

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO¹

Silvio Bueno Pereira², Fernando Falco Pruski³, Luciano Farias de Novaes⁴, Demetrius David da Silva⁵, Márcio Mota Ramos⁶

RESUMO

A bacia do São Francisco está compreendida entre as latitudes 7° 00' e 21° 00' S e as longitudes 35° 00' e 47° 40' W, drenando uma área de aproximadamente 640.000 km². O rio São Francisco corta a região do Polígono das Secas, sendo vital à sustentabilidade e desenvolvimento dos 503 municípios situados na bacia, onde vivem cerca de 14 milhões de habitantes. Neste trabalho, analisou-se a distribuição espacial das variáveis hidrológicas na bacia do rio São Francisco pertinentes aos dados anuais de precipitação média, vazão média, vazão máxima, vazão mínima de sete dias de duração e vazão associada à permanência de 95%. Os resultados permitiram as seguintes conclusões: as precipitações diminuem da nascente para a foz do São Francisco; as vazões máxima, mínima e média de longa duração são, em geral, crescentes ao longo do rio; os maiores coeficientes de deságüe foram observados, em geral, nas estações fluviométricas com menores áreas de drenagem e com maiores quantidades precipitadas.

Palavras-chave: precipitação média, vazão, comportamento hidrológico.

ABSTRACT

Spatial Distribution of the Hydrological Variables in São Francisco Basin

São Francisco basin is located between 7° 00' and 21° 00' South latitudes and the 35° 00' and 47° 40' West longitudes. São Francisco River drains an area of 640,000 km², serving as water supply to 503 countries/towns with a total population of 14 million people. In this paper the spatial distribution of the hydrological behavior in São Francisco basin was analyzed. The average annual rainfall, the long-term mean annual streamflow, the maximum annual streamflow, the minimum annual seven-days streamflow, the streamflow associated with a 95% of the duration and the outflow coefficient were the analyzed variables. The following conclusions were drawn: the rainfall decreases from São Francisco riverhead toward its outlet; the maximum, minimum and mean streamflows generally increase along São Francisco river; the highest outlet coefficients were normally observed at the river sections with lower drainage areas and higher precipitated amounts.

Keywords: rainfall, streamflow, hydrological behavior.

¹ Parte do Subprojeto 4.3 - Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco, financiado pela ANA/GEF/OEA/PNUMA e coordenado pela UFV

² Eng. Agrônomo, Estudante de Doutorado, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, sbueno@vicosa.ufv.br, (31)38991925

³ D.S., Prof. Titular, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, fpruski@ufv.br, (31)38991912

⁴ Eng. Civil, Estudante de Mestrado, DEA, UFV, Bolsista da Capes, Viçosa, MG, lnovaes@vicosa.ufv.br, (31)38991925

⁵ D.S., Prof. Adjunto, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, david@ufv.br, (31)38991904

⁶ D.S., Prof. Titular, DEA, UFV, Bolsista do CNPq, Viçosa, MG, mmramos@ufv.br, (31)38991914

INTRODUÇÃO

Alterações expressivas podem surgir nas condições de escoamento de um curso d'água, em decorrência de captações, construção de barragens ou mudanças expressivas nas condições de ocupação da bacia hidrográfica. O conhecimento sobre a distribuição temporal e espacial da disponibilidade de água é de fundamental importância para o planejamento de uso do solo, de novas áreas irrigadas e da disponibilidade dos recursos hídricos na bacia.

A bacia do São Francisco está compreendida entre as latitudes 7° 00' e 21° 00' S e as longitudes 35° 00' e 47° 40' W, estendendo-se pelos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, além do Distrito Federal. Da nascente, na serra da Canastra, até à foz no Oceano Atlântico o rio São Francisco percorre cerca de 2.700 km, drenando uma área de, aproximadamente, 640.000 km² (ANEEL, 1998). O rio São Francisco corta toda a região do Polígono das Secas, sendo vital para a sustentação e desenvolvimento dos 503 municípios, ao longo de sua extensão (ALMANAQUE..., 2001).

Na foz do São Francisco a vazão média de longa duração, apresentada na literatura, varia de 2.850 m³ s⁻¹ (RAMOS e SILVA, 2001) a 3.360 m³ s⁻¹ (ANEEL, 1999). Com uma disponibilidade de 64,4 bilhões de m³ ano⁻¹, responde por 69% das águas superficiais do Nordeste. A capacidade total de acumulação de água superficial, no Nordeste, é de 85,1 bilhões de m³. Destes, 50,9 bilhões, ou seja, 50,8%, localizam-se na bacia do rio 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 (ALMANAQUE..., 2001).

A bacia do São Francisco apresenta 40% de sua área (256.000 km²) com terras aptas para 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. Na parte inferior do Médio e do Submédio, esta atividade é limitada por

que toda a região está incluída no semi-árido. Do total agricultável, 3.000.000 ha são potencialmente irrigáveis, mas somente 333.312 ha são atualmente irrigados (CODEVASF, 1999).

