

ALYSSON FELICIANO LEMOS

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  
MÍNIMAS DE REFERÊNCIA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO  
FRANCISCO, A MONTANTE DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2006

ALYSSON FELICIANO LEMOS

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  
MÍNIMAS DE REFERÊNCIA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO  
FRANCISCO, A MONTANTE DO RESERVATÓRIO DE TRÊS MARIAS

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Agrícola, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de maio de 2006.

---

Prof. Antonio Teixeira de Matos

---

Prof. Marcio Mota Ramos  
(Co-Orientador)

---

Prof<sup>a</sup> Maria Lúcia Calijuri

---

Prof. Edivaldo Fialho dos Reis

---

Prof. Demetrius David da Silva  
(Orientador)

*Aos meus pais Manoel e Zilda.*  
*Às minhas irmãs Patrícia, Vânia e Sirlene.*  
*A todas as minhas sobrinhas.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar em mais esta etapa da vida.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Professor Demetrius David da Silva, pela orientação valiosa, pelos ensinamentos, pela compreensão, pelo profissionalismo, pela amizade, pela confiança e pela dedicação demonstrados ao longo da condução deste trabalho.

Aos meus co-orientadores Professores Fernando Falco Pruski e Marcio Mota Ramos, pelo apoio, pela amizade, pelas idéias, sugestões e pelas críticas oportunas durante a realização desta pesquisa.

Ao Professor Francisco Campos, da UFMG, pelos conselhos, pelo apoio e pela amizade.

Aos meus amigos da República Jegaria Bezerra Capotado e Cavalão Deitado, pelos ótimos anos de convivência.

Ao meu primo-piloto Leonardo Maia, pela acolhida em Brasília e pela amizade.

À minha grande amiga Camilinha, pelos ótimos momentos que passamos juntos e pelos anos como vizinho no Santa Clara.

Aos meus grandes amigos do Ministério da Saúde Daniela Buosi, Priscila Bueno, Janaina Silva, Herling Alonzo, Denise e Maurício e a todos da Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, pelo companheirismo.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação Felipe Marques, Luciano Novaes, Wendy Ataíde, Luiz Gustavo Baena, Silvio Bueno, Renata Del Giudice e

Flávio Gonçalves, pela valiosa ajuda e pela agradável convivência durante a realização deste estudo.

Aos alunos do Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental Vivian, Denise, Leônidas e Douglas, por terem se envolvido na execução do trabalho.

Aos professores e aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela dedicação e amizade.

Ao João Bicalho, pela ajuda e conselhos que sempre me ajudaram nos momentos complicados.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ALYSSON FELICIANO LEMOS, filho de Manoel Feliciano Lemos e Zilda Freire Lemos, nasceu em Passos, MG, em 16 de dezembro de 1978.

Em março de 1997, iniciou no Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, MG, graduando-se em agosto de 2003.

Em agosto de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, na área de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, submetendo-se à defesa de tese em maio de 2006.

Em julho de 2004, foi contratado como consultor técnico do Ministério da Saúde para atuar na área técnica de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Solo Contaminado (VIGISOLO), que está inserida na Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental da Secretária de Vigilância em Saúde, onde permanece até a presente data.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Gestão de recursos hídricos .....	4
2.2. Uso de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) na regionalização hidrológica .....	8
2.3. Características físicas e climáticas utilizadas na regionalização hidrológica .....	10
2.3.1. Características físicas .....	10
2.3.2. Características climáticas .....	14
2.4. Variáveis e funções hidrológicas utilizadas no estudo de regionalização de vazões mínimas de referência .....	15
2.4.1. Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), considerando-se períodos trimestral e anual .....	15
2.4.2. Curva de permanência .....	16
2.5. Regionalização hidrológica .....	17
2.5.1. Metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás .....	17
2.5.2. Metodologia proposta por Chaves et al. (2002) .....	21

	Página
2.5.3. Metodologia baseada na interpolação linear (vazão específica).....	21
2.5.4. Comparação entre as metodologias para a regionalização de vazões..	22
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1. Caracterização da bacia hidrográfica em estudo.....	24
3.2. Geração do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.....	26
3.2.1. Amostragem .....	26
3.2.2. Pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem .....	28
3.2.3. Geração do modelo digital de elevação (MDE).....	29
3.2.4. Pós-processamento para geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).....	29
3.2.5. Validação do MDEHC .....	30
3.3. Seleção e análise dos dados básicos.....	31
3.4. Obtenção das características físicas das sub-bacias hidrográficas.....	39
3.5. Determinação das características climáticas das sub-bacias hidrográficas	40
3.6. Preenchimento de falhas .....	42
3.7. Determinação das vazões mínimas de referência.....	43
3.8. Comparação das metodologias de regionalização de vazões.....	47
3.8.1. Metodologia de regionalização de vazões baseada na utilização de equações de regressão regionais (ELETROBRÁS, 1985a) .....	47
3.8.1.1. Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas.....	47
3.8.1.2. Regionalização das vazões mínimas de referência .....	49
3.8.2. Metodologia de regionalização de vazões baseada no princípio da vazão específica .....	50
3.8.3. Metodologia de regionalização de vazões baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas .....	52
3.9. Análise do comportamento dos modelos .....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	55
4.1. Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente .....	55
4.2. Características físicas e de precipitação média pluvial.....	55
4.3. Preenchimento de falhas .....	62



	Página
4.4. Regionalização de vazões mínimas baseada na utilização de equações de regressão regionais (ELETROBRÁS, 1985) .....	65
4.4.1. Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas .....	65
4.4.2. Regionalização da $Q_{7,10}$ .....	71
4.4.3. Análise da variação da $Q_{7,10}$ considerando os períodos trimestral e anual.....	75
4.4.4. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ .....	77
4.5. Regionalização de vazões mínimas baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas .....	79
4.5.1. Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando-se períodos trimestral e anual .....	79
4.5.2. Análise da variação da $Q_{7,10}$ , considerando-se os períodos trimestral e anual.....	81
4.5.3. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ .....	83
4.6. Regionalização de vazões mínimas baseada na metodologia de vazão específica.....	83
4.6.1. Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando-se períodos trimestral e anual .....	83
4.6.2. Análise da variação da $Q_{7,10}$ , considerando-se os períodos trimestral e anual .....	86
4.6.3. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ .....	88
4.7. Comparação das metodologias de regionalização de vazões utilizadas.....	89
4.7.1. Metodologia tradicional (ELETROBRÁS, 1995).....	89
4.7.2. Metodologia proposta por Chaves et al. (2002) e metodologia de vazão específica .....	90
5. CONCLUSÕES .....	92
6. REFERÊNCIAS .....	93
APÊNDICES.....	98
APÊNDICE A.....	99
APÊNDICE B .....	103
APÊNDICE C .....	122
APÊNDICE D .....	126

## RESUMO

LEMOS, Alysson Feliciano, M. S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2006.  
**Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia hidrográfica do Rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias.** Orientador: Demetrius David da Silva. Co-Orientadores: Fernando Falco Pruski e Márcio Mota Ramos.

No presente trabalho, três metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência ( $Q_{7, 10}$ , para períodos trimestrais e anual,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) para a bacia do Rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, foram avaliadas. A saber: Tradicional proposta por Eletrobrás (1985a), Chaves et al. (2002) e vazão específica. As características físicas utilizadas na regionalização pelo método tradicional foram a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a densidade de drenagem e a declividade média da bacia e do rio principal, extraídas a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente, e as características climáticas foram a precipitação total anual e as precipitações do semestre e trimestre mais secos. Os modelos probabilísticos de distribuição de eventos extremos testados para as séries de vazões mínimas foram: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. Após a identificação do modelo probabilístico com melhor ajuste aos dados de vazões, foram obtidas, para cada estação fluviométrica, as vazões mínimas com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7, 10}$ ) para períodos trimestral e anual, considerando-se o ano civil. Os valores das vazões associadas a 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ )

de permanência no tempo foram obtidos da curva de permanência de valores diários de cada estação fluviométrica. Nas regionalizações feitas com base nas metodologias de Chaves et al. (2002) e vazão específica houve a necessidade de identificar quatro possíveis situações: 1) seção de interesse localizada a montante de um posto com vazão conhecida, 2) seção de interesse localizada entre dois postos com vazões conhecidas, 3) seção de interesse localizada a jusante de um posto com vazão conhecida e 4) seção de interesse situada em um canal afluente, cuja foz está entre dois postos fluviométricos de um canal de ordem superior. Tanto na metodologia proposta por Chaves et al. (2002) quanto na de vazões específicas, os valores de vazões foram estimados por meio da aplicação de equações específicas para cada uma das situações mencionadas anteriormente. Após a regionalização das vazões mínimas, procedeu-se à comparação dos resultados das metodologias de Chaves et al. (2002) e de vazão específica com os valores observados em cada estação fluviométrica. Já com a metodologia tradicional efetuou-se a comparação dos resultados obtidos no presente trabalho, referente ao período-base de dados de 1978 a 2002, com os apresentados no Atlas Digital das Águas de Minas (ATLAS, 2005), com período-base de 1970 a 2002. A precisão das metodologias foi avaliada por meio da aplicação de dois índices: erro relativo e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe. Os resultados indicaram que: os modelos probabilísticos Log-Normal a dois e três parâmetros e Pearson III foram os que melhor se ajustaram aos dados de vazão mínima com sete dias de duração, considerando-se os períodos trimestral e anual das três regiões homogêneas identificadas; a área de drenagem foi a variável mais expressiva para a representação das vazões mínimas de referência no método tradicional, sendo que para a  $Q_{7,10}$  também foram utilizadas a densidade de drenagem e a precipitação do trimestre mais seco; os erros relativos médios e os coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe das metodologias tradicional, Chaves et al. (2002) e vazão específica, considerando-se a  $Q_{7,10}$  anual, foram de 26,8%, 100,7% e 94,3% e 0,81; 0,94; e 0,93, respectivamente; a obtenção das vazões mínimas de referência baseada em períodos trimestrais proporcionou considerável aumento na disponibilidade hídrica do primeiro e segundo trimestres, em comparação com aquelas obtidas com base em período anual. Os resultados permitiram concluir que: o modelo digital de elevação da bacia do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, mostrou-se hidrologicamente consistente e possibilitou a determinação automática das características físicas da bacia; a área de drenagem, a densidade de drenagem e a precipitação do trimestre mais seco foram as variáveis que melhor

representaram a  $Q_{7,10}$  na regionalização pelo método tradicional; a área de drenagem foi a variável mais expressiva para a representação da  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  na regionalização pelo método tradicional; as metodologias de interpolação e extrapolação baseada em sistemas de informações geográficas e vazão específica não apresentaram resultados satisfatórios nas situações em que a diferença na área de drenagem do local de vazão conhecida com o local onde se deseja conhecer a vazão foi grande; a melhor metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia estudada foi a tradicional, baseada na utilização de equações de regressão regionais; e a obtenção das vazões mínimas de referência baseada em períodos trimestrais proporcionou considerável aumento na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga de uso da água, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano.

## ABSTRACT

LEMOS, Alysson Feliciano, M. S., Universidade Federal de Viçosa, May 2006.  
**Evaluation of methods of reference for regionalization of the minimum flow rates for the São Francisco river basin hydrological upstream the Três Marias reservoir.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-Adivers: Fernando Falco Pruski and Márcio Mota Ramos.

This work evaluates three methods measuring the minimum reference flow rates ( $Q_{7,10}$  for quarterly and annually periods,  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$ ) for the basin hydrological of the São Francisco River, upstream of the Três Marias Reservoir. The three compared methods are: The Traditional model, proposed by ELETROBRÁS (1985a); CHAVES et al. (2002) and depicts a specific flow rate. The Physical and Geographical Model, whose characteristics used in the regionalization context by the traditional method were the drainage area, the length of the main river, the drainage's density, the medium steepness of the basin and of the main river extracted from a hydrological consistent digital elevation model (HCDEM) – which also considers the climatic characteristics such as the total annual and half-yearly precipitation, as well as the total amount found in the driest quarter; and The Probability Model on the Distribution of Extreme Events tested for the series of minimum flow rates such as Log-normal to two and three parameters, Pearson III, Log-Pearson III and Weibull. After identifying the best probability model to find flow rates, data were obtained for each fluvioimetric gaging stations, considering the minimum flow rates within seven days of duration associated

with a 10 year return period ( $Q_{7,10}$ ) for quarterly and annually periods observed in a calendar year. The values of the flow rates stand were associated to 90% ( $Q_{90}$ ) and 95% ( $Q_{95}$ ) during the time they were obtained from the values of the daily curve of permanence for each fluviometric gaging station. As for the regionalization method using CHAVES et al. (2002) and a specific flow rate consideration, it was necessary to identify four possible situations: 1) point of interest located upstream from a known flow rate position, 2) point of interest located between two places with known flow rates, 3) point of interest located downstream a known flow rate position and, 4) point of interest placed in a flowing channel whose mouth is located between two put fluviometric gaging stations in a channel of superior order. Either in the methodology proposed by CHAVES et al. (2002) or in the one of specific flow rates, the flow rates values were estimated from the application of specific equations for each and every situation mentioned above. After the observing the minimum flow rates of the region, comparison of the results followed for the CHAVES et al. (2002) method and the specific flow rates with the values observed for each fluviometric gaging stations. As for the traditional method, the comparison of results obtained in the present work regards the period from 1978 to 2002 as found in the Digital Atlas of the Waters of Minas (ATLAS, 2005) and has a period base dated from 1970 to 2002. The accuracy on the methods was evaluated by the application of two indexes: The relative error average and the Nash and Sutcliffe's efficiency coefficient. The results indicated that the probability Log-normal models to two and three parameters, and Pearson III, were the ones that best described the minimum flow rate data within seven days of duration, if one considers annual and quarterly periods for the three identified homogeneous areas. The areas were: the drainage area, which was the most expressive variable concerning the figures for the references of minimum flow rates in the traditional method, and for  $Q_{7,10}$  the drainage density and the precipitation of the driest quarter were also used. The relative errors average and the coefficients of efficiency of Nash and Sutcliffe for the traditional methodologies, CHAVES et al (2002) and specific flow rate, considering annual  $Q_{7,10}$ , were of 26,8%, 100,7% and 94,3% and 0,81, 0,94 and 0,93, respectively. The reference of minimum flow rates based on quarterly periods provided considerable increase in water availability during the first and second quarters when compared to those obtained annually. The results then allowed reaching a conclusion: The digital model of elevation São Francisco basin hydrological, upstream the Três Marias Reservoir is hydrologically consistent. It allows an automatic determination of physical

characteristics of the basin; the drainage area, the drainage density and the precipitation of the driest quarter were the variables that best represented  $Q_{7,10}$  in the regionalization for the traditional method; the drainage area was the most expressive variable representing  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$  in the regionalization for the traditional method. The interpolation and extrapolation methods based on systems of geographical information and specific flow rate did not present satisfactory results in situations in which the difference observed in the area of drainage of a known flow rate place compared to another was significant; the best method of regionalization for reference of minimum flow rates for the studied basin was the traditional one, based on the use of regional regression equations; last but not least, the rate of reference for minimum flow rates based on quarterly periods provided considerable increase in the hydric availability, making it more flexible as well as granting a better use for water in the rainiest periods of the year.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o estabelecimento do domínio público das águas, a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, previsto também na Lei 9.433/97 e nas legislações Estaduais que tratam da política relacionada aos recursos hídricos, a outorga de direito de uso de recursos hídricos tornou-se um dos mais importantes instrumentos que subsidiam a gestão desses recursos, constituindo-se em elemento disciplinador do uso da água nas bacias hidrográficas. Todos os usuários de recursos hídricos, excetuando-se os casos isentos previstos em lei, devem dirigir-se ao órgão gestor e solicitar a outorga para garantir seus direitos de uso de determinada vazão ou volume de água.

A outorga não dá ao usuário a propriedade da água ou a sua alienação, mas o simples direito de seu uso, podendo ser suspensa, parcial ou totalmente, em casos extremos de escassez ou de não cumprimento pelo outorgado dos termos de outorga previstos nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem aos usos prioritários e de interesse coletivo.

Em rios de regime permanente ou perenes, a outorga é usualmente feita com base na  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média com duração de 7 dias e período de retorno de 10 anos) na  $Q_{90}$  ou na  $Q_{95}$  (vazão mínima associada às permanências de 90 e 95% no tempo, respectivamente); atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando apenas parte desses valores de vazões mínimas.

No Estado de Minas Gerais, assim como nos demais estados do Brasil, a deficiência de dados de vazões mínimas tem comprometido a gestão do uso de água.



Nesse sentido, a regionalização de vazões tem fundamental importância como fonte de informações para a adequada gestão dos recursos hídricos.

Os estudos de regionalização de vazões têm sido viabilizados com o intuito de disponibilizar informações hidrológicas em locais sem dados ou com poucas informações disponíveis. O princípio da regionalização se baseia nas similaridades espaciais de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem a transferência de informações de uma região para outra.

O método tradicional de regionalização, descrito pela Eletrobrás (1985a), é um dos mais difundidos, utilizando em sua metodologia o ajuste de equações de regressões regionais, em que as principais características físicas da bacia contempladas na obtenção das equações são a área de drenagem, o comprimento do rio, a densidade de drenagem e a declividade média do rio principal. A grande restrição dessa metodologia refere-se a situações em que as bacias hidrográficas se encontram com pequena disponibilidade de informações fluviométricas.

Algumas metodologias têm sido desenvolvidas de modo a superar as limitações das bases de dados. Dentre elas, destaca-se a metodologia baseada na interpolação linear (metodologia de regionalização de vazões baseada no princípio da vazão específica) descrita pela Eletrobrás (1995b), em que a obtenção das vazões tem como base as áreas de drenagem de postos fluviométricos localizados a montante e, ou, a jusante do local onde se deseja estimar a vazão. Além dessa metodologia, pode-se citar outra, proposta por Chaves et al. (2002), que é baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambientes de sistemas de informações geográficas. Essa metodologia apresenta soluções que dependem da posição relativa da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos, sendo a área de drenagem e as distâncias entre a seção de interesse e o posto fluviométrico consideradas as variáveis utilizadas para a estimativa das vazões nas seções de interesse.

Com o intuito de potencializar a disponibilidade hídrica ao longo do ano, alguns pesquisadores estão avaliando períodos de bases mensais, bimestrais e trimestrais como referência para os processos de outorga. Catalunha (2004), ao realizar estudo de vazões mínimas de referência para o processo de outorga na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, tendo como base esses períodos, constatou que a vazão mínima considerando o período trimestral permite melhor distribuição da outorga, considerando-se a capacidade sazonal de fornecimento.

Nos estudos de regionalização de vazões, a obtenção das informações relativas às características físicas das bacias hidrográficas era, até pouco tempo atrás, feita por processos demorados e trabalhosos, em que o especialista as obtinha manualmente, facilitando, assim, a ocorrência de falhas e erros durante a execução das atividades, já que eram examinados os detalhes referentes às curvas de nível e à rede de drenagem das bases cartográficas.

Com a intensificação do uso dos Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, possibilitou-se o desenvolvimento de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes e de técnicas mais precisas de extração de drenagem numérica e delimitação de bacias hidrográficas, para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem.

Tendo em vista a necessidade de avaliar as metodologias empregadas para estimar as variáveis hidrológicas nas seções dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica, o presente trabalho teve por objetivos:

- Desenvolver modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a bacia do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias.

- Regionalizar as vazões mínimas de referência  $Q_{7,10}$ , considerando-se os períodos trimestral e anual,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , com base nas metodologias: a) tradicional, baseada na obtenção de equações de regressões regionais; b) interpolação linear, com base no conceito de vazões específicas; e c) proposta por Chaves et al. (2002).

- Comparar os resultados obtidos com base nas três metodologias com as vazões observadas nos postos fluviométricos da bacia.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Gestão de recursos hídricos**

Com a promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Brasil deu grande passo para o gerenciamento de recursos hídricos. Essa lei tem como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico; e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento apresenta vantagens e desvantagens. A principal vantagem é que a rede de drenagem de uma bacia consiste num dos caminhos preferenciais de boa parte das relações causa-efeito, particularmente aquelas que envolvem os recursos hídricos. As desvantagens são que nem sempre os limites municipais e estaduais respeitam os divisores da bacia e, conseqüentemente, a dimensão espacial de algumas relações de causa-efeito de caráter econômico e político. Além disso, em certas situações a consideração dos limites de uma bacia hidrográfica completa poderá estabelecer uma unidade de intervenção demasiadamente grande para a negociação social. Nesses casos, esquemas de subdivisão de grandes bacias deverão ser adotados em conjunto com a articulação entre as partes envolvidas (LANNA, 1995).

