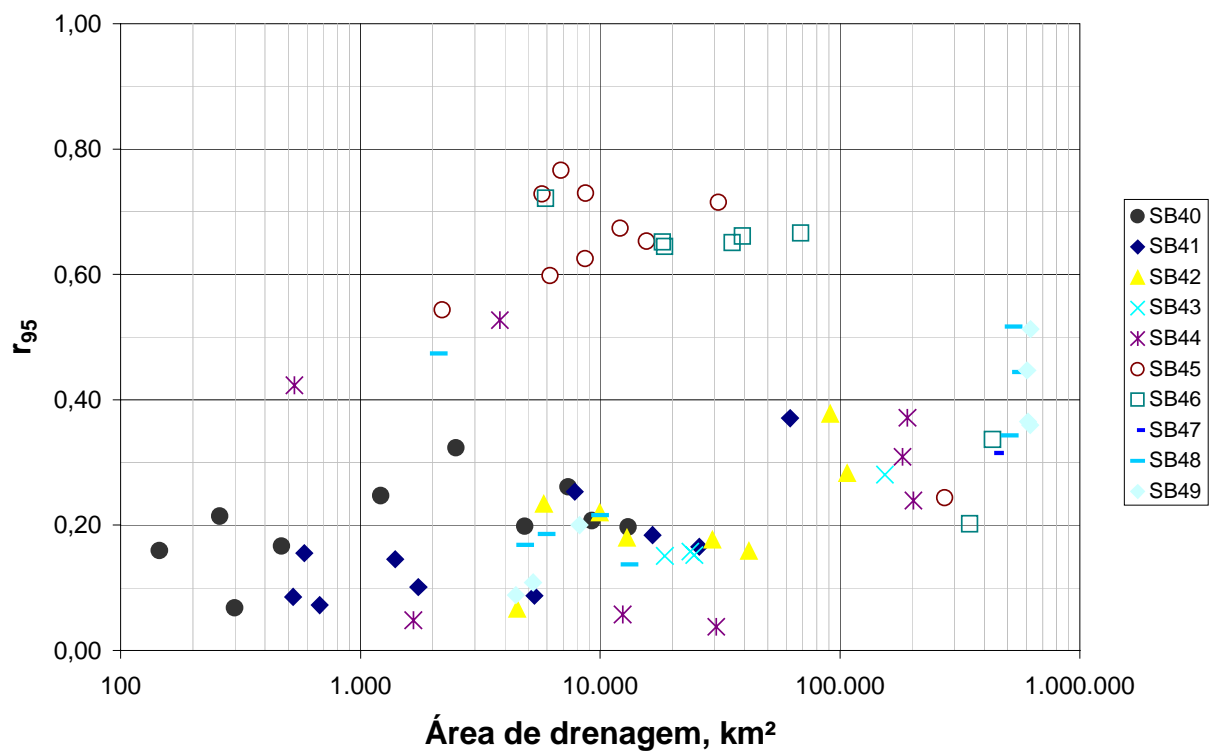


Figura 9. Relação do índice  $r_{95}$  com a área de drenagem do posto fluviométrico

## CONCLUSÕES

O principal mérito destes resultados é permitir uma visão de conjunto da realidade fluviométrica da bacia do rio São Francisco, aferindo os números anteriormente disponíveis.

Deve-se considerar que alguns erros poderão ser cometidos a nível de detalhe em algumas sub-bacias já que os nem todos os dados estavam disponíveis ou acessados. No entanto, na revisão deste estudo, com mais elementos locais, será possível sanar estes potenciais problemas.

Os resultados mostram uma grande variabilidade na disponibilidade hídrica ao longo da bacia do rio São Francisco, porém os índices regionais são capazes de representar, com certa margem de erro, as condições hídricas em cada sub-bacia, de modo a fornecer uma visão macro do comportamento hidrológico da bacia, capaz de auxiliar o planejamento e a gestão dos seus recursos hídricos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da ANA (Agência Nacional de Águas) que desenvolve uma macro avaliação das bacias brasileiras dentro da visão de orientação do planejamento de suas atividades em todo o território nacional. Para o desenvolvimento destas atividades são necessárias informações hidrológicas sintetizadas sobre as bacias brasileiras, como as apresentadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2000. *Sistemas de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – Hidrogeo. Bacia 4: Bacia do São Francisco*. Brasília. Cd-rom. Versão 1.1
- Plano Nacional de Recursos Hídricos, 2002. *Diagnóstico das Regiões Hidrográficas – Versão 2: Bacia do Rio São Francisco*. Disponível em <http://www.pnrh.cjb.net/>.
- TUCCI, C. E. M., 1993. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 15, p. 573-619.
- TUCCI, C. E. M., 2002. *Regionalização de Vazões*. Porto Alegre: Ed. da Universidade / UFRGS.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O., 1999. *Ecossistemas de águas interiores*. In: *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* / REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (organizadores). São Paulo: Escrituras Editora. Cap. 06, pp. 195-226.