Segundo Lima e Miranda (2001), no período de 1970 a 1990, a área irrigada na bacia do São Francisco teve um crescimento da ordem de 286%, o que equivale a 8.620 ha ano⁻¹, enquanto a taxa de crescimento no País foi de 266%.

A bacia do rio São Francisco constitui um importante indutor do desenvolvimento de diversos estados brasileiros e, principalmente, da região Nordeste. Portanto, é necessário que as características hidrológicas dessa bacia sejam devidamente conhecidas, para que o aproveitamento de suas águas seja otimizado com o menor impacto ambiental possível. Neste trabalho, analisou-se a distribuição espacial pertinente aos dados de precipitação média anual, vazão média anual, vazão máxima anual, vazão mínima anual com sete dias de duração, vazão associada à permanência de 95% e coeficiente de deságüe, ao longo da bacia do rio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do estudo, analisaram-se os dados referentes às 178 estações pluviométricas e 77 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Com base na análise dos dados disponíveis, optou-se por selecionar o período-base de 1950 a 1999.

Após a análise dos dados hidrológicos, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas para posterior preenchimento. O preenchimento de falhas foi realizado por meio de correlações, segundo critérios consagrados de escolha de bases para as regressões. No caso de estações, que apresentavam no mínimo 40 anos de dados, ou seja, pelo menos 80% da série, não foi feito o preenchimento de falhas.

Para o cálculo da precipitação média, na área de drenagem correspondente a cada uma das estações fluviométricas, foi utilizado o método das isoietas, segundo metodologia descrita por TUCCI (2000), utilizando-se a seguinte equação:

$$P_m = \frac{\sum \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) A_i}{A} \quad (1)$$

em que

P_m = precipitação média na bacia considerada, mm;

P_i = valor da isoietas de ordem i , mm;

P_{i+1} = valor da isoietas de ordem $i + 1$, mm;

A_i = área entre as duas isoietas de ordem i e $i+1$, km²; e

A = área total, km².

A vazão máxima anual utilizada foi a correspondente ao maior valor da vazão diária observada para cada ano considerado. A vazão mínima utilizada foi a vazão mínima anual de sete dias de duração, identificada para cada ano considerado no estudo.

O coeficiente de deságüe foi obtido pela razão entre o volume que escoou pela seção de deságüe considerada ($V_{\text{total escoado}}$) e o volume total precipitado ($V_{\text{total precipitado}}$).

A vazão associada à permanência de 95% foi obtida, segundo metodologia proposta por Tucci (2000), a partir da análise da frequência de ocorrência das vazões diárias, retratando a parcela de tempo que uma determinada vazão é igualada, ou superada, durante o período analisado.

De posse dos dados de precipitação média, vazão média, vazão máxima, vazão mínima com sete dias de duração, coeficiente de deságüe e vazão associada à permanência de 95%, foram construídos mapas de representação espacial das variáveis hidrológicas, utilizando-se o sistema de informações geográficas ARCVIEW 3.2a.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o mapa de isoietas, relativo à precipitação média anual. Observa-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 Baixo São Francisco. A partir daí, ocorre um acentuado aumento na precipitação, em decorrência da influência das condições litorâneas no regime pluviométrico local. A precipitação mínima na bacia é evidenciada no Submédio São Francisco, onde verificam-se precipitações 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 São Francisco de 400 a 1.300 mm.

A Figura 2 representa a distribuição da vazão média de longa duração na bacia do São Francisco, evidenciando-se que os valores no rio principal até a sub-bacia 41 (áreas de drenagem menores que 62.000 km²) são inferiores a 1.000 m³ s⁻¹. A partir da sub-bacia 41 (áreas de drenagem maiores que 90.000 km²), as vazões são superiores a 1.000 m³ s⁻¹ e a 2.000 m³ s⁻¹ a partir da sub-bacia 43 (áreas de drenagem maiores que 150.000 km²).

As vazões médias de longa duração evidenciadas no rio principal, ao longo do Alto São Francisco, são inferiores a 1.000 m³ s⁻¹, no Médio de 1.000 a 2.700 m³ s⁻¹ e no Submédio e Baixo São Francisco de 2.000 a 2.700 m³ s⁻¹.

As vazões médias de longa duração, em todas as estações situadas em afluentes do São Francisco, são menores que 1.000 m³ s⁻¹ (áreas de drenagem inferiores a 70.000 km²).

A Figura 3 apresenta a distribuição dos valores médios da vazão máxima, ao longo da bacia do São Francisco. Evidencia-se que as vazões máximas são, em geral, crescentes ao longo do rio principal, sendo estas menores que 1.000 m³ s⁻¹ até o limite entre as sub-bacias 40 e 41.