De acordo com o princípio dos múltiplos usos para a água, todos os potenciais usuários têm igual direito de acesso ao bem comum, entretanto, em condições de escassez, o uso prioritário desse recurso fica restrito ao consumo humano e à dessedentação de animais. O reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável serve de alerta para a necessidade de conservação desse bem natural, enquanto o reconhecimento do valor econômico da água induz o uso racional desse recurso e serve de base para a instituição da cobrança pela sua utilização. O princípio de gestão descentralizada refere-se a uma proposta de que tudo que puder ser decidido no âmbito de governos regionais e mesmo locais não deve ser tratado em nível do governo federal, devendo a gestão participativa envolver os usuários, a sociedade civil organizada, as ONGs e outras entidades interessadas no processo de tomada de decisão (SETTI et al., 2001).

A Política Nacional de Recursos Hídricos ressalta a importância de cinco instrumentos essenciais à boa gestão dos recursos hídricos: a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e o Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

O instrumento de outorga concede ou não o direito ao uso da água, condicionado à sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível. Esse instrumento necessita de suporte técnico-científico para sua aplicação com eficiência.

A outorga não dá ao usuário a propriedade da água ou a sua alienação, mas o simples direito de seu uso, portanto, poderá ser suspensa, parcial ou totalmente, em casos extremos de escassez ou de não cumprimento pelo outorgado dos termos de outorga previstos nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem aos usos prioritários e de interesse coletivo.

A outorga no uso da água é, portanto, um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois ela pode contemplar aspectos técnicos, legais e econômicos que, se bem articulados, colaboram para o sucesso da implementação de um sistema racionalizado de uso dos mananciais.

A vazão de referência mais utilizada no processo de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. A partir dessa condição crítica é que são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, por ocasião

da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os mais prioritários, mantenham, de certa forma, em operação os usos outorgados.

Esse é o procedimento mais utilizado no Brasil, porém, como as vazões de referência utilizadas são, de fato, muito reduzidas, e o que é outorgado é uma fração delas, o que ocorre, na prática, são vazões bem maiores ao longo do ano. Daí a importância de se analisar a obtenção das vazões mínimas de referência, considerando-se períodos mensais, bimestrais ou trimestrais.

A vazão a ser outorgada varia de acordo com regime do rio e das diretrizes das legislações federal e estaduais. Em rios de regime permanente ou perenes, a outorga é usualmente feita com base na  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média com duração de sete dias e período de retorno de 10 anos) na  $Q_{90}$  ou na  $Q_{95}$  (vazão mínima associada às permanências de 90 e 95% no tempo, respectivamente), atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando-se apenas parte desses valores. Para rios de regime temporário ou intermitentes, o processo de outorga torna-se mais complexo, pois na época seca o rio deixa de apresentar vazão (SILVA; RAMOS, 2001). No Quadro 1 são apresentados os critérios para outorga referente à captação de águas superficiais estabelecidos por diferentes órgãos gestores de recursos hídricos.

Para o cálculo das vazões mínimas de referência, utilizadas no processo de outorga, limitações são freqüentemente encontradas, principalmente no que diz respeito às inconsistências na base de dados fluviométricos. Pela análise do estudo realizado por Ramos e Pruski (2003) sobre o comportamento das vazões médias, máximas e mínimas em diversas estações fluviométricas situadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, foi possível evidenciar, a partir da comparação entre as vazões estimadas nas diversas estações fluviométricas, várias inconsistências, inclusive com grandes reduções na magnitude dessas variáveis para as estações com maiores área de drenagem.

O Poder Público poderá exigir a outorga para os seguintes usos de recursos hídricos: a derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; a extração de água de aquífero subterrâneo para o consumo final ou como insumo do processo produtivo; o lançamento em um corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos e gasosos, tratados ou não, para sua diluição, transporte e disposição final; o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e as obras que interfiram nos recursos hídricos, como: perfuração de poços, construção de barramentos e açudes, diques ou desvios de corpos d'água, construção de estruturas de lançamento de efluentes em

Quadro 1 – Vazão máxima permissível para outorga de águas superficiais praticada por diferentes órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	70% da $Q_{95}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério	1,0 L/s	Resolução ANA 542/2004
SRH-BA	80% da $Q_{90}$ 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual 6.296/97
SRH-CE	90% da $Q_{90reg}$	Decreto Estadual nº 23.067/94	2,0 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23.067/94
SEMARH-GO	70% da $Q_{95}$	Não possui legislação específica	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99	1,0 L/s para a maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AAGISA-PB	90% da $Q_{90reg}$ . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto Estadual 19.260/1997	2,0 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da $Q_{95}$	Decreto Estadual 4646/2001	1,0 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	
SECTMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica	0,5 l/s ou 43 m <sup>3</sup> /dia (águas superficiais) 5,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	80% da $Q_{95}$ (Rios) e 80% da $Q_{90reg}$ (Açudes)	Não existe legislação específica	Não estão ainda definidos	-
SERHID-RN	90% da $Q_{90reg}$	Decreto Estadual Nº 13.283/97	1,0 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	Decreto Estadual Nº 13.283/97
SEMA-RS	Não está definido	-	Média mensal até 2,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 42047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$	Não existe legislação específica	5,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC-SE	100% da $Q_{90}$ e 30% da $Q_{90}$ para cada usuário individual	Não existe legislação específica	2,5 m <sup>3</sup> /h (0,69 L/s)	Resolução Nº 01/2001
NATURATINS- TO	75% $Q_{90}$ por bacia. Individualmente, o máximo é 25% da mesma $Q_{90}$ . Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Decreto estadual já aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos	0,25L/s ou 21,60 m <sup>3</sup> /dia. A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0 L/s ou 21,60 m <sup>3</sup> /dia	Portaria NATURATINS nº 118/2002

Fonte: ANA (2005).

corpos d'água, construção de estruturas de recreação nas margens de corpos d'água, construção de estruturas de transposição de níveis, canalização ou obras de drenagem, construção de travessias rodoferroviárias, dragagem, desassoreamento e limpeza de corpos d'água, garantia de tirantes mínimos para navegação hidroviária, retificação, canalização ou obras de drenagem, transposição de bacias e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água (SILVA; RAMOS, 2001). Dependendo da natureza da utilização, da quantidade requerida e da relevância econômica, certos usos podem ser priorizados em relação aos demais.

## **2.2. Uso de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) na regionalização hidrológica**

Atualmente, com a geração de modelos digitais de elevação (MDEs), têm sido implementados diversos algoritmos utilizados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas que permitem a obtenção automática das características físicas das bacias hidrográficas.

O TOPOGRID, pertencente ao módulo ARC do software ARC/INFO®, destaca-se entre os algoritmos disponíveis comercialmente no mercado devido à incorporação da rede de drenagem digital real, extraída das bases cartográficas, durante o processo de geração do MDE. O traçado da hidrografia mapeada é respeitado sempre que há a violação nas condições de altimetria favoráveis ao escoamento, garantindo, assim, a coincidência espacial da drenagem mapeada com as células de menor altitude do modelo e configurando a criação de um Modelo de Elevação Digital Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Essa forma de abordar o problema advém de uma constatação óbvia na natureza, onde o curso d'água é um elemento real de fácil delimitação nas fotografias aéreas, enquanto a curva de nível não é, pois se trata de um elemento abstrato.

Qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço pode ser considerada como um MDE. Por meio de um método ou modelo matemático gerado a partir de dados de altitude, adquiridos por meio dos mapas topográficos, de técnicas de aerofotogrametria e de imagens de satélite, o MDE permite modelar e representar digitalmente uma superfície. Entretanto, após o processo de geração do modelo, normalmente são verificadas depressões, ou seja, células cercadas por outras com maiores elevações. A presença dessas depressões em um MDE produz a

descontinuidade do escoamento superficial para a célula vizinha. Algumas dessas descontinuidades podem ser naturais, mas a maioria é considerada espúria, em decorrência do próprio processo de geração do MDE.

Segundo Verdin e Jenson (1996), qualquer estudo hidrológico de superfície pode ser seriamente comprometido com a presença dessas depressões e a conseqüente descontinuidade do escoamento. Assim, um modelo digital de elevação que não seja hidrológicamente consistente torna-se de pouca utilidade para estudos dessa natureza.

Segundo Paredes (1994), as ferramentas dos SIGs atingiram elevado grau de integração, disponibilizando grande capacidade de análises espacial e temporal, tornando-se ambiente natural para armazenamento e processamento das informações hidrológicas, possibilitando diferentes formas de representação e apresentação das informações coletadas e geradas com base nas análises.

A qualidade do modelo digital de elevação e do algoritmo utilizado está diretamente relacionada com a eficiência da extração das informações hidrológicas, medidas em termos de precisão e de exatidão. O modelo digital deve garantir sua consistência hidrológica, representando o relevo de forma exata e assegurando a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada.

A comprovação da exatidão da representação digital da rede de drenagem e dos limites das bacias é efetuada, geralmente, por meio da comparação visual com as informações contidas nas cartas planialtimétricas disponíveis. A comparação com a rede de drenagem mapeada é relativamente fácil, pois é uma feição facilmente observável, enquanto os limites das bacias precisam ser extraídos a partir da análise de curvas de nível e estão sujeitos a erros de interpolação e interpretação.

Na obtenção das características físicas das bacias e para se proceder à análise da distribuição da precipitação e da vazão, normalmente são necessários mapas em diferentes escalas. Os mapas que permitem obter maior nível de detalhamento estão nas escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000; entretanto, nem todo o território nacional possui cobertura em escalas maiores que 1:250.000. Esses mapas são obtidos no Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (SGE) ou no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em trabalho de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, Baena (2002) trabalhou com cartas topográficas na escala de 1:50.000 para a obtenção dos temas de hidrografia e altimetria, visando à geração do MDEHC,



utilizando, com este intuito, a digitalização das curvas de nível espaçadas de 80 em 80 m.

Azevedo (2004) gerou um modelo de elevação digital a partir de cartas topográficas em escala 1:250.000, em que a resolução utilizada no estudo foi de 50 x 50 m, tendo em vista que as curvas de nível foram digitalizadas com distância de 100 m entre si, constatando que o modelo gerado foi hidrologicamente consistente, podendo, assim, ser utilizado na obtenção das características físicas desejadas.

Gerando MDEHCs para a bacia hidrográfica Amazônica, Chaves (2002) trabalhou com cartas topográficas na escala 1:250.000 para obtenção dos temas de hidrografia e altimetria. Neste estudo, verificou que, em regiões planas, como é o caso da bacia hidrográfica Amazônica, a geração de um MDEHC com base nessa escala (curvas de nível de 100 em 100 m) não produziu resultados satisfatórios. Mesmo a implementação e aplicação conjunta de técnicas de pós-processamento do MDEHC mostraram-se insuficientes para geração de um modelo com ausência de depressões espúrias. A utilização de escalas maiores, como 1:100.000 ou 1:50.000, com curvas de nível menos espaçadas, tenderia a propiciar resultados mais satisfatórios, principalmente em estudos para áreas menos declivosas.

### **2.3. Características físicas e climáticas utilizadas na regionalização hidrológica**

#### **2.3.1. Características físicas**

As características físicas de uma bacia hidrográfica são elementos de grande importância na definição do seu comportamento hidrológico. Para Villela e Mattos (1975), o conhecimento dessas características é de grande utilidade prática, pois, ao estabelecer relações e comparações entre elas e os dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar indiretamente as variáveis hidrológicas em seções ou locais de interesse nos quais há ausência de dados ou em regiões onde, por causa de fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas.

Em estudos de regionalização, devem ser consideradas as características físicas e climáticas das bacias que mais explicam a distribuição da vazão e que sejam mais facilmente mensuráveis. Normalmente, as características físicas usadas são a área da bacia, o comprimento do curso d'água principal e a densidade de drenagem. Na definição das características físicas utilizadas no estudo de regionalização, deve-se levar

em conta que a característica deve ser representativa dos fenômenos que se deseja representar (CARONI et al., 1982; TUCCI et al., 1983).

As características físicas e climáticas nos estudos de regionalização hidrológica devem ser determinadas para a área de drenagem a montante de cada uma das estações fluviométricas existentes na bacia hidrográfica. Geralmente denominadas bacias de contribuição, estas áreas de drenagem podem ter sua delimitação realizada manual ou automaticamente, com a utilização de sistemas de informações geográficas.

A área de drenagem é a área plana delimitada pelo divisor de águas, constituindo uma das principais variáveis explicativas na quase totalidade dos estudos de regionalização de vazões, em função da sua influência na potencialidade hídrica da bacia hidrográfica. O processo de individualização da área de uma bacia segue as regras conhecidas em Hidrologia, em que o traçado dos contornos é realizado unindo os pontos de máxima cota entre sub-bacias, atravessando o curso d'água somente no ponto de saída (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Outra característica física usada na regionalização hidrológica é o comprimento do rio principal da bacia hidrográfica, definido como sendo aquele que drena a maior área no interior da bacia hidrográfica.

A densidade de drenagem é o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água, sejam eles perenes, intermitentes ou efêmeros, e a área total da bacia, conforme a equação:

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A} \quad (1)$$

em que:

$L_i$  = comprimento do segmento  $i$ ;

$A$  = área total da bacia; e

$N$  = número total de segmentos da bacia.

Segundo Villela e Mattos (1975), este índice varia de  $0,5 \text{ km km}^{-2}$  para bacias com drenagem pobre a  $3,5 \text{ km km}^{-2}$  ou mais para bacias bem drenadas. No entanto, em estudos realizados no Estado de Minas Gerais, utilizando mapas na escala de 1:250.000, esse índice variou de  $0,36$  a  $0,50 \text{ km km}^{-2}$  nas sub-bacias do rio Verde Grande

(EUCLYDES et al., 1994a); de 0,17 a 0,57 km km<sup>-2</sup> nas sub-bacias do rio Paracatu (EUCLYDES et al., 1997); de 0,45 a 0,46 nas sub-bacias do rio Pardo; de 0,42 a 0,70 km km<sup>-2</sup> nas sub-bacias do rio Jequitinhonha (EUCLYDES et al., 1994b); e de 0,42 a 0,73 km km<sup>-2</sup> nas sub-bacias do rio Doce (EUCLYDES et al., 1996). Na mesma bacia em estudo no presente trabalho, Euclides et al. (2001a) encontraram valores de 0,38 a 0,82 km km<sup>-2</sup>.

Em estudo hidrológico na área de drenagem do córrego da Posse, pertencente à bacia do rio Doce, Santos (2001) encontrou uma densidade de drenagem de 4,82 km km<sup>-2</sup>. Baena (2002) obteve índices variando de 1,96 a 3,44 para a bacia do rio Paraíba do Sul. Ressalta-se, porém, que os referidos autores utilizaram mapas na escala de 1:50.000, demonstrando que esse índice varia muito conforme a escala utilizada no estudo.

Azevedo (2004) obteve as características físicas da sub-bacia do rio Paranã em várias seções de interesse, em que a densidade de drenagem variou de 0,34 a 0,57 km km<sup>-2</sup>, e o comprimento do rio principal variou de 42,26 a 615,64 km. Os valores de declividade média variaram de 2,7% até 5,11%, sendo a declividade média da área em estudo em torno de 4,0%. Os valores de declividade média do curso d'água principal variaram de 0,02% até 0,55%.

Baena et al. (2002) avaliaram o efeito da utilização de diferentes escalas cartográficas na determinação de características físicas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, constatando a existência de influência expressiva da escala, principalmente na rede de drenagem, e pequeno efeito na área de drenagem. Dessa forma, constataram que o uso da densidade de drenagem em modelos de regionalização pode acarretar grandes incertezas na estimativa das vazões, motivo pelo qual recomendam que o uso dessa variável em modelos de regionalização de vazões deva ser evitado.

Deve-se considerar, portanto, que qualquer índice ou medida referente à rede de drenagem está diretamente relacionado à escala do mapa utilizado. Conseqüentemente, uma precisa identificação do mapa-fonte e da sua escala é um dado que deve acompanhar os índices de drenagem.

A velocidade do escoamento superficial é controlada, em parte, pela declividade média da bacia, afetando diretamente o tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais da rede de drenagem, afetando, principalmente, os valores de enchentes máximas. A magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor

oportunidade de infiltração e suscetibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre a superfície da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). Em função desses fatos, a declividade média é muitas vezes usada como variável explicativa, principalmente na regionalização de vazões máximas. Com o auxílio do geoprocessamento, pode-se automatizar o processo de obtenção da declividade média da bacia quando se possui um modelo digital de elevação do terreno no qual se tem para cada célula ou quadrícula um valor de declividade.

A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos os hidrogramas das enchentes, sendo, portanto, a declividade média do rio principal ( $S_{rp}$ ) outra importante variável explicativa para o comportamento das vazões máximas.

Para a obtenção da  $S_{rp}$ , utiliza-se o conceito de declividade equivalente constante, ou seja, obtém-se uma declividade constante para um curso d'água hipotético, de tal forma que o tempo de percurso da água seria equivalente ao tempo necessário para percorrer o perfil acidentado natural do curso d'água. Partindo da fórmula de Chézy-Manning, que apontou o tempo como uma função do inverso da raiz quadrada da declividade, chega-se à seguinte equação para o cálculo da declividade equivalente constante:

$$S_{rp} = \left( \frac{L}{\sum (l_j \cdot S_j^{-0,5})} \right)^2 \quad (2)$$

em que:

$L$  = comprimento total, em planta, do curso de água; e

$l_j$  e  $S_j$  = comprimento e declividade de cada subtrecho, respectivamente, com  $j = 1, 2, \dots, n$ , sendo  $n$  o número de subtrechos considerados no cálculo.

Com o auxílio de ferramentas computacionais, podem-se obter rapidamente o comprimento e a declividade de cada subtrecho necessários para o cálculo da declividade equivalente constante do curso d'água principal de uma bacia.

Também podem ser utilizadas outras características físicas das bacias para serem correlacionadas com as variáveis hidrológicas, devendo-se considerar a representatividade das características dos fenômenos que se desejam estudar, como

também ser levado em conta que a característica deve ser de fácil medição a partir dos mapas, já que em caso contrário dificultará o uso futuro dos resultados da regionalização.

### **2.3.2. Características climáticas**

A precipitação influencia diretamente o comportamento da vazão de um curso d'água, tanto das vazões extremas (máxima e mínima) quanto da própria vazão média de longo período, sendo uma das principais variáveis explicativas nos estudos de regionalização hidrológica.

A precipitação máxima diária anual, por exemplo, é bastante utilizada como variável explicativa do comportamento das vazões máximas. Já a precipitação total anual é utilizada na regionalização tanto da vazão mínima quanto das vazões médias de longo período.

Em estudo de regionalização de vazões máximas, médias de longo período, mínimas e das curvas de permanência e de regularização para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, Baena (2002) utilizou para a regionalização de vazões máximas as seguintes precipitações: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso; para vazão média de longo período: precipitação total anual; para vazões mínimas: precipitação total anual, semestre mais seco e trimestre mais seco; para as curvas de permanência e de regularização; precipitação total anual, precipitação do semestre mais seco; e precipitação do trimestre mais seco. A precipitação total anual foi a variável climática que melhor explicou o comportamento da vazão mínima.

Silva et al. (2002a), estudando a regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas para a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, utilizaram para a regionalização de vazões máximas as seguintes precipitações: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso; para vazão média de longo período: precipitação total anual; e para vazões mínimas: precipitação total anual, semestre mais seco e trimestre mais seco. A precipitação total anual foi a variável climática mais expressiva na representação das vazões mínimas, média de longo período e das vazões correspondentes aos diferentes níveis de permanência.

## **2.4. Variáveis e funções hidrológicas utilizadas no estudo de regionalização de vazões mínimas de referência**

### **2.4.1. Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), considerando-se períodos trimestral e anual**

Uma das conseqüências esperadas do regime de um curso d'água são as reduções das vazões em determinados períodos, ao ponto de comprometer as diversas formas de utilização, atingindo valores inferiores às necessidades demandadas, caracterizando as chamadas “vazões de estiagem”. Segundo essa interpretação, as vazões mínimas não são características exclusivas de uma série histórica, mas de uma necessidade para o uso dos recursos hídricos.

Segundo Tucci (2002), o conhecimento da vazão mínima e de sua distribuição temporal e espacial assume papel importante no planejamento regional em setores como geração de energia elétrica e navegação, bem como em projetos setoriais de abastecimento, regularização artificial, outorga de uso da água, qualidade de água, estudos de autodepuração e a diluição de efluentes em corpos d'água, entre outros. As vazões mínimas que ocorrem em época de estiagem são utilizadas nesses estudos dentro de uma das seguintes finalidades: análise, projeto, previsão ou estimativa, regulamentação legal, operação e planejamento.