## ANEXOS

Tabela A. Valores das variáveis estudadas dos postos fluviométricos selecionados.  
(Os postos em destaque foram considerados como pertencentes ao rio principal)

Sub-bacia	Posto	Área km <sup>2</sup>	Período	Q <sub>95</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>90</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>m</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>c</sub> m <sup>3</sup> /s
40	40025000	299	39/92	0,6	1,1	8,8	101,3
	40050000	4846	35/92	21,5	26,4	108,4	528,9
	40070000	9255	65/92	39,1	51,1	188,7	713,5
	40100000	13087	58/92	44,6	58,6	226,3	859,1
	40150000	2507	36/92	12,9	14,4	39,9	244,7
	40180000	145	38/80	1,1	2,1	6,9	164,6
	40330000	7350	38/92	26,5	35,4	101,5	537,2
	40380000	1217	39/81	4,5	5,7	18,2	96
	40665000	259	38/85	0,9	1,3	4,2	28,5
	40680000	469	38/95	1,5	2,1	9	79,7
41	41050000	1396	68/92	2,9	3,8	19,9	261,8
	41090002	5320	63/83	7,5	11,6	85,8	1128,4
	41135000	61880	68/83	312	424,5	842	3178,3
	41250000	676	38/92	0,6	1,1	8,3	74,2
	41300000	584	41/92	1,6	2,2	10,3	114,2
	41380000	524	43/92	0,6	1	7	116,2
	41600000	7838	56/92	26,1	31,8	102,9	644,8
	41700001	1743	41/75	3,1	4,9	30,6	212,3
	41818000	16528	43/92	38,9	49,2	211,4	1382,7
	41990000	25940	38/92	51,1	64	308,7	1999,6
42	42030000	90990	63/80	383,6	472,8	1015,5	3925,5
	42090000	4500	59/75	1,8	2,9	27	320,9
	42210000	107070	59/81	320,4	435,3	1132,2	4744,2
	42395000	12915	55/75	28,1	37,1	156,3	770
	42540000	5820	56/75	16,9	22,1	72,2	429,1
	42600000	9959	56/75	22,4	29,1	101,6	561,1
	42690001	29358	56/75	52	68,5	294,1	1478,4
	42980000	41709	52/75	69,4	90,2	436,3	2090,4
43	43200000	154100	52/81	449,6	571	1601,7	5662,4
	43670000	18600	64/75	31	42	205,1	1080,8
	43880000	23765	62/75	39,4	49,5	249,1	1234,1
	43980000	24658	55/75	38,2	48,4	250,9	1270,7
44	44200000	182537	34/96	643,7	732,1	2081,6	7810,1
	44250000	3812	73/96	13,7	14,5	26	100
	44290002	191063	72/96	783,5	898,6	2109,9	6998,1
	44500000	202400	32/96	502,9	641,9	2102,7	7050,8
	44540000	531	74/96	1,1	1,2	2,6	20,5
	44670000	12401	62/96	1,1	2,2	19,1	164
	44750000	1661	69/88	0,3	0,5	6,2	128,7
	44950000	30474	69/96	1,2	2,3	31,6	235,1

Tabela A. Valores das variáveis estudadas dos postos fluviométricos selecionados (Continuação).

Sub-bacia	Posto	Área km <sup>2</sup>	Período	Q <sub>95</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>90</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>m</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>c</sub> m <sup>3</sup> /s
45	45131000	6186	46/95	42,1	44,9	70,4	180,5
	45170000	5730	45/73	44,5	46,7	61,1	137,2
	45210000	12120	69/95	93,9	97,4	139,4	334,2
	45220000	2196	50/95	7,5	8,5	13,8	44,2
	45260000	15600	64/95	102,8	108,7	157,4	406,4
	45480000	273750	40/96	541,7	706,7	2223,2	6605,6
	45740001	8646	77/95	28,2	29,8	45,1	127,4
	45840000	6867	77/95	66,5	68,9	86,8	157,1
	45880000	8695	77/95	65,5	68	89,8	191,5
	45960001	31156	77/95	166,8	174,2	233,3	524,2
46	46360000	348074	45/85	569,3	767,2	2815,5	8404,7
	46550000	18560	34/86	75,3	81,6	116,8	252,5
	46650000	35564	39/85	115,5	121,5	177,5	332,2
	46675000	39256	63/85	123	129,2	186	314
	46770000	5925	71/85	27,7	30,3	38,4	57,1
	46830000	18200	39/85	58,4	62,1	89,6	186,5
	46902000	68540	33/85	179,7	187	269,9	478,6
	46998000	433280	25/77	892,1	1013,2	2652,4	6989,2
47	47302000	443100	46/73	851,1	1024,4	2703,1	6319,5
48	48020000	510800	29/94	935,6	1075,3	2727,9	6613,1
	48290000	530000	77/94	1434,3	1538,8	2775,6	6397,2
	48590000	568600	78/94	1234,9	1442,3	2779,7	7003,8
	48830000	4870	67/94	1,6	3,2	9,5	428,3
	48840000	5980	77/94	2,1	4,2	11,3	399,3
	48850000	10000	64/94	2,7	5,3	12,5	464,9
	48860000	13240	80/94	2,7	5,4	19,7	629,2
	48880000	2120	64/94	0,9	1,7	1,9	153,2
49	49160000	8200	80/95	0,7	1,5	3,5	87,3
	49330000	604000	78/95	1209,3	1364,1	2705,3	6982,4
	49370000	608900	26/95	1060,1	1202,2	2901,3	7353,6
	49480000	4450	80/95	0,3	0,6	3,4	68,3
	49490000	5250	80/95	0,5	1	4,6	60,8
	49660000	622600	38/95	1033,4	1222,9	2870,8	7524,2
	49705000	623500	77/95	1347,6	1466,2	2627,8	6204,6