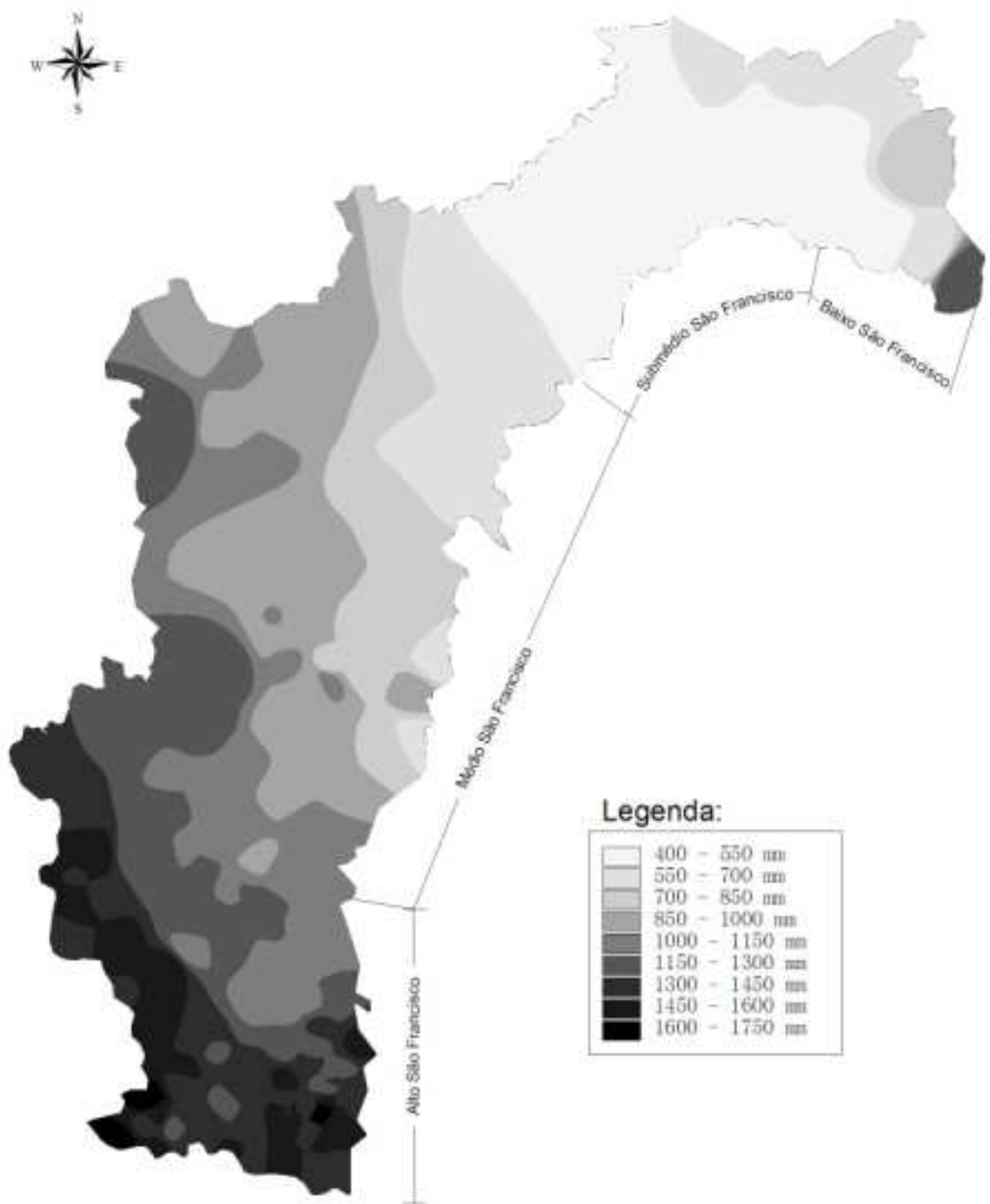


Figura 1. Distribuição espacial da precipitação média anual na bacia do rio São Francisco.