A vazão mínima é caracterizada por dois fatores: a sua magnitude e a sua duração. Na prática, pouca utilidade tem a vazão mínima instantânea que deve ser muito próxima da vazão mínima diária. Normalmente, durações maiores, como sete ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário, já que a seqüência de vazões baixas é que representa uma situação crítica para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. A vazão mínima com sete dias de duração é utilizada, com freqüência, como indicador da disponibilidade hídrica natural dos cursos d'água. A principal vantagem do uso desse valor reside no fato de não sofrer tanta influência de erros operacionais e de intervenções humanas no curso d'água e de ser mais minuciosa que a vazão mínima mensal (TUCCI, 2002).

A estimativa da vazão mínima com sete dias de duração, tendo como referência o ano civil, é realizada calculando-se a média dos sete menores valores diários consecutivos de vazão em cada ano da série de dados.

Catalunha (2004), em análise de vazões mínimas para a bacia do rio Paraíba do Sul, com quatro regiões homogêneas, comparou as variações de vazões mínimas para

períodos mensal, bimestral, trimestral e anual, verificando também que não houve a coincidência dos valores de  $Q_{7,10}$  entre os períodos trimestral e anual. Verificou, ainda, que nos períodos mensal e bimestral ocorre considerável variação durante o ano, e por isso a adoção desses períodos como referencial para estimar a vazão disponível para outorga não parece uma escolha muito sensata. Dessa forma, conclui que o período trimestral, por apresentar uniformidade e certa isenção das variações abruptas, possibilita o maior aproveitamento da disponibilidade da água, considerando-se a sazonalidade de sua oferta.

Em alguns estados do Brasil, a legislação relativa à outorga para utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos d'água estabelece uma porcentagem da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) como vazão residual mínima a ser mantida a jusante das derivações.

#### **2.4.2. Curva de permanência**

Nem sempre o interesse do usuário de água está voltado para o conhecimento das vazões médias, máximas e mínimas. Muitas vezes, o interesse consiste em conhecer a amplitude de variação das vazões e, principalmente, a frequência com que cada valor de vazão ocorre em determinada seção do curso d'água. A resposta para essa questão é obtida por intermédio da determinação da curva de permanência para uma seção específica do curso d'água, pois, para cada vazão possível de ocorrer na seção, associa-se a frequência (ou número de vezes) com que ela é excedida. A curva de permanência indica a porcentagem de tempo em que determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o período de observações. Ela permite visualizar, de imediato, a potencialidade natural do curso d'água, destacando-se a vazão mínima e o grau de permanência para qualquer valor da vazão (TUCCI, 2002).

As curvas de permanência, além dos resultados diretos que fornecem para o estudo do aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, constituem instrumento valioso de comparação entre bacias hidrográficas, representando os efeitos do relevo, da vegetação e uso do solo e da precipitação, na distribuição das vazões (EUCLYDES et al., 2001b).

Da curva de permanência são obtidas as vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ), muito utilizadas como vazões mínimas de referência para outorga de uso da água. Em alguns estados do Brasil, a legislação relativa à outorga

estabelece uma porcentagem da  $Q_{90}$  ou  $Q_{95}$  como referência para a concessão de outorga. A União, por exemplo, adota 70% da  $Q_{95}$ , enquanto a Bahia adota 80% da  $Q_{90}$  como limites máximos das derivações a serem outorgadas (GARRIDO, 2003).

## **2.5. Regionalização hidrológica**

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para transferir informações espacialmente, buscando-se explorar ao máximo os dados disponíveis em determinada região geográfica. Os estudos de regionalização desenvolvidos geralmente utilizam as vazões existentes, quando estas informações são representativas; no entanto, quando os dados são deficientes, a regionalização fica comprometida (OBREGON et al., 1999; SIMMERS, 1984; MOSLEY, 1981).

Em estudos desenvolvidos por Euclides et al. (2001a) e Baena (2002), o processo de regionalização da vazão mínima mostrou-se exaustivo, porém simples, dependentemente apenas da disponibilidade de dados e de ferramentas computacionais adequadas, além de recursos humanos qualificados.

Chaves et al. (2002) argumentaram que a estimativa clássica da oferta de água superficial que é feita em toda a rede de drenagem, por meio de métodos de regionalização de vazões tradicionais, apontaram para os erros de amostragem temporal, falta de ajuste do modelo preditivo e incertezas potencializadas pelo uso de uma baixa densidade de postos, limitando a confiança no uso dessas metodologias. Como alternativa, eles propuseram um método que parte da razão de área de drenagem comumente usada em estimativa de vazões regionais, generalizando soluções para interpolação e extrapolação de vazões mínimas em diferentes situações da bacia, o que depende da posição relativa do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos.

### **2.5.1. Metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás**

A metodologia tradicional para a regionalização de vazões, descrita pela Eletrobrás (1985a), consiste na identificação de regiões hidrológicamente homogêneas, que podem ser consideradas como as regiões que subdividem uma área maior, teoricamente, com base na homogeneidade das características hidrológicas. Na prática, a homogeneidade na regionalização é traduzida por um alto coeficiente de



determinação, obtido da aplicação da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das sub-bacias.

No desenvolvimento de um estudo de regionalização, a delimitação de regiões hidrológica ou estatisticamente homogêneas (regiões com várias estações que tenham séries oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades, com os parâmetros variando entre as estações) é uma fase considerada primordial para o alcance dos objetivos esperados.

Regiões hidrologicamente homogêneas habitualmente não se estendem por grandes áreas, devido à variabilidade do clima, da topografia, da cobertura vegetal e do tipo de solo. No entanto, a delimitação de áreas excessivamente reduzidas resulta numa carência de dados que prejudica a confiabilidade das estimativas.

A identificação de regiões homogêneas deve ser feita em duas etapas consecutivas: a primeira, delimitando regiões com base unicamente nas características locais, e a segunda consistindo de um teste estatístico construído com base somente nas estatísticas locais, com objetivo de verificar os resultados preliminares obtidos (HOSKING; WALLIS, 1997).

Normalmente são utilizados dois critérios estatísticos na identificação das regiões homogêneas:

a) Critério baseado na análise da distribuição de frequência das vazões adimensionalizadas de cada estação.

O princípio deste critério se baseia no fato de que as distribuições de frequências das vazões mínimas das estações em uma região hidrologicamente homogênea seguem uma mesma tendência, sendo as diferenças proporcionais à média das séries de vazões consideradas. Essa característica permite que, ao se obterem séries transformadas de vazões, por meio da divisão dos seus valores pelas respectivas médias, as distribuições de frequências dessas séries transformadas sejam idênticas.

O gráfico formado pelos pontos representativos dos valores de vazões, anotados em papel probabilístico adequado, é o de uma linha reta, sendo ajustada uma equação do tipo  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$ , às vazões adimensionalizadas de cada estação. As estações que apresentarem valores do coeficiente de regressão “ $\beta_1$ ” próximos são consideradas, para efeito do estudo, como pertencentes a uma região homogênea do ponto de vista hidrológico.

b) Critério baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla.

Neste critério são estabelecidas regressões múltiplas entre as séries de vazões mínimas e as diferentes características físicas e climáticas das bacias, com base na seguinte função:

$$Q = f(A, L, Dd, Sm, Srp, P) \quad (3)$$

em que:

A = área de drenagem;

L = comprimento do rio principal;

Dd = densidade de drenagem;

Sm = declividade média da bacia hidrográfica;

Srp = declividade média do rio principal; e

P = precipitação média da bacia hidrográfica.

As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentarem o melhor ajuste, avaliado por intermédio do teste de F, do coeficiente de determinação ajustado, do desvio-padrão dos erros do ajustamento – também chamado de erro-padrão da estimativa – e dos erros percentuais (%dr) entre os valores das vazões observados e estimados pelos modelos de regressão obtidos para cada uma das regiões homogêneas.

Quando os dois critérios apresentarem bons resultados, a região é definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas. Entretanto, nos casos em que isso não ocorrer há a necessidade de subdividir a região ou reorganizar as estações dentro das regiões e reiniciar o processo.

Estudando regionalização de vazões máxima, mínima e média de longo período para a bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, Silva et al. (2002a) subdividiram-na em três diferentes regiões hidrologicamente homogêneas com 10, oito e nove estações fluviométricas e áreas de drenagem de 12.066, 19.627 e 33.940 km<sup>2</sup>, respectivamente. Silva et al. (2002b), em estudo semelhante da bacia hidrográfica do rio de Contas, encontraram duas regiões homogêneas, com áreas de drenagem de 21.499 e 32.611 km<sup>2</sup>, cada uma contendo sete e seis estações fluviométricas, respectivamente.

Após a identificação das regiões homogêneas, foi feita a seleção da distribuição de probabilidade a ser adotada, comumente baseada em resultados de testes de aderência, já que, *a priori*, não se pode definir a melhor distribuição de probabilidade para descrever a frequência de ocorrência de vazões extremas. Dispõe-se de vários

testes para julgar se uma distribuição teórica de probabilidades descreve adequadamente uma série de observações, dentre os quais se destacam o de Kolmogorov-Smirnov e o de Qui-Quadrado.

De posse das características físicas e climáticas consideradas no modelo de regressão e com a distribuição de probabilidade definida, passa-se a escolher o tipo de modelo – exponencial, logarítmico, potencial, normal ou recíproco – que representará melhor os dados disponíveis, ou seja, determina-se a combinação de variáveis independentes que melhor representem a distribuição dos valores da variável dependente.

A Eletrobrás (1985a), em estudo de regionalização de vazões utilizando a metodologia tradicional, adotou o critério de testar todas as combinações possíveis de regressão, mantendo-se sempre a área e a duração (dias), tendo sido ajustada equação de regressão linear para vazão média mínima. Para cada região, foi escolhida a regressão que atendia aos objetivos do estudo, ou seja, menor número de variáveis com melhor significância. O trabalho indicou que o uso de modelos lineares apresenta algumas limitações: (a) as bacias hidrográficas com maior vazão serão mais bem ajustadas com o método dos mínimos quadrados e (b) a vazão média mínima estimada pode apresentar valores negativos em bacias pequenas.

As características físicas da bacia hidrográfica mais utilizadas em estudos de regionalização de vazões são a área de drenagem, o comprimento do rio, a densidade de drenagem e a declividade média do rio principal. Silva et al. (2003) aplicaram o método tradicional para a regionalização das vazões médias, máximas e mínimas e da curva de permanência na bacia hidrográfica do rio Grande, situada no Estado do Paraná, tendo evidenciado que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das vazões.

A variável climática mais utilizada em estudos de regionalização de vazões é a precipitação, sendo que para a estimativa das vazões máximas as precipitações de uso mais frequentes são: máxima diária anual, semestre mais chuvoso, trimestre mais chuvoso e mês mais chuvoso. Para a estimativa das vazões médias de longa duração, as precipitações de uso mais frequente são as precipitações médias anuais, enquanto para a estimativa das vazões mínimas as precipitações mais utilizadas são: total anual, semestre mais seco e trimestre mais seco.

### **2.5.2. Metodologia proposta por Chaves et al. (2002)**

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de disponibilizar metodologias de regionalização de vazões que necessitem de menos informações que o método tradicional, além de proporcionar boa confiabilidade, contribuindo, de forma significativa, no gerenciamento dos recursos hídricos.

Como na maioria das bacias hidrográficas brasileiras, há escassez de informações, ou bases de dados reduzidas, a precisão e o uso do método tradicional são prejudicados, podendo até não se tornar recomendável, em razão da dificuldade na identificação das regiões homogêneas, bem como na obtenção das equações de regressão regionais.

Chaves et al. (2002), com a finalidade de propor um método que fosse condizente com a realidade da maioria das bacias hidrográficas brasileiras, desenvolveram metodologia de interpolação e extrapolação de vazões mínimas. As soluções propostas nessa metodologia dependem da posição relativa da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos, sendo as variáveis utilizadas para a estimativa das vazões nas seções de interesse a área de drenagem e as distâncias entre a seção de interesse e o posto fluviométrico considerado.

### **2.5.3. Metodologia baseada na interpolação linear (vazão específica)**

Tal como na metodologia proposta por Chaves et al. (2002), a metodologia de regionalização baseada na interpolação linear, conhecida como vazão específica, descrita pela Eletrobrás (1985b), foi desenvolvida com o intuito de superar as limitações das bases de dados existentes na maioria das bacias hidrográficas.

A metodologia propõe que a vazão na seção de interesse seja estimada em razão das vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas e das respectivas áreas de drenagem. Assim, quando a seção de interesse se encontra entre dois postos fluviométricos a vazão específica na seção de interesse é igual à vazão na seção de montante mais um incremento da vazão proporcional ao aumento da área de drenagem entre a estação de montante e a de jusante. Quando isso não acontece, ou seja, a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico, considera-se que a vazão específica das duas seções é igual, porém recomenda-se que a aplicação dessa metodologia somente deve ser feita quando a diferença das áreas de drenagem das

duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação à outra (ELETROBRÁS, 1985b).

#### **2.5.4. Comparação entre as metodologias para a regionalização de vazões**

Tendo em vista a necessidade de estabelecer e validar uma metodologia que forneça estimativas confiáveis das vazões mínimas ( $Q_{90\%}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{7,10}$ ), Azevedo (2004) aplicou e comparou as metodologias tradicional, proposta por Chaves et al. (2002) e a de vazão específica na sub-bacia hidrográfica do rio Paranã, situada no Estado do Tocantins, concluindo que a melhor metodologia para a regionalização de vazões mínimas para a bacia estudada foi a tradicional, com erro relativo médio de 13,6%, seguida pelas metodologias da interpolação linear e de Chaves et al. (2002), com erros relativos médios de 55,2 e 59,6%, respectivamente. O referido autor ainda observou inconsistências nas vazões obtidas pelo método de Chaves et al. (2002) que, em certas situações em que foram utilizados os dados das seções fluviométricas de montante e de jusante, foram superiores às vazões na seção de jusante.

Chaves et al. (2002), comparando as metodologias tradicional com a proposta pelos próprios autores para a estimativa da  $Q_{7,10}$  na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, situada no Estado da Bahia, constataram que a metodologia proposta por eles apresentou resultados melhores quando comparada com o método tradicional de regionalização de vazões, obtendo um erro relativo médio de 45% para o modelo proposto e de 289% para o método tradicional.

Com o objetivo de comparar metodologias de regionalização de vazões associadas às permanências de 50 a 95%, Agra et al. (2003) aplicaram e compararam as metodologias da interpolação linear, tradicional e uma terceira metodologia, baseada na utilização do coeficiente de deságüe como parâmetro regional para a sub-bacia hidrográfica do rio Carreiro ( $A_d = 2.000 \text{ km}^2$ ), situada no Estado do Rio Grande do Sul. Esses autores constataram que a metodologia da interpolação linear apresentou a melhor correlação e o menor desvio-padrão quando comparada com os dados observados, seguida pelo método tradicional e pelo método do coeficiente de escoamento.

A maioria dos estudos de regionalização hidrológica, disponíveis no Brasil, foi realizada utilizando informações provindas de seções fluviométricas com grandes áreas de drenagem, apresentando, conseqüentemente, restrições de uso em seções com pequenas áreas de drenagem e que, em geral, apresentam comportamento hidrológico

diferenciado das seções fluviométricas com maiores áreas de drenagem. Em estudo de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do rio Ijuí, situada no Estado do Rio Grande do Sul, Silva Júnior et al. (2002) verificaram o comportamento da extrapolação das  $Q_{mld}$  (vazão média de longa duração) e  $Q_{7,10}$  para bacias com menores áreas de drenagens em relação às utilizadas para estimativa dos modelos de regionalização, constatando que existem grandes incertezas na extrapolação dessas variáveis, apresentando tendência de superestimativa dessas vazões.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Caracterização da bacia hidrográfica em estudo**

A bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, sub-bacia hidrográfica 40, segundo a codificação da Agência Nacional de Águas, está localizada entre os paralelos 18° e 21° de latitude Sul e os meridianos 43° 30' e 46° 40' de longitude Oeste, na região central de Minas Gerais, possuindo área de drenagem de aproximadamente 50.000 km<sup>2</sup> (Figura 1).

O rio São Francisco nasce na Serra da Canastra, no Município de São Roque de Minas, em Minas Gerais, a 1.460 m de altitude. Após percorrer 570 km, o rio foi barrado, formando o Reservatório de Três Marias.

A sub-bacia 40 compreende as nascentes dos rios São Francisco, Pará, Paraopeba, Indaiá, Borrachudo e seus afluentes até o Reservatório de Três Marias (Figura 2).

A densidade populacional na sub-bacia 40 é muito variada. A Região Sudeste, onde se encontra a região metropolitana de Belo Horizonte, é a mais populosa e povoada, com mais de 100 hab km<sup>-2</sup>, correspondendo aos trechos Alto e Médio Paraopeba e Médio Pará. As regiões Oeste e Norte da sub-bacia possuem densidades mais baixas, variando entre 2 e 25 hab km<sup>-2</sup>. Essas áreas correspondem às nascentes do São Francisco, bacias hidrográficas do rio Indaiá e do rio Borrachudo e no entorno do Reservatório de Três Marias. Na região central da sub-bacia, em volta do rio São Francisco, a densidade demográfica varia de 25 a 100 hab km<sup>-2</sup>.

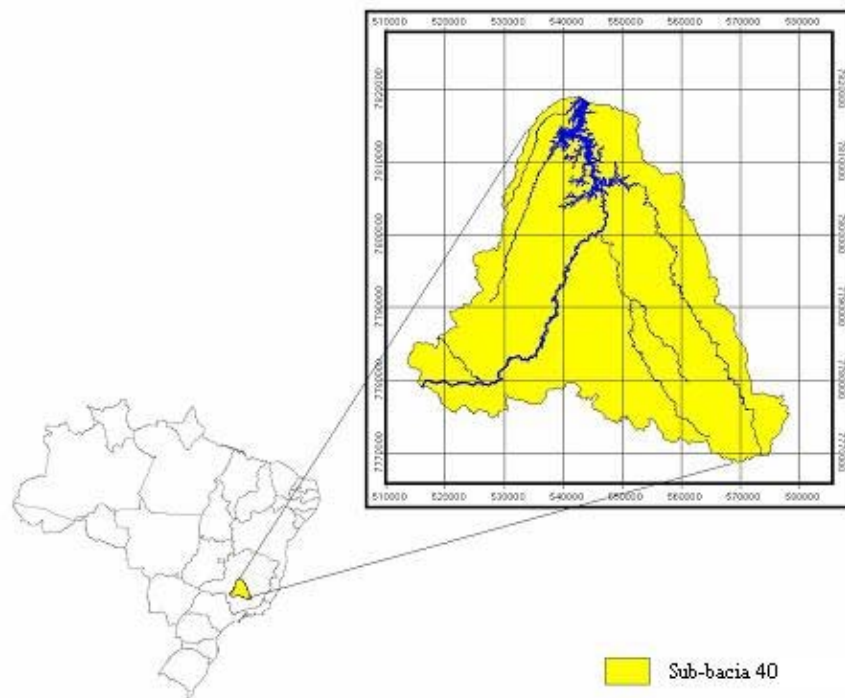


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias.

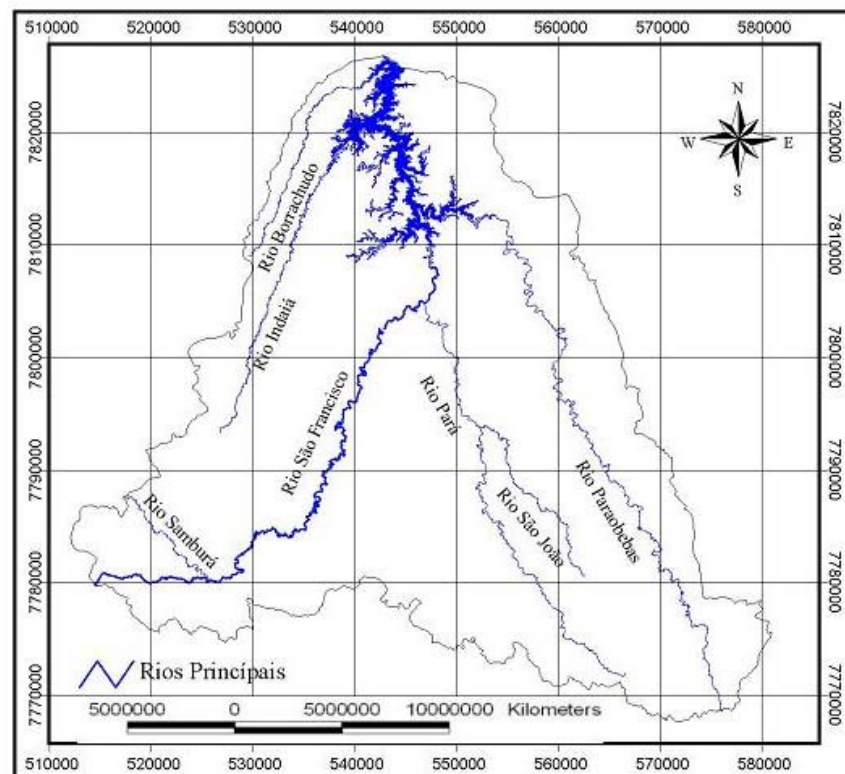


Figura 2 – Principais rios da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias.