Tabela B. Valores dos índices regionais dos postos fluviométricos selecionados.  
(Os postos em destaque foram considerados como pertencentes ao rio principal)

Sub-bacia	Posto	$q_m$ l/(s.km <sup>2</sup> )	$r_{95}$	$r_{90}$	$r_c$
40	40025000	29,43	0,07	0,13	11,51
	40050000	22,37	0,20	0,24	4,88
	40070000	20,39	0,21	0,27	3,78
	40100000	17,29	0,20	0,26	3,80
	40150000	15,92	0,32	0,36	6,13
	40180000	47,59	0,16	0,30	23,86
	40330000	13,81	0,26	0,35	5,29
	40380000	14,95	0,25	0,31	5,27
	40665000	16,22	0,21	0,31	6,79
	40680000	19,19	0,17	0,23	8,86
41	41050000	14,26	0,15	0,19	13,16
	41090002	16,13	0,09	0,14	13,15
	41135000	13,61	0,37	0,50	3,77
	41250000	12,28	0,07	0,13	8,94
	41300000	17,64	0,16	0,21	11,09
	41380000	13,36	0,09	0,14	16,60
	41600000	13,13	0,25	0,31	6,27
	41700001	17,56	0,10	0,16	6,94
	41818000	12,79	0,18	0,23	6,54
	41990000	11,90	0,17	0,21	6,48
42	42030000	11,16	0,38	0,47	3,87
	42090000	6,00	0,07	0,11	11,89
	42210000	10,57	0,28	0,38	4,19
	42395000	12,10	0,18	0,24	4,93
	42540000	12,41	0,23	0,31	5,94
	42600000	10,20	0,22	0,29	5,52
	42690001	10,02	0,18	0,23	5,03
	42980000	10,46	0,16	0,21	4,79
43	43200000	10,39	0,28	0,36	3,54
	43670000	11,03	0,15	0,20	5,27
	43880000	10,48	0,16	0,20	4,95
	43980000	10,18	0,15	0,19	5,06
44	44200000	11,40	0,31	0,35	3,75
	44250000	6,82	0,53	0,56	3,85
	44290002	11,04	0,37	0,43	3,32
	44500000	10,39	0,24	0,31	3,35
	44540000	4,90	0,42	0,46	7,88
	44670000	1,54	0,06	0,12	8,59
	44750000	3,73	0,05	0,08	20,76
	44950000	1,04	0,04	0,07	7,44

Tabela B. Valores dos índices regionais dos postos fluviométricos selecionados (Continuação).

Sub-bacia	Posto	$q_m$ l/(s.km <sup>2</sup> )	$r_{95}$	$r_{90}$	$r_c$
45	45131000	11,38	0,60	0,64	2,56
	45170000	10,66	0,73	0,76	2,25
	45210000	11,50	0,67	0,70	2,40
	45220000	6,28	0,54	0,62	3,20
	45260000	10,09	0,65	0,69	2,58
	45480000	8,12	0,24	0,32	2,97
	45740001	5,22	0,63	0,66	2,82
	45840000	12,64	0,77	0,79	1,81
	45880000	10,33	0,73	0,76	2,13
	45960001	7,49	0,71	0,75	2,25
46	46360000	8,09	0,20	0,27	2,99
	46550000	6,29	0,64	0,70	2,16
	46650000	4,99	0,65	0,68	1,87
	46675000	4,74	0,66	0,69	1,69
	46770000	6,48	0,72	0,79	1,49
	46830000	4,92	0,65	0,69	2,08
	46902000	3,94	0,67	0,69	1,77
	46998000	6,12	0,34	0,38	2,64
47	47302000	6,10	0,31	0,38	2,34
48	48020000	5,34	0,34	0,39	2,42
	48290000	5,24	0,52	0,55	2,30
	48590000	4,89	0,44	0,52	2,52
	48830000	1,95	0,17	0,34	45,08
	48840000	1,89	0,19	0,37	35,34
	48850000	1,25	0,22	0,42	37,19
	48860000	1,49	0,14	0,27	31,94
	48880000	0,90	0,47	0,89	80,63
49	49160000	0,43	0,20	0,43	24,94
	49330000	4,48	0,45	0,50	2,58
	49370000	4,76	0,37	0,41	2,53
	49480000	0,76	0,09	0,18	20,09
	49490000	0,88	0,11	0,22	13,22
	49660000	4,61	0,36	0,43	2,62
	49705000	4,21	0,51	0,56	2,36