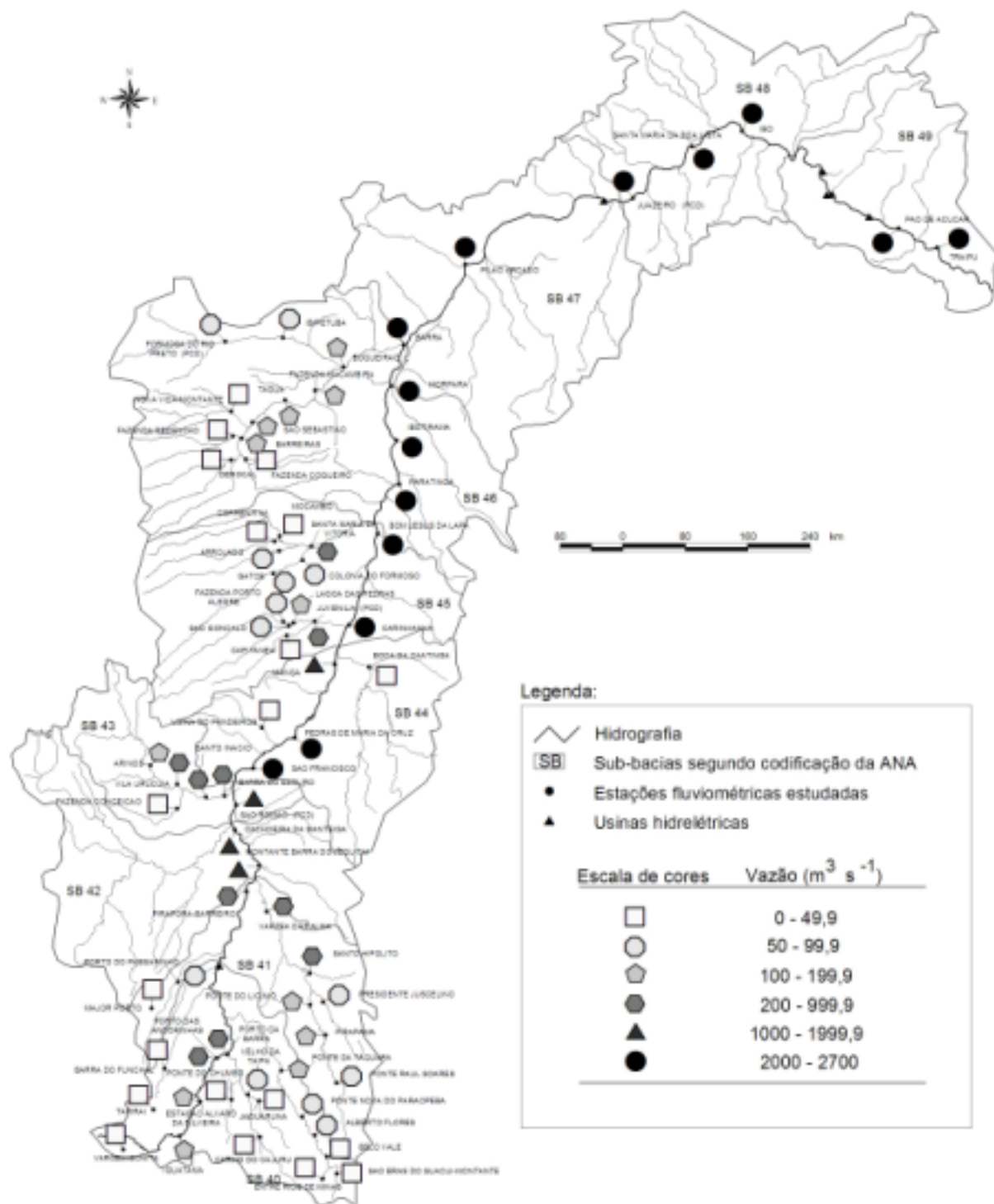


Figura 2. Distribuição espacial da vazão média de longa duração na bacia do rio São Francisco.