A região em estudo estrutura-se essencialmente sobre rochas de idade pré-cambriana, desde arqueanas até proterozóicas superiores. Apenas pequena parcela drena unidades mesozóicas da Serra Mata da Corda (ANEEL, 1998).

O relevo da região é caracterizado por planos, depressões e áreas dissecadas resultantes predominantemente da alternância de atuação de processos morfoclimáticos associados ao condicionamento geológico. As unidades geomorfológicas são as seguintes: Planalto Dissecado do Centro-Sul e Leste de Minas, Depressão São Franciscana e Planalto do São Francisco.

A vegetação nativa da região do Alto São Francisco é constituída predominantemente pelo Cerrado, que se estendia originalmente por quase toda a sub-bacia (ALMANAQUE... – 2001). Nas áreas de solos mais férteis e com maior disponibilidade hídrica, o Cerrado apresenta gradação denominada “cerradão”, que possui composição florística similar à do Cerrado, apresentando, entretanto, vegetação mais densa e de maior porte. Atualmente, sobretudo nas regiões mais planas, grandes áreas de cerrado vêm sendo substituídas por pastagens e áreas de cultivo mecanizado.

Quanto ao clima, a região em estudo apresenta temperatura média anual variando entre 19 e 30 °C. Os totais pluviométricos anuais variam entre 1.700 mm nas cabeceiras da bacia hidrográfica e 1.150 mm na região próxima ao Reservatório de Três Marias. O regime pluviométrico é típico das regiões de clima tropical, com ocorrência dos valores mensais máximos no período do verão e dos mínimos no inverno.

### **3.2. Geração do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**

A obtenção do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC) seguiu a metodologia descrita a seguir:

#### **3.2.1. Amostragem**

Foram confeccionados sete mapas digitais a partir da base de dados do IBGE (Quadro 2), na escala 1: 250.000.

Foram digitalizadas as curvas de nível (Figura 3), a hidrografia (Figura 4) e o contorno da bacia, utilizando-se mesa digitalizadora e o software Cartalinx®. As curvas de nível foram digitalizadas com espaçamento de 100 m. A hidrografia foi digitalizada de montante para jusante, sempre acompanhando o sentido do escoamento dos cursos d'água.

Quadro 2 – Identificação das cartas geográficas na escala 1:250.000, utilizadas no estudo de regionalização

Mapa Índice	Carta	Editora	UF
SE-23-Z-C	Belo Horizonte	IBGE	MG
SE-23-Y-D	Bom Despacho	IBGE	MG
SF-23-V-B	Furnas	IBGE	MG
SE-23-Y-B	Três Marias	IBGE	MG
SF-23-V-A	Franca	IBGE	SP
SE-23-Z-A	Curvelo	IBGE	MG
SF-23-X-A	Divinópolis	IBGE	MG

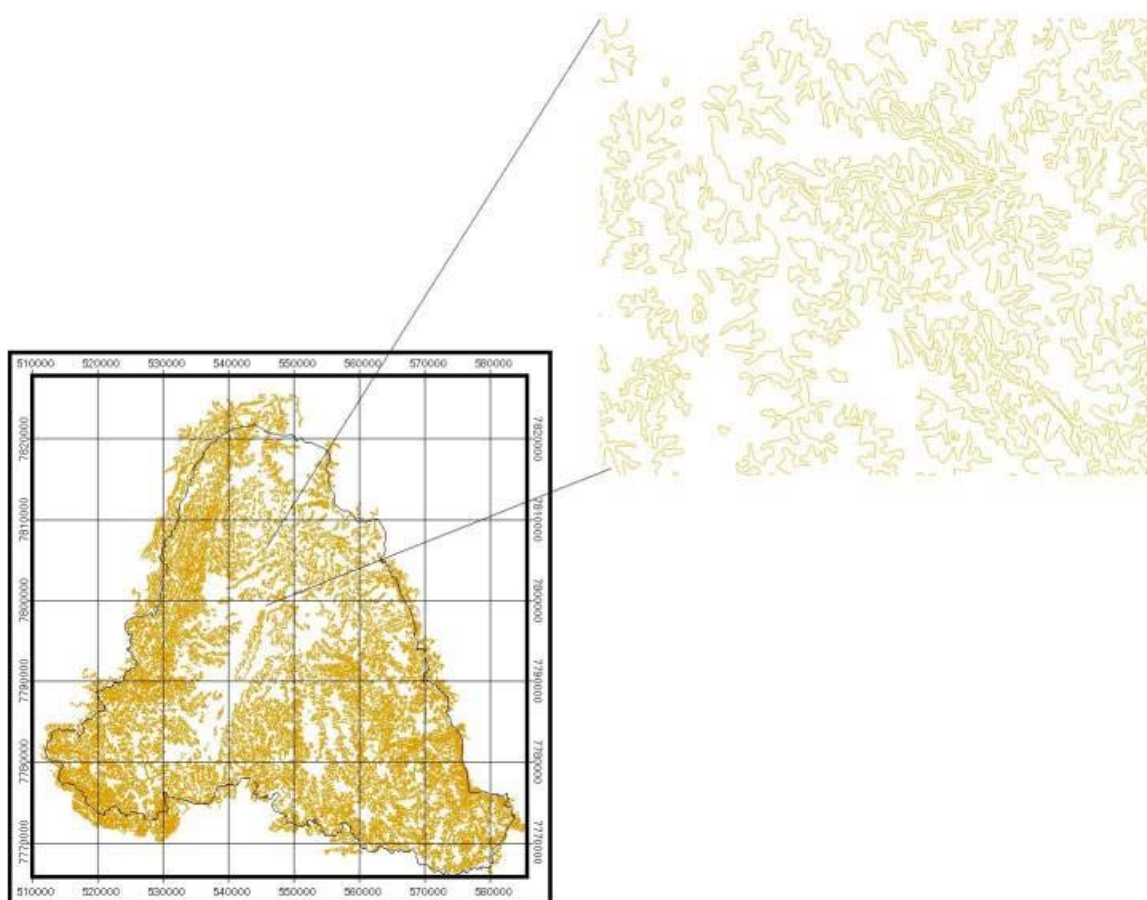


Figura 3 – Curvas de nível digitalizadas da bacia hidrográfica em estudo.

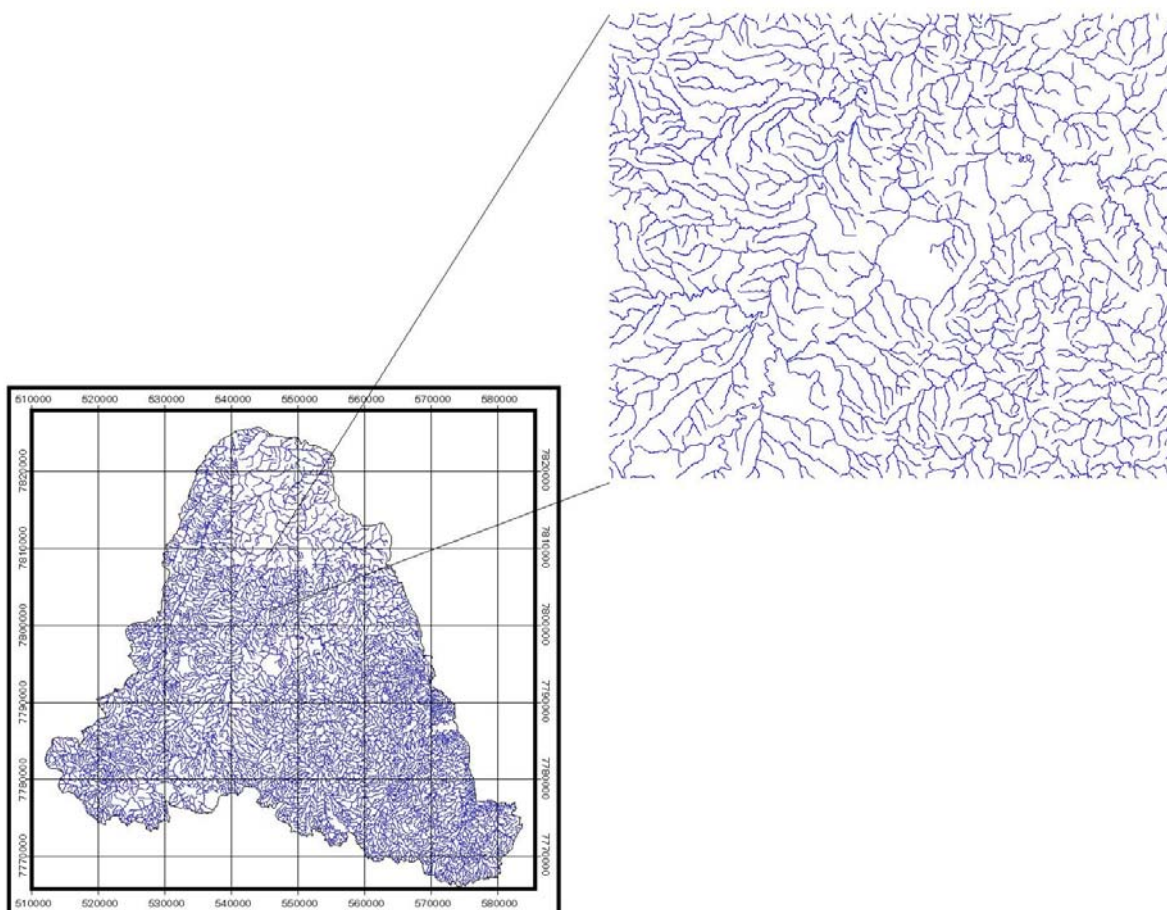


Figura 4 – Hidrografia digitalizada da bacia hidrográfica em estudo.

Após a digitalização de todas as cartas, os arquivos individuais obtidos nas curvas de nível, a hidrografia e o contorno foram unidos em um único arquivo, para cada tema individualizado, no software Cartalinx®. A partir daí foi feita a exportação dos arquivos para o software ArcView®, no formato Shape.

### 3.2.2. Pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem

Foram gerados arquivos individuais contendo os limites da área de trabalho, a hidrografia digital conectada e orientada no sentido do escoamento superficial, o contorno dos lagos e os dados de altimetria discriminados em curvas de nível e pontos cotados.

As curvas de nível, devido à presença de inconsistências decorrentes do processo de aquisição em mesa digitalizadora, foram visualmente ajustadas à hidrografia orientada. Já a hidrografia foi processada e verificada de forma que se obtivesse a

orientação de todas as feições no sentido do escoamento, além de certificar que todas essas feições estivessem conectadas, utilizando o software ArcView®.

### **3.2.3. Geração do modelo digital de elevação (MDE)**

O MDE foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível digitalizadas, utilizando-se o procedimento de interpolação TOPOGRID, disponível no software ARC/GIS 8.1®. Esse algoritmo permite a incorporação da rede de drenagem digital real, extraída das bases cartográficas, durante o processo de geração do MDE. Sempre que houve a violação das condições de altimetria favoráveis ao escoamento, o traçado da hidrografia mapeada foi respeitado. Com isso, garantiu-se a coincidência espacial da drenagem mapeada com as células de menor altitude do modelo, configurando, assim, a criação de um MDEHC.

Esse método utiliza técnica de interpolação baseada em diferenças finitas iterativas e é otimizado para ter a eficiência computacional dos interpoladores locais sem perder a continuidade da superfície proporcionada pelos interpoladores globais (ESRI, 1997), gerando grade regular a partir de pontos, isolinhas e linhas de drenagem.

A resolução utilizada no estudo foi de 50 x 50 m, tendo em vista que as curvas de nível foram digitalizadas com distância de 100 m entre si, e com essa resolução atenderia ao preconizado por Garbrecht e Martz (1999), que afirmaram que ela deve ser inferior ou igual à menor distância entre duas curvas de nível com cotas diferentes, como forma de assegurar a qualidade e a resolução do MDE.

### **3.2.4. Pós-processamento para geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)**

Esta etapa visou eliminar as depressões espúrias, ou seja, células cercadas por outras com maiores valores de elevação, remanescentes ou que foram introduzidas no MDE durante o processo de imposição da rede de drenagem. Com a eliminação dessas depressões, garantiu-se a consistência do escoamento superficial ao longo da rede de drenagem gerada com a utilização do modelo. Buscou-se também garantir a coincidência espacial da drenagem gerada pelo modelo com a drenagem vetorial digitalizada das bases cartográficas. Para isso, utilizou-se o comando FILL, do ArcView®.

Os dados necessários para esse pós-processamento foram o MDE, gerado pelo TOPOGRID, e a hidrografia mapeada, conectada e orientada no sentido do escoamento.

A aplicação dessa técnica não garante que o modelo digital de elevação passe a ser considerado hidrológicamente consistente, já que novas depressões espúrias podem ser geradas. Por isso, passou-se para a etapa de validação do modelo gerado, efetuando a eliminação dos erros até obter o resultado desejado.

### **3.2.5. Validação do MDEHC**

Todo o modelo digital da elevação, seja hidrológicamente consistente ou não, deve ser avaliado para se certificar de que os dados, o próprio método e seus parâmetros sejam capazes de gerar uma representação real da paisagem. Essa representação é limitada pela qualidade e quantidade dos dados altimétricos e pela eficiência dos interpoladores.

Um MDEHC, além da representação real da paisagem, deve também descrever, com exatidão, o caminho do escoamento superficial. Essa verificação foi realizada, analisando-se o trajeto de escoamento superficial ao longo do modelo e por intermédio da comparação visual da drenagem numérica matricial gerada pelo modelo com a drenagem vetorial digitalizada. A coincidência espacial dessas duas feições é um parâmetro qualitativo de verificação da consistência hidrológica do modelo, pelo menos no que diz respeito à representação espacial da drenagem. Outra forma de verificação adotada foi a delimitação automática de bacias hidrográficas de contribuição a montante de pontos escolhidos de forma aleatória. Nesse caso, verificou-se a existência de possíveis erros, como cortes na hidrografia e localização errada de divisores de água. Esses foram os dois métodos utilizados para a validação do MDEHC gerado no presente trabalho, permitindo a identificação de dois tipos de erros:

- Existência de depressões que não ocorrem na realidade e que alteram a direção do escoamento (depressões espúrias).

- Desvios dos canais de drenagem e dos limites das bacias identificadas pelo modelo em relação aos observados nas cartas topográficas.

Esses erros foram editados no próprio software ARC/GIS 8.1®, e os procedimentos anteriormente citados foram repetidos até que se obtivesse um modelo hidrológicamente consistente, ou seja, sem depressões e desvios da rede de drenagem.

### 3.3. Seleção e análise dos dados básicos

Para a realização do estudo foram utilizados dados fluviométricos e pluviométricos pertencentes à rede da Agência Nacional de Águas (ANA). Levantamento preliminar feito com base no inventário de estações fluviométricas (ANEEL, 2001a) e pluviométricas (ANEEL, 2001b) mostrou a existência de 28 estações fluviométricas e 43 estações pluviométricas, disponíveis para a realização deste estudo.

Após a obtenção dos dados, elaborou-se um diagrama de barras das estações fluviométricas (Quadro 3) e pluviométricas (Quadro 4), objetivando a caracterização dos períodos de dados disponíveis em todas as estações, de forma a facilitar a escolha do período-base e das estações a serem efetivamente utilizadas no estudo de regionalização.

Com base nas coordenadas geográficas de cada uma das estações fluviométricas e pluviométricas, elaborou-se um mapa com a localização das estações (Figuras 5 e 6, respectivamente), utilizando o software ArcView 3.2a®, para verificação da distribuição destas dentro da área em estudo.

De posse do diagrama de barras e dos mapas de localização das estações flúvio e pluviométrica, procedeu-se à análise das estações quanto à localização em relação ao sistema fluvial, período de operação e qualidade das observações, visando à identificação do período-base (período comum de observações) a ser usado na regionalização, tendo sido escolhido o período compreendido entre 1978 e 2002 (25 anos).

Nos Quadros 5 e 6 estão apresentadas, respectivamente, informações sobre as estações fluviométricas e pluviométricas localizadas no interior da sub-bacia, utilizadas no estudo de regionalização.

No caso dos dados pluviométricos, também foram consideradas algumas estações localizadas fora da área de abrangência da sub-bacia 40, visando aumentar a precisão na estimativa da precipitação média na área de drenagem das diferentes estações fluviométricas usadas no estudo (Quadro 7).

Quadro 3 – Diagrama de barras das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio do São Francisco a montante do Reservatório de Três Marias e identificação do período-base

Código	Nome da estação	Período descartado																Período-base analisado																																						
		65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2																	
40025000	Vargem Bonita																																																							
40032000	Fazenda Samburá																																																							
40037000	Fazenda da Barra																																																							
40040000	Fazenda Ajudas																																																							
40050000	Iguatama																																																							
40053000	Calciolândia																																																							
40060001	Tapirai-jusante																																																							
40070000	Ponte do Chumbo																																																							
40080000	Taquaral																																																							
40100000	Porto das Andorinhas																																																							
40150000	Carmo do Cajuru																																																							
40170000	Marilândia (ponte BR-494)																																																							
40185000	Pari																																																							
40300001	Jaguaruna-jusante																																																							
40330000	Velho da Taipa																																																							
40400000	Estação Álvaro da Silveira																																																							
40500000	Martinho Campos																																																							
40530000	Abaeté																																																							
40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante																																																							
40680000	Entre Rios de Minas																																																							
40710000	Belo Vale																																																							
40740000	Alberto Flores																																																							
40770000	Conceição do Itaguá																																																							
40800001	Ponte Nova do Paraopeba																																																							
40850000	Ponte da Taquara																																																							
40930000	Barra do Funchal																																																							
40960000	Fazenda Bom Jardim																																																							
40975000	Fazenda São Félix																																																							

- Representa a presença de dados na série histórica.
- Representa falhas (ausência de dados) na série histórica.

Quadro 4 – Diagrama de barras das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do Reservatório de Três Marias e identificação do período-base

Código	Nome da estação	Período descartado																Período-base analisado																																		
		65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2													
01845002	Fazenda São Félix																																																			
01845014	Tiros																																																			
01846003	Major Porto																																																			
01943000	Mineração Morro Velho																																																			
01944004	Ponte Nova do Paraopeba																																																			
01944007	Fazenda Escola Florestal																																																			
01944010	Horto Florestal																																																			
01944011	Jaguaruna-Jusante																																																			
01944021	Velho da Taipa																																																			
01944026	Barro Preto																																																			
01944027	Juatuba																																																			
01944032	Pitangui																																																			
01945002	Barra do Funchal																																																			
01945008	Bom Despacho																																																			
01945019	Dores do Indaiá (CVSF)																																																			
01945035	Abaeté																																																			
01946000	Tapiraí-Jusante																																																			
01946009	São Gotardo																																																			
01946010	Pratinha																																																			
02044002	Itaúna-Montante																																																			
02044003	Carmo do Cajuru																																																			
02044006	Divinópolis																																																			
02044007	Entre Rios de Minas																																																			
02044008	Melo Franco																																																			

Continua...



Quadro 4 – Cont.

Código	Nome da estação	Período descartado																Período-base analisado																																					
		65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2																
02044009	Fazenda Campo Grande																																																						
02044012	Ibirité																																																						
02044016	Fazenda Benedito Chaves																																																						
02044020	Calambau																																																						
02044021	Alto da Boa Vista																																																						
02044024	Fazenda Curralinho																																																						
02044026	Fazenda Coqueiros																																																						
02044027	Ponte Fernao Dias																																																						
02044040	Usina Joao Ribeiro																																																						
02044042	Carmo da Mata (ETA-COPASA)																																																						
02045001	Bambuí																																																						
02045002	Iguatama																																																						
02045005	Lamounier																																																						
02045010	Arcos (COPASA)																																																						
02045012	Piumhi																																																						
02045013	Santo Antônio do Monte																																																						
02046007	Fazenda Ajudas																																																						
02046013	Vargem Bonita																																																						
02143006	Barroso																																																						

■ Representa a presença de dados na série histórica.  
 □ Representa falhas (ausência de dados) na série histórica.