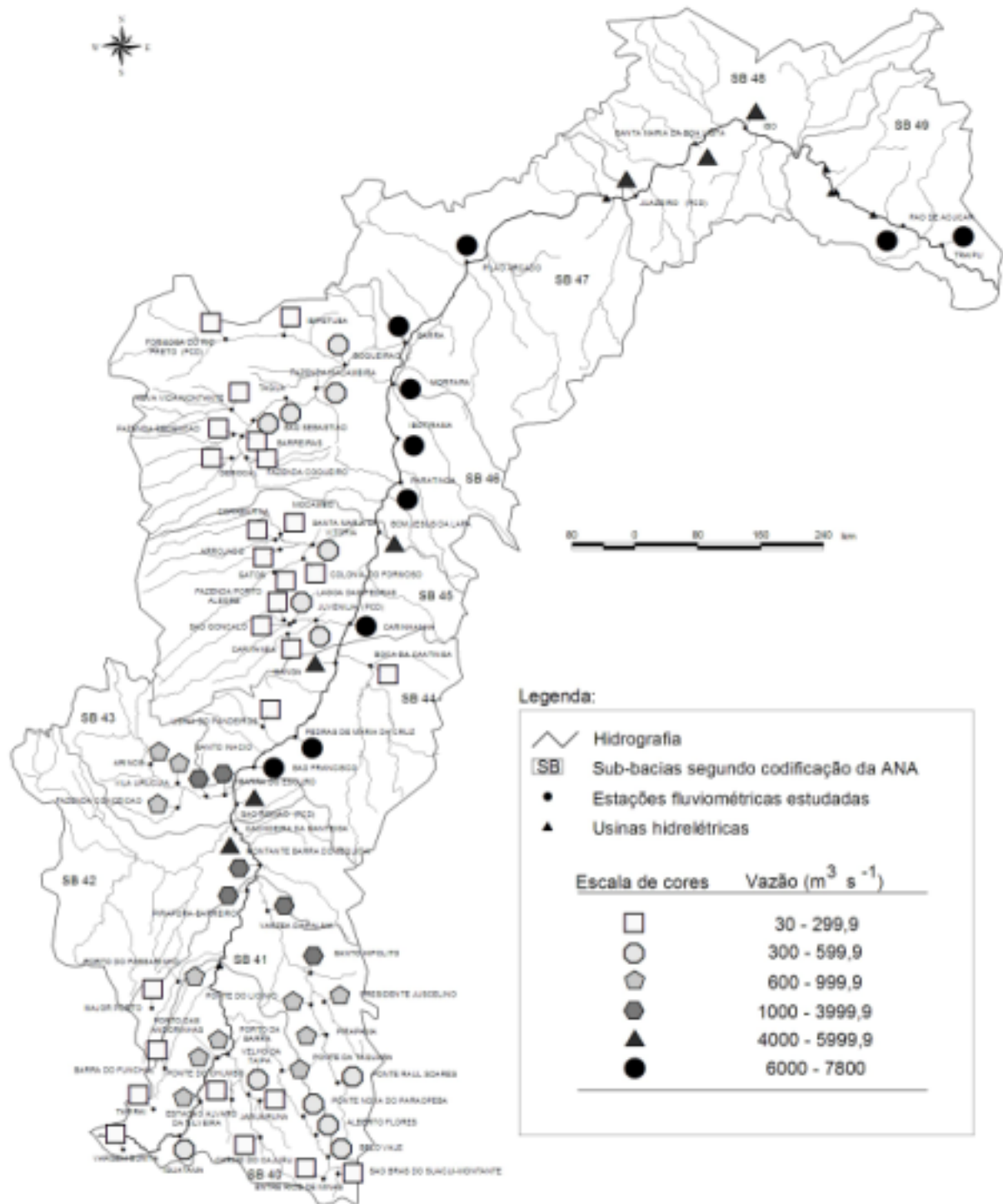


Figura 3. Distribuição espacial da vazão máxima na bacia do rio São Francisco.

A partir da sub-bacia 43, as vazões máximas são superiores a $4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sendo interessante observar uma redução da vazão máxima, para as estações Juazeiro, Santa Maria da Boa Vista e Ibó, em relação às estações situadas a montante destas, decorrente da regularização promovida pelo reservatório de Sobradinho, com capacidade de acumulação de 34,1 bilhões de m^3 de água.

Nos afluentes do São Francisco, o maior valor encontrado para a vazão máxima foi de $1.890 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, observado em Várzea da Palma, situada no rio das Velhas e com área de drenagem de 25.940 km^2 , sendo, portanto, muito inferior à área de drenagem de outras estações situadas em afluentes do São Francisco. Este comportamento pode ser atribuído às elevadas precipitações evidenciadas nesta região e à intensa urbanização, bem como à conseqüente impermeabilização existente na sub-bacia do rio das Velhas, onde situa-se parte da região metropolitana de Belo Horizonte.

Os valores médios das vazões máximas anuais, obtidas na calha principal do rio no Alto São Francisco, durante o período de 1950 a 1999, são inferiores a $4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, no Médio e Submédio de 4.000 a $7.800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e no Baixo de 7.000 a $7.800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A Figura 4 representa a distribuição dos valores médios da vazão mínima com sete dias de duração, ao longo da bacia do São Francisco, na qual observa-se que as vazões mínimas são, em geral, crescentes ao longo do rio, sendo estas menores que $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ até o limite entre as sub-bacias 40 e 41. A partir da sub-bacia 43, as vazões mínimas são sempre superiores a $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, a partir da sub-bacia 47, os valores são superiores a $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Nos afluentes do São Francisco, a vazão mínima com sete dias de duração foi inferior a $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, exceto nas estações Juvenília, localizada no rio Carinhanha e com área de drenagem de 15.600 km^2 , Santa Maria da Vitória, localizada no rio Corrente e com área de drenagem de 29.570 km^2 , e em quatro outras estações localizadas no rio Grande, com áreas de drenagem superiores a 32.586 km^2 . Em todas estas estações, a vazão mínima com sete dias de duração foi inferior $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Os valores médios das vazões mínimas anuais com sete dias de duração, obtidos na calha principal do São Francisco, são inferiores a $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Alto São Francisco, de 500 a $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Médio e de 1.000 a $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Submédio e Baixo São Francisco.

A Figura 5 apresenta o mapa com a distribuição dos valores médios da vazão com permanência de 95%, ao longo da bacia do São Francisco. Nesta figura, constata-se um comportamento muito similar ao evidenciado e discutido para a vazão mínima com sete dias de duração, isto é, na calha principal do São Francisco são inferiores a $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Alto São Francisco, de 500 a $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Médio e de 1.000 a $1.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Submédio e Baixo São Francisco.

A Figura 6 representa a distribuição do coeficiente de deságüe (correspondente à relação entre o volume de água, que passa na seção fluviométrica no ano considerado, e o volume precipitado na área de contribuição relativa a esta seção no mesmo ano) ao longo da bacia do São Francisco. Observa-se que os maiores coeficientes de deságüe ocorrem, em geral, nas estações fluviométricas com menores áreas de drenagem e com maiores quantidades precipitadas.

Excluindo Vargem Bonita (sub-bacia 40), onde o coeficiente de deságüe foi 0,65 (valor bastante alto e que pode, em parte, estar associado a problemas relacionados à curva-chave, utilizada na estimativa da vazão), todas as demais estações apresentaram valores inferiores a 0,5.

Os coeficientes de deságüe para a sub-bacia 40 foram, em geral, os mais elevados, estando os valores compreendidos entre 0,2 e 0,5. Nas estações posicionadas em afluentes do São Francisco, situados nas demais sub-bacias, os coeficientes de deságüe foram de 0,1 a 0,4, com exceção de Fazenda Coqueiro e Boca da Caatinga, que apresentaram coeficientes de deságüe menores que 0,1. Observa-se que os coeficientes de deságüe, nas estações situadas no Alto São Francisco, variam 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.

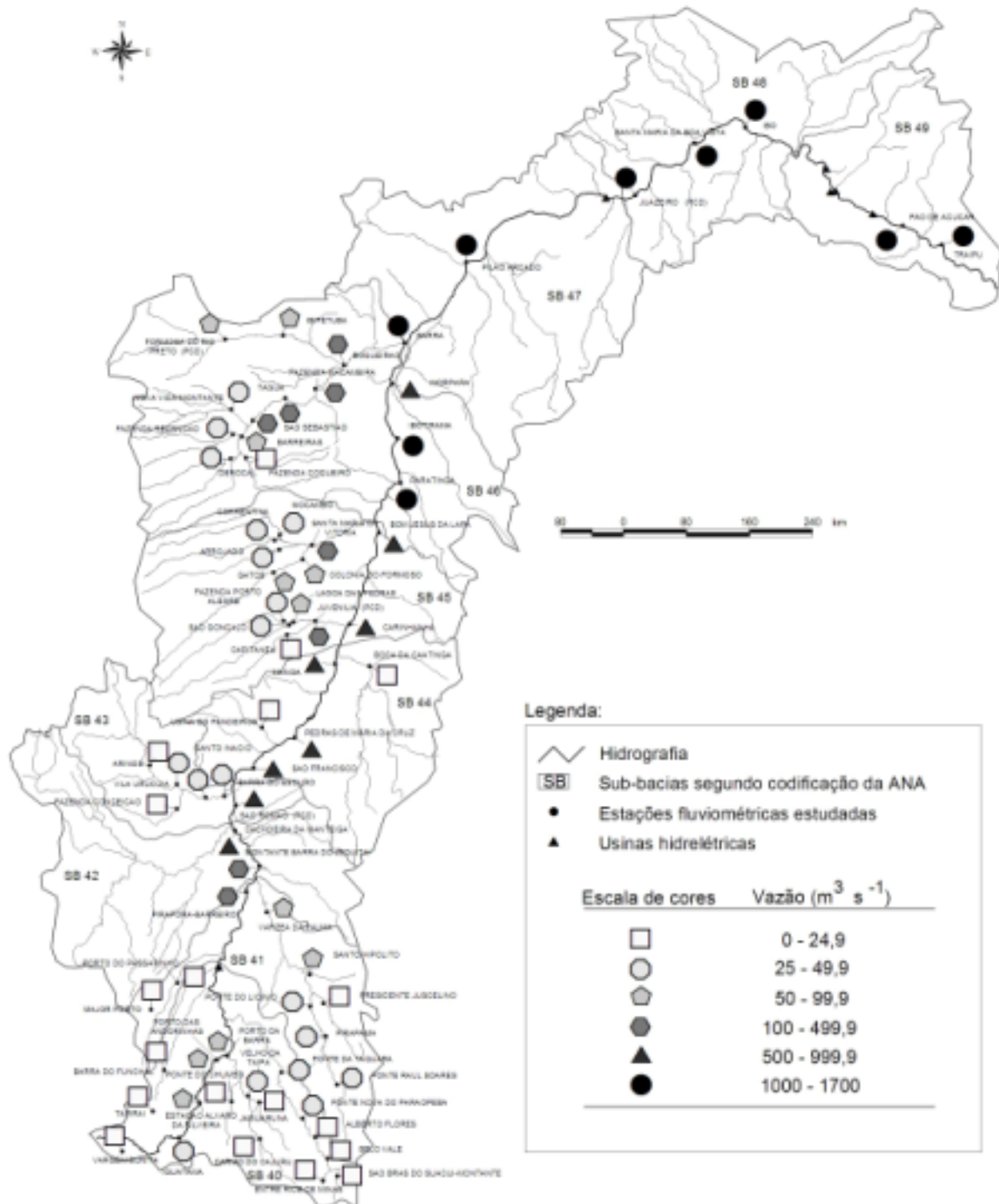


Figura 4. Distribuição espacial da vazão mínima com sete dias de duração na bacia rio do São Francisco.