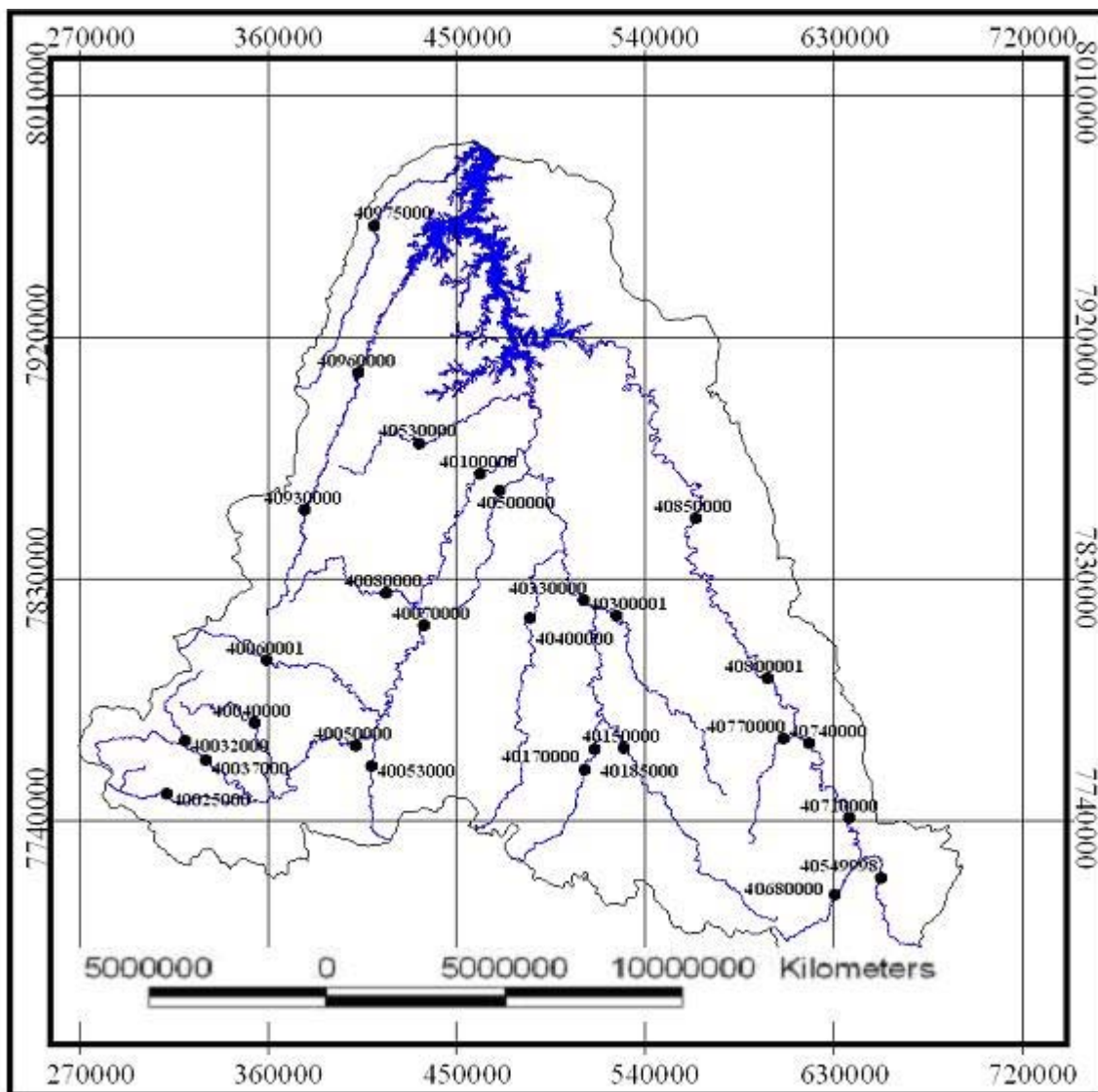


Figura 5 – Mapa de localização das estações fluviométricas selecionadas para o estudo.

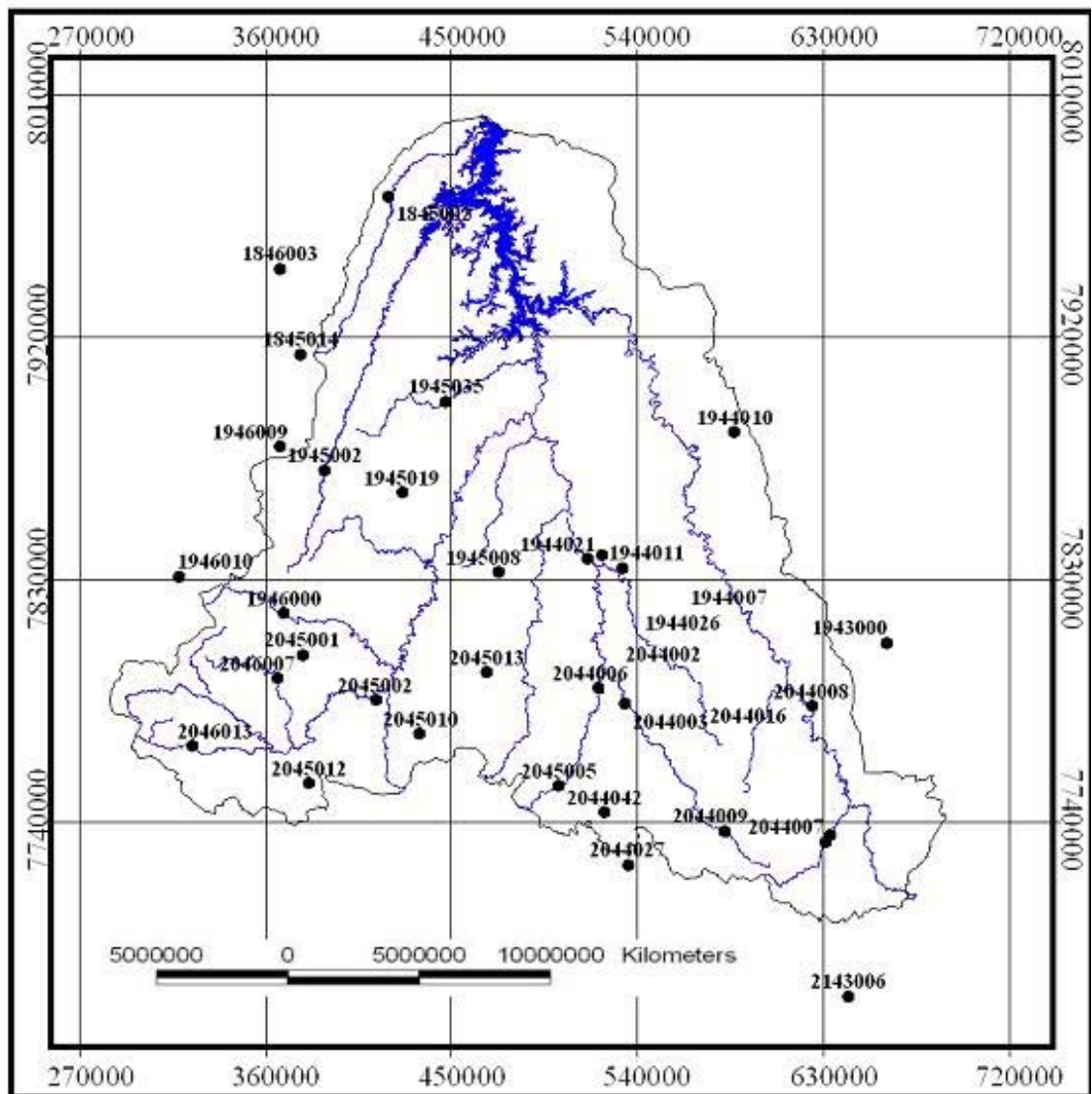


Figura 6 – Mapa de localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo.

Quadro 5 – Identificação das estações fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, selecionadas para a realização da regionalização

<b>Código estação</b>	<b>Nome da estação</b>	<b>Rio/Ribeirão</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
40025000	Vargem Bonita	Rio São Francisco	20°19'38''	46°21'58''
40032000	Fazenda Sambura	Rio Sambura	20°09'03''	46°18'12''
40037000	Fazenda da Barra	Rib. Santo Antônio	20°12'56''	46°13'56''
40040000	Fazenda Ajudas	Rio Ajudas	20°05'45''	46°03'51''
40050000	Iguatama	Rio São Francisco	20°10'12''	45°42'57''
40053000	Calciolândia	Rio São Miguel	20°14'13''	45°39'38''
40060001	Tapira Jusante	Rio da Perdição	19°53'17''	46°01'05''
40070000	Ponte do Chumbo	Rio São Francisco	19°46'34''	45°28'45''
40080000	Taquaral	Rib. Jorge Grande	19°40'13''	45°36'36''
40100000	Porto das Andorinhas	Rio São Francisco	19°16'43''	45°17'09''
40150000	Carmo do Cajuru	Rio Pará	20°10'52''	44°47'38''
40170000	Marilândia (Pte BR494)	Rio Itapecerica	20°12'58''	44°55'06''
40185000	Pari	Rio Itapecerica	20°11'05''	44°53'36''
40300001	Jaguaruna – Jusante	Rio São João	19°44'37''	44°49'06''
40330000	Velho da Taipa	Rio Para	19°41'38''	44°55'51''
40400000	Est. Álvaro da Silveira	Rio Lambari	19°45'11''	45°07'03''
40500000	Martinho Campos	Rib. do Picão	19°19'54''	45°13'17''
40530000	Abaeté	Rib. da Marmelada	19°09'46''	45°26'31''
40549998	S. Brás do Suaçuí-Mont.	Rio Paraopeba	20°36'14''	43°54'31''
40680000	Entre Rios de Minas	Rio Brumado	20°39'37''	44°04'19''
40710000	Belo Vale	Rio Paraopeba	20°24'29''	44°01'16''
40740000	Alberto Flores	Rio Paraopeba	20°09'40''	44°09'38''
40770000	Conceição do Itaguaçu	Rio Manso	20°09'00''	44°15'00''
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Rio Paraopeba	19°56'56''	44°18'19''
40850000	Ponte da Taquara	Rio Paraopeba	19°25'23''	44°32'52''
40930000	Barra do Funchal	Córrego Cabeceira	19°23'43''	45°53'11''
40960000	Fazenda Bom Jardim	Córrego Cabeceira	18°57'00''	45°42'00''
40975000	Fazenda São Félix	Rio Borrachudo	18°27'58''	45°38'45''

Quadro 6 – Identificação das estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, selecionadas para a realização da regionalização

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
01845002	Fazenda São Félix	760	18°27'52''	45°38'48''
01944004	Ponte Nova do Paraopeba	721	19°57'20''	44°18'24''
01944007	Fazenda Escola Florestal	745	19°52'47''	44°25'18''
01944010	Horto Florestal	733	19°16'05''	44°24'06''
01944011	Jaguaruna-Jusante	685	19°43'41''	44°48'24''
01944021	Velho da Taipa	585	19°41'46''	44°55'46''
01944026	Barro Preto	845	19°57'51''	44°27'07''
01944027	Juatuba	716	19°57'20''	44°20'04''
01944032	Pitangui	696	19°41'04''	44°52'44''
01945002	Barra do Funchal	720	19°23'41''	45°53'04''
01945008	Bom Despacho	750	19°44'33''	45°15'18''
01945019	Dores do Indaiá (CVSF)	692	19°28'07''	45°36'06''
01945035	Abaeté	565	19°09'47''	45°26'33''
01946000	Tapiraí-Jusante	670	19°52'46''	46°01'58''
01946009	São Gotardo	-	19°18'55''	46°02'40''
02044002	Itaúna Montante	859	20°04'17''	44°34'13''
02044003	Carmo do Cajuru	746	20°11'32''	44°47'37''
02044006	Divinópolis	672	20°08'13''	44°53'31''
02044007	Entre Rios de Minas	885	20°39'40''	44°04'14''
02044008	Melo Franco	761	20°11'52''	44°07'15''
02044009	Fazenda Campo Grande	915	20°37'31''	44°26'00''
02044012	Ibirité	1073	20°02'34''	44°02'36''
02044016	Fazenda Benedito Chaves	944	20°10'09''	44°30'54''
02044020	Calambau	943	20°04'06''	44°29'32''
02044021	Alto da Boa Vista	905	20°06'20''	44°24'04''
02044024	Fazenda Curralinho	786	20°00'27''	44°19'52''
02044026	Fazenda Coqueiros	975	20°07'47''	44°28'28''
02044040	Usina João Ribeiro	850	20°38'07''	44°02'56''
02044042	Carmo da Mata	749	20°33'45''	44°52'03''
02045001	Bambuí	654	20°01'16''	45°57'58''
02045002	Iguatama	606	20°10'44''	45°42'01''
02045005	Lamounier	738	20°28'20''	45°02'10''
02045010	Arcos (COPASA)	791	20°17'41''	45°32'34''
02045012	Piumhi	806	20°27'43''	45°56'42''
02045013	Santo Antônio do Monte	950	20°05'04''	45°17'48''
02046007	Fazenda Ajudas	705	20°06'06''	46°03'18''
02046013	Vargem Bonita	743	20°19'48''	46°21'58''

Quadro 7 – Identificação das estações pluviométricas selecionadas fora da área de abrangência da bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do Reservatório de Três Marias

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
01845014	Tiros	1030	18°59'59''	45°57'58''
01846003	Major Porto	672	18°42'25''	46°02'13''
01943000	Mineração Morro Velho	770	19°58'45''	43°51'00''
01946010	Pratinha	-	19°45'05''	46°24'43''
02044027	Ponte Fernão Dias	882	20°44'27''	44°47'00''
02143006	Barroso	881	21°11'14''	43°58'48''

### 3.4. Obtenção das características físicas das sub-bacias hidrográficas

A delimitação das sub-bacias hidrográficas (no estudo de regionalização, entende-se por sub-bacia hidrográfica a área de drenagem de cada uma das estações fluviométricas) e a obtenção das suas características físicas foram feitas de forma automatizada, com base no MDEHC obtido. Para tal, bastaram a localização exata de cada uma das estações fluviométricas e a utilização de extensões específicas do software ArcView®.

Para a implementação da delimitação automática, foram utilizadas duas bases de dados, geradas a partir do MDEHC:

- Base de dados contendo a direção do escoamento de cada célula.
- Base de dados contendo o valor do escoamento acumulado de cada célula.

A direção do escoamento superficial foi obtida por meio do método determinístico de oito células vizinhas, considerando-se apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do modelo digital de elevação (norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste). Cada uma dessas opções foi associada a uma codificação numérica específica em um novo arquivo digital de mesma resolução espacial. O sentido de escoamento foi sempre descendente, modelando o comportamento real da água.

Por meio do algoritmo “flowaccumulation”, disponível no software ArcView 3.2a®, foi calculado o número de células localizadas a montante de cada célula, obtendo-se o escoamento acumulado para cada uma delas. Células que possuem valor acumulado igual a zero correspondem, em geral, às cristas e aos picos.

A delimitação dos limites da bacia hidrográfica necessitou da base de dados da direção do fluxo e da criação de nova base de dados contendo o ponto de partida para a delimitação da bacia hidrográfica, que neste trabalho foi a localização de cada estação fluviométrica.

De posse da delimitação da área de cada bacia, passou-se, então, à determinação das diferentes características físicas usadas no estudo de regionalização: área da bacia ( $A$ ), comprimento do rio principal ( $L$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ), declividade média da bacia ( $S_m$ ) e declividade do rio principal ( $S_{rp}$ ). A área de drenagem e o comprimento do rio principal de cada bacia foram obtidos a partir dos arquivos no formato ShapeFile, utilizando-se a ferramenta Calculate e a extensão Geoprocessing, respectivamente, do Software ArcView®. O cálculo da  $D_d$  foi realizado a partir da estimativa de variáveis primárias, como a área de drenagem e o comprimento total dos cursos d'água ( $L_{total}$ ). Os cursos d'água principais foram identificados como aqueles que drenam a maior área nas respectivas bacias. Já as determinações da  $S_m$  e da  $S_{rp}$  foram feitas com o auxílio do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). A  $S_m$  foi calculada pela média aritmética das declividades de todas as células do interior de cada área de drenagem. Já a  $S_{rp}$  foi calculada com base no critério de declividade equivalente constante, utilizando-se a equação 2.

### **3.5. Determinação das características climáticas das sub-bacias hidrográficas**

As características climáticas utilizadas no estudo de regionalização foram: precipitação total anual ( $P_a$ ), precipitação do trimestre mais seco ( $P_{ts}$ ) e precipitação do mês mais seco ( $P_{mês}$ ), calculadas com base no ano civil.

No cálculo da precipitação média sobre a sub-bacia foi utilizado o método do Polígono de Thiessen. Esse método atribui um fator de peso aos totais precipitados em cada pluviômetro, proporcional à área de influência de cada um. Essas áreas de influência (pesos) foram determinadas em mapas da bacia contendo as estações, unindo-se os pontos adjacentes por linhas retas e, em seguida, traçando-se as mediatrizes dessas retas, formando polígonos (Figura 7).

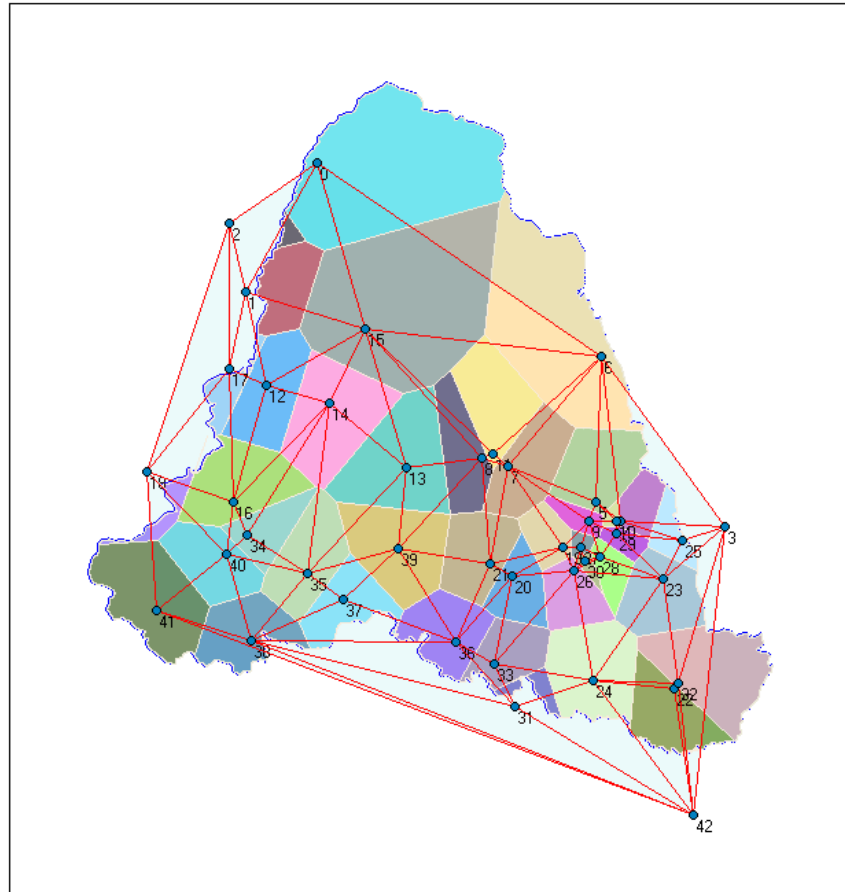


Figura 7 – Aplicação do polígono de Thiessen para determinação da precipitação média na bacia.

A precipitação média ( $P_m$ ) foi calculada pela média ponderada entre a precipitação de cada estação ( $P_i$ ) e o peso a ela atribuído ( $A_i$ ), que é a área de influência de  $P_i$ .

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4)$$

em que:

$P_i$  = precipitação pluviométrica de cada estação (mm);

$A_i$  = área de influência de cada estação (km<sup>2</sup>); e

$n$  = número de estações pluviométricas consideradas na análise.

Foi utilizada para a obtenção da precipitação média na área de drenagem das diferentes estações fluviométricas uma rotina computacional desenvolvida no



Departamento de Engenharia Agrícola da UFV e disponibilizada no software RH 3.0 (EUCLYDES et al., 1999). Bastou para tal o fornecimento de arquivo contendo as coordenadas geográficas das estações pluviométricas, com os respectivos valores de precipitação no período a ser analisado (total anual, semestre mais seco, trimestre mais seco) e o contorno da área de drenagem de cada estação pluviométrica (extensão vec ou dxf).

### 3.6. Preenchimento de falhas

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.

Para um mesmo curso d'água, iniciou-se, preferencialmente, pela estação mais próxima. Quando essa condição não pôde ser atendida, aplicou-se o princípio da semelhança hidrológica, tendo nos coeficientes de correlação a base para a tomada de decisão.