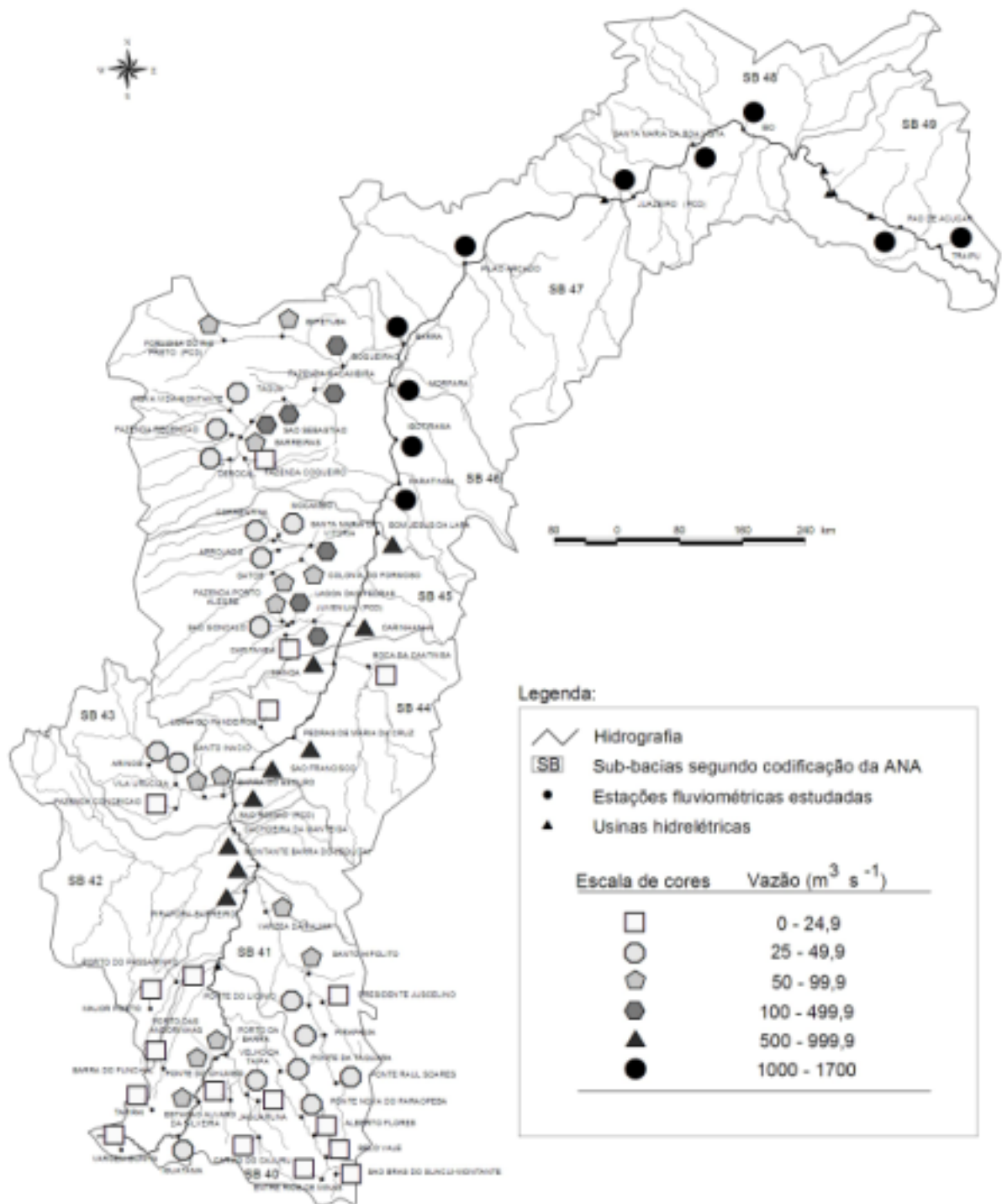


Figura 5. Distribuição espacial da vazão associada à permanência de 95%.

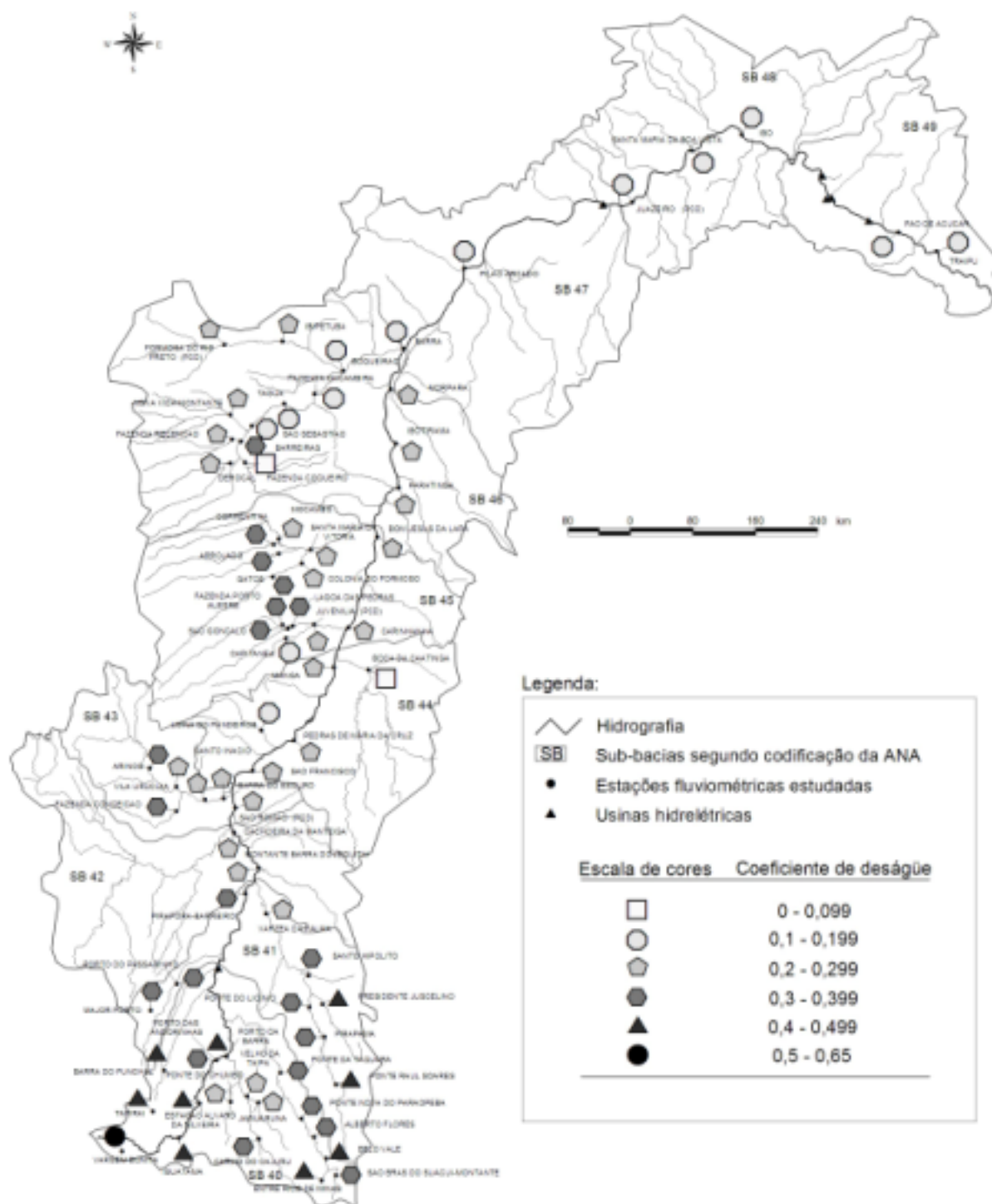


Figura 6. Distribuição espacial do coeficiente de deságüe na bacia do rio São Francisco.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir:

- As precipitações diminuem da nascente para a foz do São Francisco, sendo a maior precipitação média anual observada pertinente à área de drenagem da estação Porto Passarinho, situada na sub-bacia 40, e igual a 1.506 mm, e a mínima precipitação média anual observada na área de drenagem pertinente à estação Traipu, localizada na sub-bacia 49 e igual a 902 mm.
- As vazões médias de longa duração são crescentes, ao longo do rio São Francisco, sendo inferiores a $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Alto São Francisco, de 1.000 a $2.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Médio e de 2.000 a $2.700 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no Submédio e Baixo São Francisco.
- As vazões máximas são, em geral, crescentes ao longo do rio principal, sendo estas menores que $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ até o limite entre as sub-bacias 40 e 41. A partir da sub-bacia 43, as vazões máximas são superiores a $4.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Na sub-bacia 48, ocorreu uma redução da vazão máxima em função do efeito de regularização do curso d'água, provocado pela barragem de Sobradinho.
- As vazões mínimas com sete dias de duração são, em geral, crescentes ao longo do São Francisco, sendo estas menores que $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ até o limite entre as sub-bacias 40 e 41. A partir da sub-bacia 43, as vazões mínimas são sempre superiores a $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e, a partir da sub-bacia 47, os valores são superiores a $1.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- Os maiores coeficientes de deságüe foram observados, em geral, nas estações fluviométricas com menores áreas de drenagem e com maiores quantidades precipitadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (1999). “**Informações**

Hidrológicas Brasileiras”. ANEEL, Brasília, mimeo.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas Hidrológico Brasileiro** – Versão 1.0. ANEEL, Brasília, CD. ROM. 1998.

ALMANAQUE. **Vale do São Francisco 2001**. Brasília, D.F.: CODEVASF, 2001.411p

CARDOSO, H.E.A., MANTOVANI, E.C., COSTA, L.C. As águas na agricultura. In: **Agroanalysis**. Instituto Brasileiro de Economia. Centro de Estudos Agrícolas. v.19, n.3, p.27-28, 1998.

CODEVASF. **Mapa de áreas irrigadas** – Bacia do Rio São Francisco. 1999. 1 mapa. Escala: 1:2.000.000.

EUCLYDES, H. P. et al. **RH 3.0 – Regionalização Hidrológica**; manual do programa. Viçosa, MG: UFV/DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS, 1999, 149p.

LIMA, J.P.R., MIRANDA, E.A. Fruticultura irrigada no vale do São Francisco: incorporação tecnológica, competitiva e sustentabilidade. **Revista Econômica do Nordeste**. Fortaleza, v.32, n. especial, p.611-632, 2001.

RAMOS, M.M., PRUSKI, F.F. Subprojeto 4.3 - quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco. In: ANA/GEF/PNUMA/OEA. Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. **Relatório final**. Viçosa, MG, 190 p. 2003.

RAMOS, M.M., SILVA, D.D. **Geografia das águas**. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Brasília, DF: ABEAS; Viçosa: UFV/DEA, 2001. 83p. (Curso Uso Racional dos Recursos Naturais e seus Reflexos no Meio Ambiente, Módulo 4).

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000, 943 p.