Para o preenchimento de falhas de vazão foi utilizada a regressão linear simples.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (5)$$

em que:

$Y$  = vazão do posto com falhas;

$X_1$  = vazão do posto com dados; e

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = parâmetros ajustados na regressão.

Para o preenchimento de falhas em séries pluviométricas, foi utilizado o método da ponderação regional com base em regressões lineares, que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos,  $Y$ , e cada um dos postos vizinhos,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . De cada uma das regressões lineares efetuadas, obtém-se o coeficiente de correlação ( $r$ ), sendo o preenchimento realizado com base na seguinte expressão:

$$Y = \frac{r_{YX_1} X_1 + r_{YX_2} X_2 + \dots + r_{YX_n} X_n}{r_{YX_1} + r_{YX_2} + \dots + r_{YX_n}} \quad (6)$$

em que:

$r_{YX}$  = coeficiente de correlação entre os postos Y e X; e

n = número total de postos vizinhos considerados.

Para a aplicação do método, adotou-se como critério mínimo a obtenção de coeficiente de correlação superior a 0,84 ou coeficiente de determinação superior a 0,7, bem como a existência de pelos menos oito pares de eventos entre as estações, para a realização da regressão. Nos casos em que a estação em análise apresentou boa correlação com apenas uma estação de apoio, foi adotado, para o preenchimento dos dados de chuva, o procedimento de regressão linear simples, tal como utilizado para a vazão.

### **3.7. Determinação das vazões mínimas de referência**

A proposta do presente trabalho foi calcular a vazão mínima com média de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos,  $Q_{7,10}$ , tendo como referência os períodos trimestral e anual em cada ano civil. Dessa maneira, esperava-se obter uma vazão mínima que atendesse a cada período, não sendo a vazão mínima do período seco limitante na outorga para um período mais chuvoso.

A estimativa da vazão mínima com sete dias de duração, tendo como referência o ano civil, foi realizada calculando-se a média dos sete menores valores diários consecutivos de vazão em cada ano da série de dados. Somente os períodos trimestral e anual com mais de 95% de dias consecutivos de dados foram considerados na análise.

A estimativa da  $Q_{7,10}$  de cada estação fluviométrica utilizada na regionalização foi feita com base no seguinte procedimento:

a) Obtenção das médias dos “7” menores valores diários consecutivos de vazão de cada ano/trimestre da série de dados ( $Q_7$ ).

b) Estabelecimento da série anual com os valores de  $Q_7$  de cada ano/trimestre.

c) Identificação do modelo probabilístico com melhor ajuste às séries de  $Q_7$ . Os modelos probabilísticos utilizados para representar esses eventos foram: Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull.

As funções densidade de probabilidade,  $f(x)$ , e as funções de distribuição acumulada,  $F(x)$ , das distribuições teóricas Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal

a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull, estão representadas pelas expressões a seguir (STEDINGER et al., 1992).

- **Distribuição Log-Normal a dois parâmetros**

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right]; \quad x > 0 \quad (7)$$

em que:

$f(x)$  = função densidade ou de intensidade de probabilidade de uma variável aleatória contínua qualquer;

$\mu_Y$  = parâmetro de posição da distribuição Log-Normal;

$\sigma_Y^2$  = parâmetro de escala da distribuição Log-Normal;

$X$  = variável aleatória; e

$Y = \ln(X)$ .

A função de distribuição acumulada é dada pela expressão:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \left\{ \frac{1}{x \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right] \right\} \quad (8)$$

ou

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \int_0^x f(x) dx = P[X \leq x] \quad (9)$$

ou seja, a integral da função densidade de probabilidade fornece a probabilidade de que uma variável aleatória normal  $X$ , de parâmetros  $\mu_Y$  e  $\sigma_Y$ , seja igual ou inferior a um valor dado  $x$ .

- **Distribuição Log-Normal a três parâmetros**

Esta distribuição difere da distribuição Log-Normal a dois parâmetros pela introdução de um parâmetro de posição  $x_0$ , tal que  $Y = \ln(x - x_0)$ , ou seja:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0) \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x - x_0) - \mu_Y]^2}{2\sigma_Y^2}\right\} \quad (10)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{(x - x_0)\sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x - x_0) - \mu_Y]^2}{2\sigma_Y^2}\right\} dx \quad (11)$$

- **Distribuição Pearson tipo III**

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{x - x_0}{\alpha}\right\} \quad (12)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^z \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{x - x_0}{\alpha}\right\} dx \quad (13)$$

em que:

$\alpha$  = parâmetro de escala da distribuição Pearson tipo III;

$\beta$  = parâmetro de forma da distribuição Pearson tipo III;

$x_0$  = parâmetro de posição da distribuição Pearson tipo III; e

$\Gamma(\cdot)$  = função Gamma.

- **Distribuição Log-Pearson tipo III**

$$f(x) = \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{\ln x - x_0}{\alpha}\right\} \quad (14)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^z \frac{1}{\alpha x \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{\ln x - x_0}{\alpha} \right\}^{\beta-1} \exp\left\{-\frac{\ln x - x_0}{\alpha}\right\} dx \quad (15)$$

- **Distribuição Weibull**

$$f(x) = \frac{k}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (16)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (x > 0) \quad (17)$$

A seleção da distribuição de probabilidade ajustável a cada série histórica foi efetuada utilizando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, no nível de 20% de probabilidade, associado ao menor coeficiente de variação (CV) entre a função de distribuição e os dados.

d) Obtenção dos valores das vazões mínimas com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) de cada estação.

O procedimento adotado, no presente estudo, para a obtenção da curva de permanência e, conseqüentemente, dos valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  de cada estação fluviométrica foi o seguinte:

a) Seleção da série de dados de vazões diárias utilizadas para a obtenção da curva. Utilizaram-se apenas os anos das séries históricas com mais de 95% dos dados diários de vazão, totalizando um mínimo de 347 dias.

b) Definição de 50 intervalos de classe de vazões diárias.

c) Sub-divisão dos intervalos de classe com base na escala logarítmica devido à grande magnitude de variação das vazões.

d) Cálculo do intervalo de classe pela equação:

$$\Delta X = \frac{[\ln(Q_{\text{máx}}) - \ln(Q_{\text{mín}})]}{50} \quad (18)$$

em que:

$Q_{\text{máx}}$  = vazão máxima da série; e

$Q_{\text{mín}}$  = vazão mínima da série.

e) Cálculo dos limites dos intervalos, a partir de  $Q_{\text{mín}}$ , adicionando-se o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo i:

$$Q_{i+1} = \exp[\ln(Q_i) + \Delta X] \quad (19)$$

f) Determinação, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas em cada intervalo.

g) Determinação da frequência ( $f_i$ ) associada ao limite inferior de cada intervalo:

$$f_i = \frac{Nq_i}{NT} \cdot 100 \quad (20)$$

em que:

$Nq_i$  = número de vazões de cada intervalo; e

$NT$  = número total de vazões.

h) Obtenção da curva de permanência, plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e, na abscissa, a frequência de ocorrência.

i) Obtenção dos valores das vazões associadas a 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) de permanência no tempo.

### **3.8. Comparação das metodologias de regionalização de vazões**

Uma vez conhecidos os valores de  $Q_{7,10}$  (trimestral e anual),  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  para as 28 estações fluviométricas utilizadas no trabalho, procedeu-se ao estudo de regionalização dessas vazões na bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do Reservatório de Três Marias, tendo sido utilizados e comparados três diferentes métodos de regionalização de vazões. O primeiro método está baseado na definição de regiões hidrologicamente homogêneas e no estabelecimento de equações de regressão regionais, sendo denominado método tradicional (ELETROBRÁS, 1985a). Os resultados obtidos por esse método foram comparados também com o do estudo desenvolvido no ATLAS (2005), em que se aplicou o método para a mesma bacia hidrográfica, porém utilizando uma série de dados de 1970 a 2002, tendo características físicas sido obtidas por procedimentos manuais. O segundo e o terceiro método analisados foram baseados na interpolação/extrapolação das vazões relativas à seção de interesse, utilizando para tanto as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas, sendo esses os métodos denominados vazão específica e Chaves et al. (2002).

Os valores obtidos com as três metodologias e com aqueles estimados a partir dos dados observados foram comparados com base no erro relativo porcentual e no Coeficiente de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

#### **3.8.1. Metodologia de regionalização de vazões baseada na utilização de equações de regressão regionais (ELETROBRÁS, 1985a)**

A metodologia proposta pela Eletrobrás (1985a) tem como característica principal a utilização de equações de regressão regionais aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas, visando à obtenção das vazões em qualquer posição da rede de drenagem da bacia em estudo.

##### **3.8.1.1. Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas**

Foram utilizados dois critérios estatísticos para identificação das regiões homogêneas.

**Critério 1** – Baseado na análise da distribuição de frequência em papel probabilístico das vazões adimensionalizadas de cada estação.

O princípio em que se baseia este critério é de que as distribuições de frequência das vazões mínimas das estações em uma região hidrologicamente homogênea seguem a mesma tendência, sendo as diferenças proporcionais à média das séries de vazões consideradas. Essa característica permite que, ao se obterem séries transformadas de vazões, por meio da divisão dos seus valores pelas respectivas médias, as distribuições de frequência dessas séries transformadas sejam idênticas.

A linha formada pelos pontos representativos dos valores de vazão, anotados em papel probabilístico adequado, é o de uma reta. A equação da reta de regressão da forma  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$  foi ajustada às vazões adimensionalizadas de cada estação plotadas em papel probabilístico. Os parâmetros foram estimados pelo método gráfico e o ajuste, pelo método dos mínimos quadrados.

As estações que apresentaram valores do coeficiente de regressão linear “ $\beta_1$ ” próximos foram consideradas, para efeito deste estudo, como pertencentes a uma mesma região homogênea do ponto de vista hidrológico.

Inicialmente, realizou-se uma tentativa no sentido de agrupar todas as estações em uma única região hidrologicamente homogênea, com a utilização do critério 1, o que não foi possível, tendo em vista a grande variação observada dos valores do coeficiente de regressão linear “ $\beta_1$ ” das estações. Após esse pré-agrupamento, passou-se, então, para o critério 2, determinante da delimitação final das regiões consideradas hidrologicamente homogêneas.

**Critério 2** – Baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla das vazões mínimas às características físicas e climáticas da sub-bacia hidrográfica.

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas, analisaram-se os coeficientes da regressão, a tendência e a classificação dos resíduos padronizados e o erro porcentual entre as vazões observadas e as estimadas pelo modelo de regionalização obtido.

As regiões hidrologicamente homogêneas foram definidas em razão da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentou o melhor ajuste.

Quando os dois critérios tiveram bons resultados, a região foi definida como hidrologicamente homogênea nas vazões estudadas, entretanto, nos casos em que isso não ocorreu, houve necessidade de subdividir a região ou reorganizar as estações dentro das regiões e reiniciar o processo.

Na identificação das regiões hidrologicamente homogêneas, com base nos dois critérios citados anteriormente, foi utilizado o software RH 3.0 – Regionalização Hidrológica (EUCLYDES et al., 1999).

### 3.8.1.2. Regionalização das vazões mínimas de referência

De posse dos valores de  $Q_{7,10}$  (trimestral e anual),  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  e das características físicas ( $A$ ,  $L$ ,  $D_d$ ,  $S_m$  e  $S_{rp}$ ) e de precipitação média pluvial ( $P_a$ ,  $P_{ss}$ ,  $P_{ts}$ ) correspondentes às áreas de drenagem das diferentes estações fluviométricas pertencentes a uma mesma região homogênea, aplicou-se a regressão múltipla entre as vazões mínimas de referência e as diferentes características físicas e climáticas das sub-bacias, para obtenção das equações de regressão regionais de cada região hidrologicamente homogênea, com base nos seguintes modelos:

- Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P \quad (21)$$

- Modelo potencial

$$Q = \beta_0 A^{\beta_1} L^{\beta_2} Dd^{\beta_3} S_m^{\beta_4} S_{rp}^{\beta_5} P^{\beta_6} \quad (22)$$

- Modelo exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P)} \quad (23)$$

- Modelo logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln Dd + \beta_4 \ln S_m + \beta_5 \ln S_{rp} + \beta_6 \ln P \quad (24)$$

- Modelo recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P)^{-1} \quad (25)$$

Para fins de verificação do ajuste de determinado modelo aos dados, adotaram-se o coeficiente de determinação ajustado, o erro-padrão da estimativa e o teste da função F.

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados, observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado;



menores valores de erro-padrão fatorial, resultados significativos pelo teste F; e menor número de variáveis independentes.

Foi utilizado, para a obtenção dos diversos modelos de regressão múltipla, o software RH 3.0, desenvolvido por Euclides et al. (1999).

### 3.8.2. Metodologia de regionalização de vazões baseada no princípio da vazão específica

Tal método é baseado no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos. As vazões mínimas de referência que foram regionalizadas com base nesta metodologia também foram a  $Q_{7,10}$  (trimestral e anual), a  $Q_{90}$  e a  $Q_{95}$ .

O método não necessita da definição de regiões hidrologicamente homogêneas, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica, o que viabiliza a sua aplicação em pequenas bacias hidrográficas, com número reduzido de postos hidrométricos, pois não há limitação em termos de número mínimo de estações fluviométricas, tendo em vista não utilizar equações de regressão nas estimativas das vazões.

O método apresenta quatro situações distintas, dependendo da posição da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos. Assim, quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto com vazão conhecida, a vazão de interesse é estimada pela equação 26. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão desconhecida é estimada pela equação 27.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) A_z \quad (26)$$

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (27)$$

em que:

$Q_z$  = vazão na seção de interesse,  $m^3 s^{-1}$ ;

$Q_{m,j}$  = vazão no posto de montante ou de jusante,  $m^3 s^{-1}$ ;

- $Q_m$  = vazão no posto de montante,  $m^3 s^{-1}$ ;  
 $Q_j$  = vazão no posto de jusante,  $m^3 s^{-1}$ ;  
 $A_z$  = área de drenagem na seção de interesse,  $km^2$ ;  
 $A_{m,j}$  = área de drenagem no posto de montante ou de jusante,  $km^2$ ;  
 $A_m$  = área de drenagem no posto de montante,  $km^2$ ; e  
 $A_j$  = área de drenagem no posto de jusante,  $km^2$ .

A quarta situação (caso 4) é quando a seção de interesse está situada em trecho de rio afluente, cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Nesse caso, aplica-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 27) na seção de confluência e, posteriormente, a equação 26, para estimar a vazão na seção de interesse.

No mapa da bacia hidrográfica com as estações fluviométricas plotadas, identificou-se cada situação possível em relação aos postos fluviométricos e, partindo da nascente para a foz, foi estimada a vazão mínima pelo método proposto em todos os postos fluviométricos de vazão conhecida, cujos valores foram supostos desconhecidos, apenas para efeito de teste em posteriores comparações entre os valores das vazões estimadas com a aplicação da metodologia citada e os valores observados. Utilizaram-se como base de dados os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries de  $Q_{7,10}$  (anual e trimestral) e de  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  verificadas nas estações fluviométricas da bacia hidrográfica em estudo.

Nos postos 40549998, 40150000, 40170000, 40185000, 40025000 e 40930000, os resultados foram obtidos aplicando-se a equação 26, tendo em vista que esses postos se enquadraram na situação descrita no caso 1.

Nos postos 40710000, 40740000, 40800001, 40050000 e 40070000, os resultados também foram obtidos com a aplicação da equação 27, por se enquadrarem na situação descrita no caso 2 da metodologia em questão.

Nos postos 40850000, 40330000, 40100000 e 40960000, os resultados foram também obtidos com a aplicação da equação 26, por se enquadrarem na situação descrita no caso 3, conforme preconizado na metodologia.

Já nos postos 40680000, 40770000, 40300001, 40032000, 40037000, 40040000, 40053000, 40060001 e 40080000, os resultados foram obtidos com base na aplicação

das equações 26 e 27, por se enquadrarem na situação descrita no caso 4 da metodologia.

Com relação às estações 40400000, 40500000, 40530000 e 40975000, como não há estação no Reservatório de Três Marias, essas estações ficaram sem opção de comparação, e com isso não houve caso específico para elas.

### **3.8.3. Metodologia de regionalização de vazões baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas**

Essa metodologia tem como princípio básico a utilização do método de razão de áreas de drenagem, sendo realizadas interpolações e extrapolações de vazões mínimas em diferentes situações da bacia, dependendo da posição relativa da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos. Por se tratar de um método interpolativo, ele dispensa a definição de regiões hidrologicamente homogêneas, possibilitando sua aplicação em bacias hidrográficas com baixa densidade de postos fluviométricos, pois não há limitação em termos de graus de liberdade para as análises de regressão (CHAVES et al., 2002).

As vazões mínimas de referência que foram regionalizadas com base na metodologia em questão também foram a  $Q_{7,10}$  (trimestral e anual) a  $Q_{90\%}$  e a  $Q_{95\%}$ .

Tal método também apresenta quatro situações distintas, dependendo da localização da seção de interesse em relação às seções de vazão conhecida, sendo que as áreas de drenagem e as distâncias entre as seções analisadas foram as variáveis independentes no cálculo da vazão desconhecida.

Quando a seção de interesse está situada a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um posto fluviométrico, a metodologia é a mesma da interpolação linear, portanto a vazão na seção de interesse é calculada com a equação 26. Já quando a seção de interesse está situada num trecho de um rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão desconhecida é estimada pela seguinte equação:

$$Q_z = A_z \left[ \left( p_m \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left( p_j \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (28)$$

em que:

$p_m$  = peso relativo à estação de montante, adimensional; e

$p_j$  = peso relativo à estação de jusante, adimensional.

sendo:

$$p_m = \left( \frac{d_j}{d_m + d_j} \right) \quad (29)$$

$$p_j = \left( \frac{d_m}{d_m + d_j} \right) \quad (30)$$

em que:

$d_m$  = distância entre o posto de montante e a seção de interesse, em km; e

$d_j$  = distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, em km.

A quarta situação (caso 4) acontece quando a seção de interesse está situada em um trecho de rio afluente, cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Nesse caso, aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente. Primeiro, calcula-se a vazão (equação 26) na seção de confluência e, posteriormente, utiliza-se a equação 28 para estimar a vazão na seção de interesse.

No mapa da bacia com as estações fluviométricas plotadas, identificou-se cada situação possível em relação aos postos fluviométricos existentes, e, partindo-se da nascente para a foz, foi feita a determinação da vazão mínima pelo método proposto para todos os postos fluviométricos de vazão conhecida, cujas vazões foram supostas como desconhecidas apenas para efeito de teste em posteriores comparações entre os valores das vazões estimadas com a aplicação da metodologia citada e os valores observados. Utilizaram-se como base de dados os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries de  $Q_{7,10}$  (anual e trimestral) e de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  observadas nas estações fluviométricas da bacia hidrográfica em estudo.

Nos postos 40549998, 40150000, 40170000, 40185000, 40025000 e 40930000, os resultados foram obtidos aplicando-se a equação 26, tendo em vista que esses postos se enquadraram no caso 1.

Nos postos 40710000, 40740000, 40800001, 40050000 e 40070000, os resultados foram obtidos com aplicação da equação 28, por se enquadrarem no caso 2.

Nos postos 40850000, 40330000, 40100000 e 40960000, os resultados foram também obtidos com a aplicação da equação 26, por se enquadrarem no caso 3.

Já nos postos 40680000, 40770000, 40300001, 40032000, 40037000, 40040000, 40053000, 40060001 e 40080000, a obtenção dos resultados foi com base na aplicação das equações 28 e 26, por se enquadrarem no caso 4.

Com relação às estações 40400000, 40500000, 40530000 e 40975000, como não há estação no Reservatório de Três Marias, essas estações ficaram sem opção de comparação, e com isso não houve caso específico para elas.

### 3.9. Análise do comportamento dos modelos

Com os resultados das vazões mínimas estimadas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ ), utilizando-se as três metodologias (equações de regressão regionais, proposta por Chaves et al. (2002) e vazão específica), e os valores de vazões observados nesses mesmos postos fluviométricos da bacia foi avaliada a precisão das metodologias, por meio da aplicação de dois índices:

a) Erro relativo entre o valor observado e o estimado, obtidos utilizando-se a equação:

$$ER = 100 \times Abs \left( \frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right) \quad (31)$$

em que:

ER = erro relativo, %;

Abs = valor absoluto;

$Q_{obs}$  = vazão observada no posto fluviométrico; e

$Q_{est}$  = vazão estimada com base nas metodologias de regionalização.

b) Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970):

$$E = \frac{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 - \sum (Q_{obs} - Q_{est})^2}{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (32)$$

Foi considerada a melhor metodologia de regionalização para a bacia hidrográfica em estudo aquela que apresentou o menor valor de erro relativo e o maior valor de coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, que varia entre 0 e 1.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**

A partir da comparação entre a rede de drenagem mapeada e a gerada automaticamente, bem como pela delimitação automática das bacias de drenagem, pôde-se considerar que o modelo digital de elevação da bacia hidrográfica em estudo é hidrologicamente consistente. Avaliando as Figuras 8 e 9, verificaram-se a sobreposição das redes de drenagens mapeadas e geradas automaticamente e a delimitação automática das bacias de drenagens referentes às estações fluviométricas 40080000 e 40070000, respectivamente. Na Figura 10, apresenta-se a delimitação da bacia de contribuição das estações utilizadas no estudo.

Na Figura 11 está apresentada uma visão geral do MDEHC gerado, indicando a cota de cada célula da área, e na Figura 12 apresenta-se o MDEHC utilizando efeito de sombreamento, que permite melhor visualização das variações no relevo da bacia.

### **4.2. Características físicas e de precipitação média pluvial**

As características físicas das bacias de drenagem das estações fluviométricas usadas no estudo estão apresentadas no Quadro 8. Nesse quadro, verifica-se que as áreas de drenagem variaram de 290 km<sup>2</sup>, referente à bacia de drenagem da estação Calciolândia, no rio São Miguel, a 13.206 km<sup>2</sup> na estação Porto das Andorinhas, no rio São Francisco. Como não há estação fluviométrica na foz da bacia, a maior área de drenagem encontrada neste estudo foi justamente a da estação de Porto das Andorinhas.

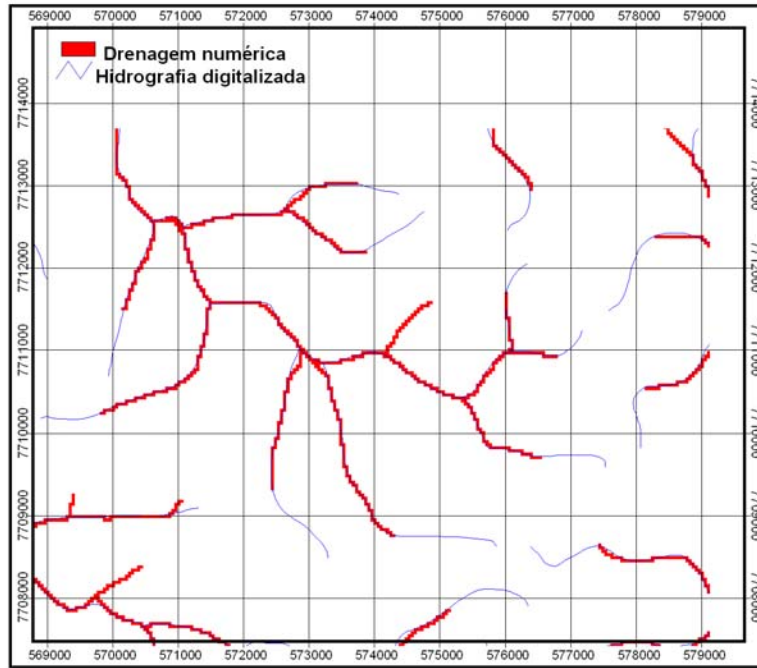


Figura 8 – Comparação visual da rede de drenagem gerada pelo modelo com a rede de drenagem mapeada.

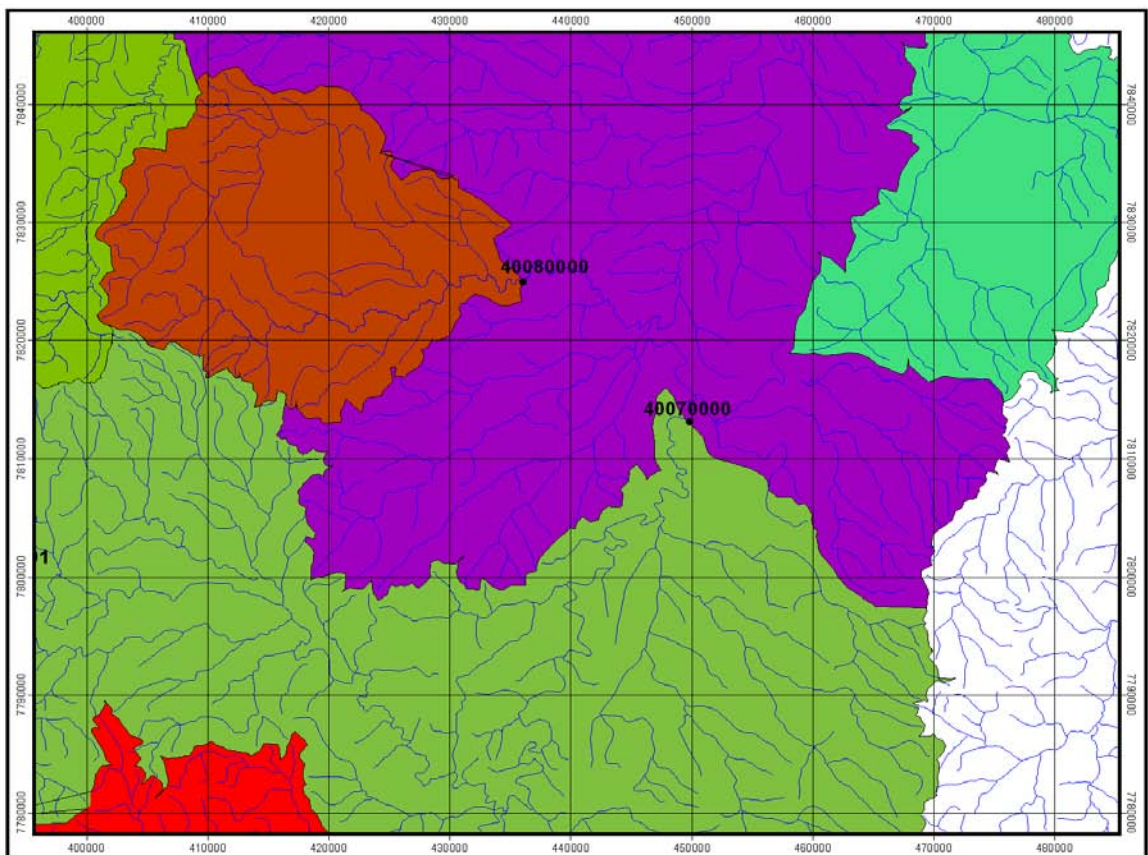


Figura 9 – Verificação da delimitação automática da bacia de contribuição a montante das estações 40070000 e 40080000.

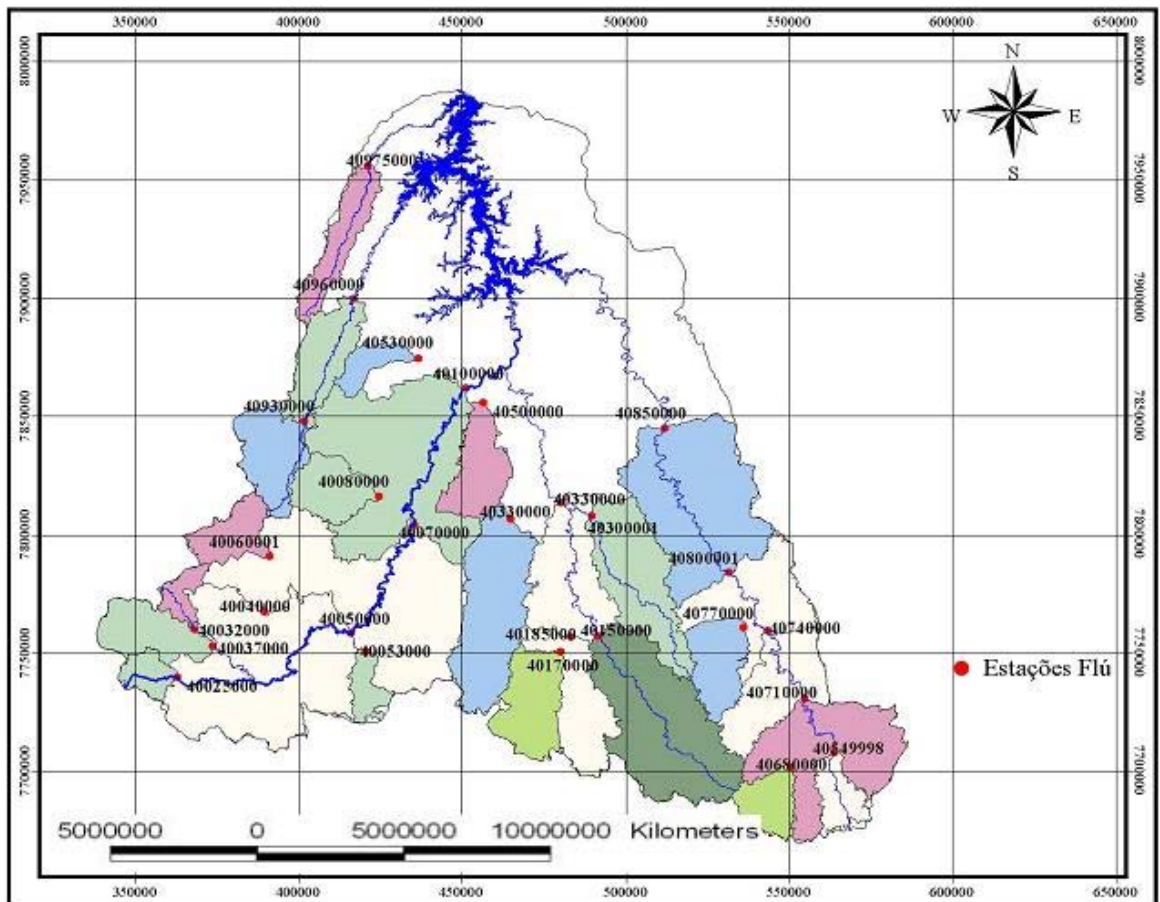


Figura 10 – Delimitação das bacias de contribuição das estações fluviométricas utilizadas no estudo de regionalização.



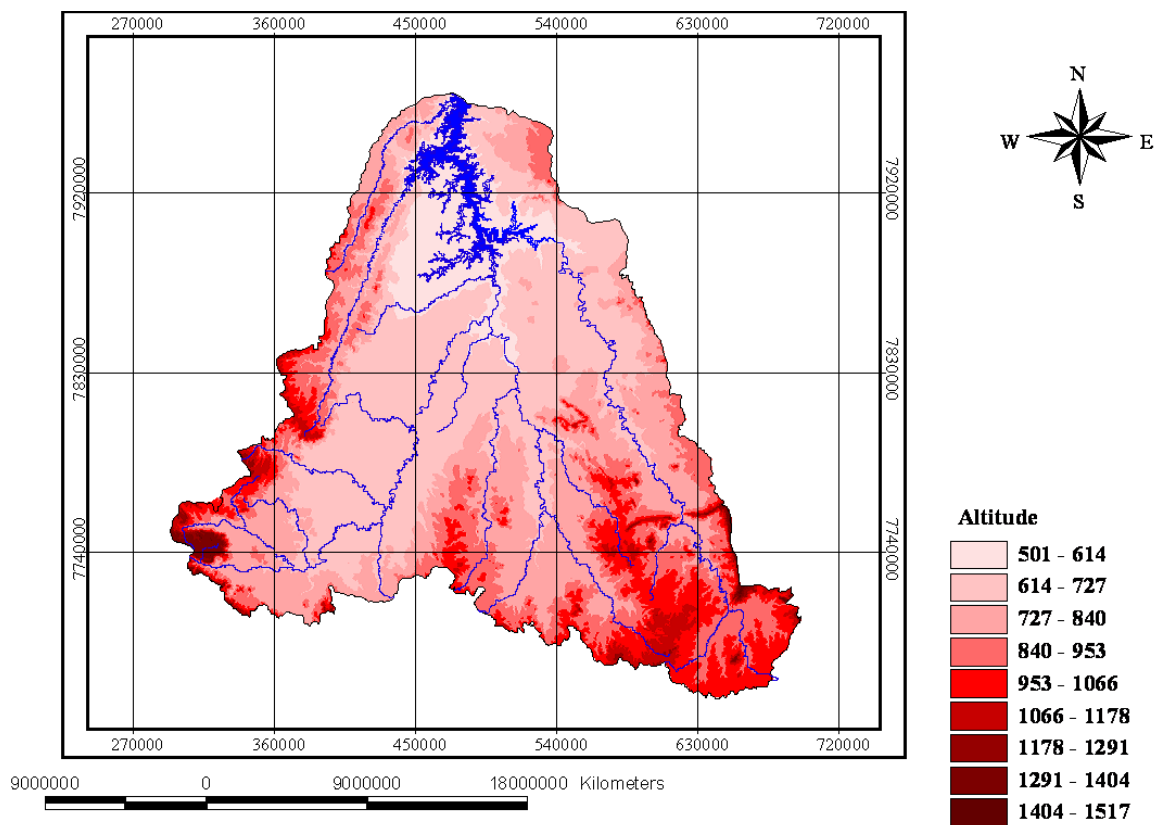


Figura 11 – Modelo digital de elevação hidrológicamente consistente contendo as cotas da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias.

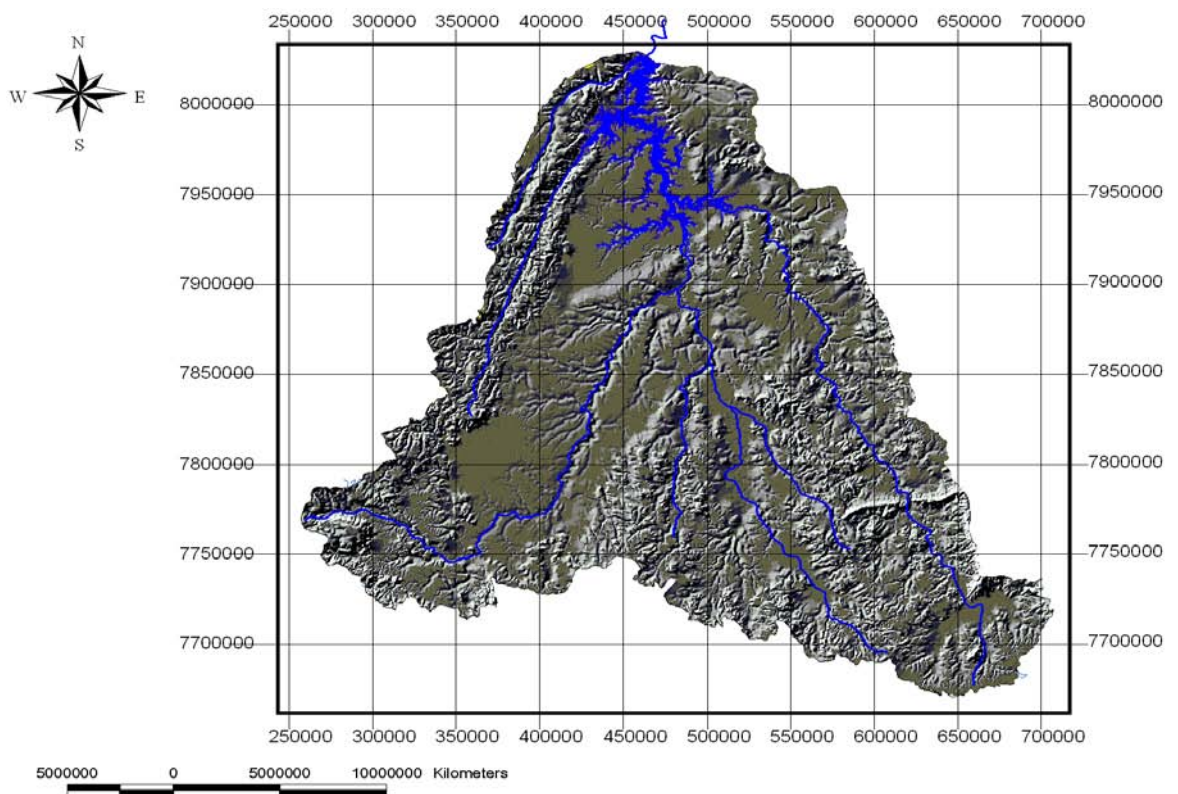


Figura 12 – Vista do MDEHC, utilizando efeito de sombreado para melhor visualização do relevo da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias

Quadro 8 – Características físicas das sub-bacias hidrográficas utilizadas na regionalização

Código	Nome da estação	Curso d'água	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	L (total) (km)	Dd (km km <sup>-2</sup> )	Sm (m.m <sup>-1</sup> )	Srp (m.m <sup>-1</sup> )
40025000	Vargem Bonita	São Francisco	296,71	31,04	183,69	0,62	0,039	0,003373
40032000	Fazenda Samburá	Samburá	695,21	52,68	375,22	0,54	0,064	0,004081
40037000	Fazenda da Barra	Santo Antonio	755,56	68,34	493,33	0,65	0,075	0,002301
40040000	Fazenda Ajudas	Ajudas	245,60	49,01	185,00	0,75	0,041	0,002538
40050000	Iguatama	São Francisco	4.826,42	167,54	2.946,3	0,61	0,048	0,00059
40053000	Calciolândia	São Miguel	290,95	39,50	123,01	0,42	0,035	0,00099
40060001	Tapiraí-Jusante	Perdição	535,54	45,77	303,38	0,57	0,082	0,003329
40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	9.320,93	272,98	5.409,67	0,58	0,041	0,000422
40080000	Taquaral	Jorge Grande	654,97	69,15	359,45	0,55	0,024	0,000594
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	13.206,91	372,69	7523,34	0,57	0,034	0,000341
40150000	Carmo do Cajuru	Pará	2.499,08	112,72	1640,22	0,66	0,046	0,001134
40170000	Marilândia (ponte br-494)	Itapecerica	925,55	58,29	612,03	0,66	0,038	0,002258
40185000	Pari	Itapecerica	1.926,88	69,19	1.259,91	0,65	0,039	0,00188
40300001	Jaguaruna-Jusante	São João	1.533,19	109,46	976,60	0,64	0,048	0,001706
40330000	Velho da Taipa	Pará	7.327,17	209,20	4.652,75	0,63	0,040	0,000837
40400000	Estação Alvaro da Silveira	Lambari	1.772,21	115,77	1.126,50	0,63	0,041	0,001654
40500000	Martinho Campos	Picão	762,84	60,80	362,30	0,47	0,016	0,001017
40530000	Abaeté	Marmelada	447,94	55,17	296,26	0,66	0,044	0,001499
40549998	S. Brás do Suacuí-Montante	Paraopeba	429,83	50,47	332,77	0,77	0,045	0,00037
40680000	Entre Rios de Minas	Brumaco	494,73	40,39	366,48	0,74	0,028	0,001384
40710000	Belo Vale	Paraopeba	2.717,37	96,46	1.972,31	0,72	0,040	0,000101
40740000	Alberto Flores	Paraopeba	3.894,04	159,53	2.802,90	0,72	0,047	0,000397
40770000	Conceição do Itagua	Manso	729,93	50,84	538,02	0,74	0,061	0,002732
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	5.920,13	205,39	4.297,53	0,72	0,050	0,000421
40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	8.653,0	327,23	6.292,14	0,73	0,047	0,000369
40930000	Barra do Funchal	Indaiá	8.53,59	59,79	559,52	0,65	0,060	0,001848
40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaiá	1.699,44	146,68	1.061,94	0,62	0,044	0,001304
40975000	Fazenda São Félix	Borrachudo	674,57	89,95	395,62	0,59	0,044	0,004382

A densidade de drenagem variou de 0,42 a 0,77 km km<sup>-2</sup>. Esses valores foram influenciados pela escala dos mapas utilizados para a geração do MDEHC, que no presente trabalho foi de 1:250.000. Nessa mesma bacia, Euclides et al. (2001) encontraram valores de densidade de drenagem que variaram de 0,38 a 0,81 km km<sup>-2</sup>, porém neste trabalho as características físicas foram obtidas por processos manuais.

Os valores de declividade média variaram de 1,6% até 8,2%, sendo a declividade média da área em estudo em torno de 3,8%. Os valores de declividade média dos cursos d'água principais variaram de 0,03% a 0,43%.

No Quadro 9 estão apresentados os valores de precipitação média pluvial da bacia em estudo. Pode-se verificar que a precipitação total anual variou de 1.359,5 a 1.727,1 mm, enquanto a precipitação do semestre mais seco teve variação de 150,9 a 250,8 mm e a do trimestre mais seco, de 28,5 a 42,9 mm.

Quadro 9 – Características de precipitação média nas áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas na regionalização

Código	Nome da estação	Curso d'água	Precipitação média (mm)		
			Total Anual (Pa)	Semestre mais seco (Pss)	Trimestre mais seco (Pts)
40025000	Vargem Bonita	São Francisco	1485,8	238,8	40,8
40032000	Fazenda Samburá	Samburá	1499,9	231,3	40,5
40037000	Fazenda da Barra	Santo Antonio	1487,1	228,9	40,5
40040000	Fazenda Ajudas	Ajudas	1464,3	212,1	37,7
40050000	Iguatama	São Francisco	1359,5	195,7	36,67
40053000	Calciolândia	São Miguel	1453,0	198,6	37,15
40060001	Tapiraí-Jusante	Perdição	1727,1	250,8	42,8
40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	1461,7	191,8	36,8
40080000	Taquaral	Jorge Grande	1466,5	197,8	35,6
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	1443,5	167,2	31,2
40150000	Carmo do Cajuru	Pará	1428,8	174,3	38,0
40170000	Marilândia (ponte br-494)	Itapecerica	1438,4	182,4	36,1
40185000	Pari	Itapecerica	1426,5	179,7	35,7
40300001	Jaguaruna-Jusante	São João	1417,3	167,1	28,6
40330000	Velho da Taipa	Pará	1436,5	161,8	29,9
40400000	Estação Alvaro da Silveira	Lambari	1453,5	175,6	34,3
40500000	Martinho Campos	Picão	1362,0	172,5	32,0
40530000	Abaeté	Marmelada	1383,7	150,9	28,5
40549998	S. Brás do Suacuí-Montante	Paraopeba	1474,3	206,3	40,6
40680000	Entre Rios de Minas	Brumaco	1439,0	209,7	42,9
40710000	Belo Vale	Paraopeba	1522,6	196,5	36,1
40740000	Alberto Flores	Paraopeba	1484,6	180,5	32,0
40770000	Conceição do Itagua	Manso	1547,2	183,1	33,4
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	1526,3	171,2	30,6
40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	1438,1	154,1	29,7
40930000	Barra do Funchal	Indaiá	1574,3	212,0	40,3
40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaiá	1495,6	185,6	35,6
40975000	Fazenda São Félix	Borrachudo	1460,9	151,1	33,4

### 4.3. Preenchimento de falhas

As informações referentes às estações utilizadas no preenchimento de falhas das séries de vazões mínimas com sete dias de duração considerando o período anual estão apresentadas no Quadro 10, bem como as equações de regressão, valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o período de dados preenchidos nas estações com falhas.

Todas as informações relativas ao preenchimento de falhas das séries de vazões dos períodos trimestrais estão apresentadas nos Quadros 1A, 2A, 3A e 4A, do Apêndice A.

As informações relativas ao preenchimento de falhas nas séries de precipitação total anual ( $P_a$ ) estão apresentadas no Quadro 11 e aquelas pertinentes ao preenchimento de falhas nas séries de precipitação do semestre mais seco ( $P_{ss}$ ) e do trimestre mais seco ( $P_{ts}$ ), nos Quadros 5A e 6A, do Apêndice A. Os dados originais e os dados preenchidos de vazão e de precipitação estão apresentados nos Quadros 1B a 8B, do Apêndice B.

Quadro 10 – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração, considerando-se o período anual

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	$R^2$	Período preenchido
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	40740000	$y = 0,12x - 0,15$	0,87	1978, 1979, 1980, 1981 e 1982
40710000	40850000	$y = 0,35x + 3,01$	0,89	1991 e 1998
40740000	40800001	$y = 0,64x + 4,59$	0,95	1989, 1990, 1991 e 1992
40770000	40740000	$y = 0,33x - 4,15$	0,85	1985, 1986 e 1993 a 2001
40800001	40740000	$y = 1,50x - 5,63$	0,95	1995
40850000	40810000	$y = 1,32x + 3,86$	0,93	1979, 1993 e 1999
<b>REGIÃO II</b>				
40170000	40185000	$y = 0,46x + 0,23$	0,91	1979
40300001	40330000	$y = 0,22x - 1,75$	0,80	1978, 1985, 1996 e 1997
40400000	40500000	$y = 2,40x + 1,32$	0,71	1982, 1983, 1985 a 1987, 1989, 1990, 1994, 1996 e 1999
40500000	40330000	$y = 0,09x - 0,79$	0,72	1978, 1979
<b>REGIÃO III</b>				
40032000	40050000	$y = 0,15x + 2,94$	0,91	1980, 1991, 1992 e 1995 a 1999
40037000	40050000	$y = 0,15x + 0,42$	0,84	1982, 1983, 1984 e 1985
40040000	40050000	$y = 0,05x - 0,11$	0,81	1997
40053000	40060001	$y = 0,28x - 0,92$	0,76	1991 e 1992
40070000	40100000	$y = 0,77x + 3,55$	0,98	1990, 1992 e 2002

Quadro 11 – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de precipitação total anual (Pa)

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R <sup>2</sup>	Período preenchido
01845014	02044026	Ponderação regional	0,73	1981, 1984 a 1987, 1992 e 1993
	02045001		0,87	
	02045013		0,85	
	02046007		0,71	
01943000	01944027	$y = 0,72x + 452,94$	0,70	1981
01943000	02044040	$y = 0,85x + 375,38$	0,77	1990 a 1992
01944007	01944004	Ponderação Regional	0,80	1980, 1982, 1983, 1985 e 1991
	01944010		0,78	
	01944011		0,70	
	01944026		0,77	
	01944027		0,76	
	02044003		0,89	
	02044021		0,77	
02044026	0,80			
01944010	01944004	Ponderação Regional	0,82	1981, 1985, 1986 e 1991
	01944007		0,78	
	01944011		0,79	
	01944026		0,80	
	01944027		0,77	
	01944032		0,70	
	02044002		0,86	
01944011	01944004	Ponderação Regional	0,85	1991, 1996 e 1998
	01944026		0,88	
	01944032		0,82	
	01945035		0,84	
	02044002		0,83	
	02044021		0,84	
	02044026		0,82	
01944021	01944011	Ponderação Regional	0,75	1980 e 1982
	01944032		0,83	
	01945035		0,86	
	02044002		0,74	
	02044003		0,75	
	02044006		0,72	
	02045013		0,75	
01944026	01944010	Ponderação Regional	0,80	1982 e 1985
	01944011		0,88	
	01944027		0,86	
	02044002		0,82	
	02044003		0,86	
	02044021		0,84	
	02044026		0,81	
01944027	01944004	Ponderação Regional	0,92	1990 a 1993
	01944026		0,86	
	02044003		0,87	
	02044021		0,87	
	02044024		0,83	
	02044026		0,90	
	01944032		01944011	
01944032	01944021	0,83		
	01945035	0,89		
	02044002	0,79		
	02044003	0,80		
	02044008	0,71		
01945035	01944011	Ponderação Regional	0,84	1982, 1984, 1986, 1987 e 1989 a 1991
	01944021		0,86	
	01944027		0,74	
	01944032		0,89	
	02044002		0,76	
	02044003		0,88	
	02044006		0,87	
01946000	01946009	$y = 0,89x + 383,67$	0,78	1982, 1988, 1990, 1991 e 1993
01946009	02044003	$y = 0,75x + 475,15$	0,73	1992

Continua...

Quadro 11 – Cont.

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R <sup>2</sup>	Período preenchido
02044002	01944004	Ponderação regional	0,85	1978 e 1988
	01944010		0,86	
	01944011		0,83	
	01944021		0,74	
	01944026		0,82	
	02044003		0,82	
02044003	02044006	Ponderação regional	0,86	1987 a 1991, 1995 a 1997 e 2001
	01944032		0,87	
	01945035		0,80	
	01946009		0,88	
	02044002		0,82	
	02044027		0,80	
	02044040		0,83	
	02044042		0,89	
02044006	02045005	Ponderação regional	0,83	1993 a 1995, 1997 e 1998
	01945035		0,87	
	02044002		0,86	
	02044003		0,79	
	02044007		0,77	
	02044008		0,75	
	02044016		0,79	
	02044021		0,72	
02044007	02044026	Ponderação regional	0,78	1980 e 1989 a 1992
	01944026		0,71	
	02044002		0,76	
	02044003		0,75	
02044008	02044006	Ponderação regional	0,77	1982, 1987, 1989 a 1992 e 1996
	02044040		0,79	
	01944027		0,74	
	01944032		0,71	
	02044003		0,75	
02044012	02044008	Ponderação regional	0,75	1986
	01944004		0,78	
	01944027		0,79	
02044016	02044003	Ponderação regional	0,70	1984, 1990 e 1996
	02044008		0,77	
	01945035		0,76	
	02044002		0,72	
02044020	02044006	Ponderação regional	0,79	1983, 1986, 1987 e 1989 a 1993
	02044021		0,72	
02044024	02044002	Ponderação regional	$y = 0,74x + 376,22$	1980, 1983, 1987 e 1990
	01944004		0,80	
	01944027		0,83	
	02044008		0,72	
	02044012		0,79	
02044026	02044021	Ponderação regional	0,77	2002
	01845014		0,89	
	01944004		0,80	
	01944007		0,81	
	01944010		0,82	
	01944011		0,81	
	01944026		0,90	
02044027	01944027	Ponderação regional	0,80	1989, 1997 e 2000 a 2002
	01944026		0,88	
	02044008		0,72	
02044040	02045012	Ponderação regional	0,71	1980 a 1986, 1993, 1996 e 1997
	01943000		0,77	
	02044003		0,78	
02044042	02044007	Ponderação regional	0,79	1988
	02045005		$y = 0,89x + 115,88$	
02044042	02044003	Ponderação regional	0,89	1992
	02045005		0,76	

Continua...

Quadro 11 – Cont.

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R <sup>2</sup>	Período preenchido
02045001	01845014	Ponderação regional	0,87	1980, 1987 e 1990 a 1994
	01945035		0,78	
	02044006		0,70	
	02045005		0,78	
	02045013		0,82	
	02046007	0,72		
02045005	01944026	Ponderação regional	0,75	1980
	01945035		0,72	
	02044003		0,83	
	02044006		0,76	
	02044008		0,74	
	02044042	0,76		
02045010	02044021	$y = 0,62x + 389,37$	0,71	1990 e 1991
02045012	02044027	$y = 0,96x - 17,13$	0,71	1978, 1983, 1991 e 1996
02045013	01845014	Ponderação regional	0,85	1979
	01944032		0,76	
	01945035		0,76	
	02044003		0,72	
	02044006		0,70	
	02044008	0,72		

#### 4.4. Regionalização de vazões mínimas baseada na utilização de equações de regressão regionais (ELETROBRÁS, 1985)

##### 4.4.1. Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas

Na identificação das regiões homogêneas, fizeram-se tentativas para reunir todas as estações fluviométricas em uma ou duas regiões, entretanto os modelos de regressão apresentaram coeficientes de determinação ajustados (R<sup>2</sup>a) insatisfatórios, com valores inferiores a 0,7. A bacia foi, então, dividida em mais regiões, baseando-se na distribuição geográfica das estações, na homogeneidade das características de relevo e climáticas, na similaridade dos coeficientes de regressão “β<sub>1</sub>”, nos coeficientes de determinação das equações obtidas para cada região e na dispersão dos valores observados em relação aos estimados pelos modelos de regressão selecionados para cada região homogênea.

Mesmo considerando-se todos os critérios citados anteriormente, um número mínimo de estações em cada região homogênea precisou ser respeitado, pois, em caso contrário, a utilização de número maior de variáveis explicativas nos modelos de regressão múltipla testados ficaria impossibilitada. Procurou-se, então, não individualizar regiões com menos do que sete estações fluviométricas, o que



proporcionaria a utilização de pelo menos três variáveis explicativas nos modelos de regressão.

Após diversas tentativas, identificaram-se três regiões hidrológicamente homogêneas para as vazões estudadas, sendo duas regiões com sete estações fluviométricas cada e uma com 14 estações, tal como apresentado na Figura 13. Nessa figura, verifica-se que as áreas das regiões homogêneas são delimitadas pela estação fluviométrica localizada mais a jusante, entretanto é possível fazer uma extrapolação das regiões homogêneas identificadas até os limites do Reservatório de Três Marias, tal como apresentado na Figura 14, considerando-se que cada região apresenta características físicas e climáticas homogêneas.

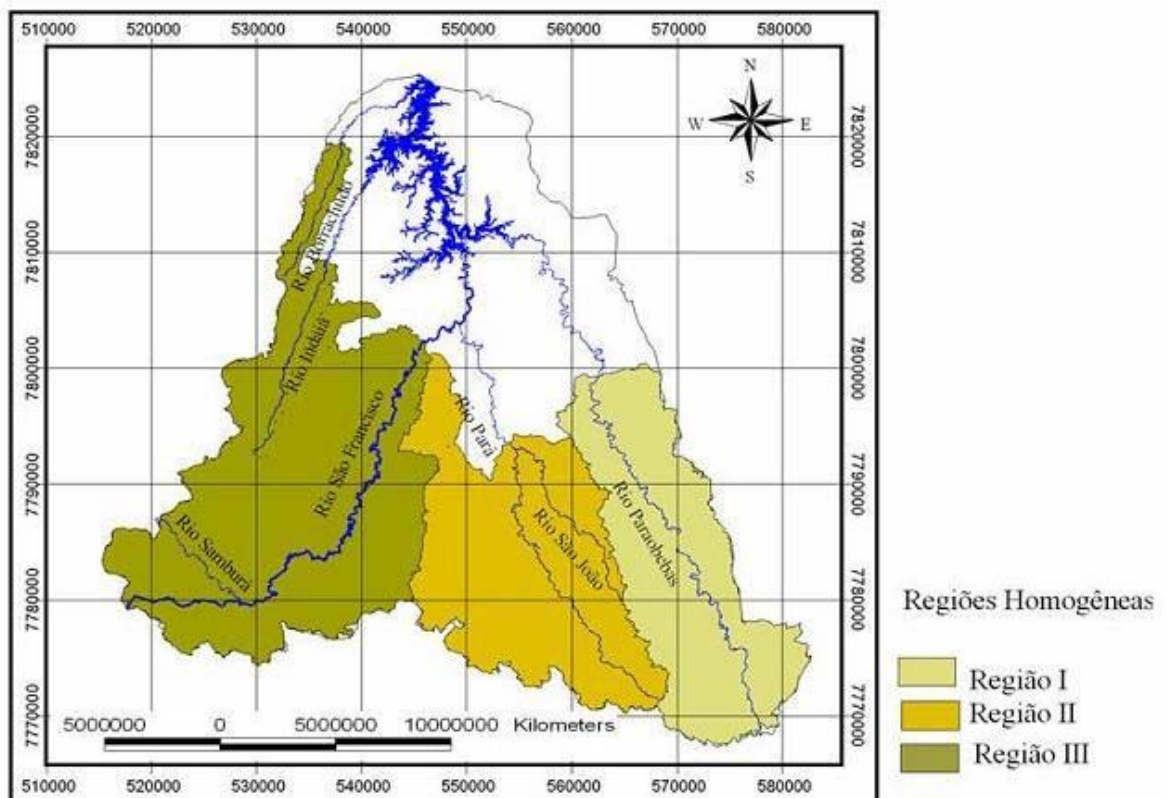


Figura 13 – Delimitação das regiões hidrológicamente homogêneas para vazões mínimas.

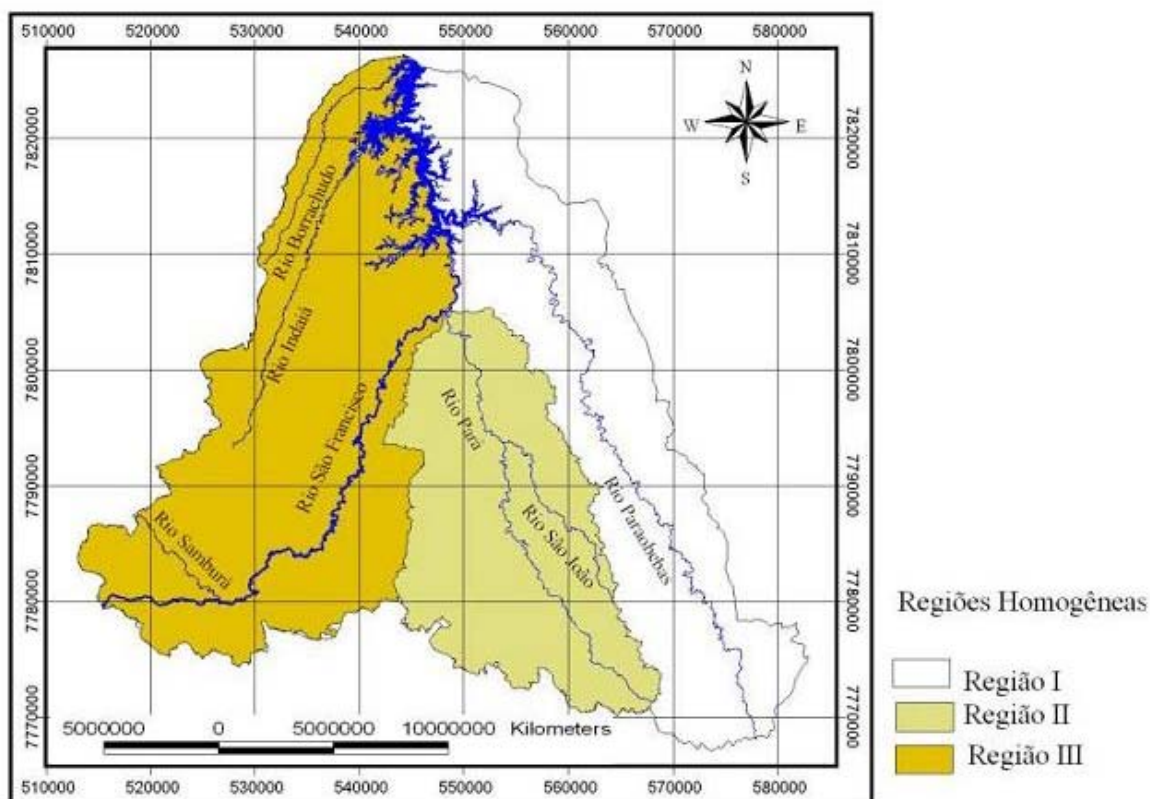


Figura 14 – Delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas para vazões mínimas, considerando-se a extrapolação das regiões homogêneas identificadas até os limites do Reservatório de Três Marias.

Na identificação de regiões homogêneas foram testados diversos modelos de regressão, utilizando-se várias combinações de variáveis explicativas (características físicas e climáticas), sendo que as equações recomendadas para estimar as vazões médias mínimas nas três regiões homogêneas, considerando-se os períodos trimestral e anual, estão apresentadas no Quadro 12. Analisando os modelos recomendados no Quadro 12, verifica-se que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento da vazão mínima nas regiões homogêneas I e II, considerando-se os períodos analisados. Na região homogênea III, a área de drenagem foi a melhor variável explicativa, entretanto a precipitação do semestre mais seco e a densidade de drenagem também foram variáveis explicativas das equações encontradas.

De posse das equações recomendadas, estimaram-se vazões ( $Q_{7\text{ Est}}$ ) nas seções correspondentes às estações fluviométricas, as quais foram comparadas com as vazões observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}$ ), conforme apresentado no Quadro 13.

Quadro 12 – Modelos de regressão recomendados para a representação das vazões médias mínimas ( $Q_7, m^3 s^{-1}$ ) e parâmetros estatísticos a eles associados nas três regiões hidrologicamente homogêneas, considerando-se os períodos trimestral e anual

Região	Modelos recomendados	R <sup>2</sup> a	σF	F(%)
<b>Q<sub>7,10</sub> - 1º trimestre</b>				
I	$Q_{\min} = 0,019467 \cdot A^{0,9562}$	0,99	1,045	0,000002
II	$Q_{\min} = 0,0085 \cdot A^{1,037479}$	0,97	1,136	0,0026
III	$Q_{\min} = 0,000009 \cdot A^{1,05655} \cdot P_{SS}^{1,992988}$	0,99	1,14	$3,72 \times 10^{-8}$
<b>Q<sub>7,10</sub> - 2º trimestre</b>				
I	$Q_{\min} = 0,014788 \cdot A^{0,93367}$	0,99	1,54	0,000004
II	$Q_{\min} = -0,90319 + 0,008657 \cdot A$	0,99	3,62	0,000004
III	$Q_{\min} = 5,587024 + 0,008675 \cdot A$	0,98	6,22	0,000167
<b>Q<sub>7,10</sub> - 3º trimestre</b>				
I	$Q_{\min} = 0,005286 \cdot A^{1,022885}$	0,98	1,16	0,000574
II	$Q_{\min} = -1,26204 + 0,006355 \cdot A$	0,99	1,26	0,000112
III	$Q_{\min} = 4,066810 + 0,005293 \cdot A$	0,97	4,24	0,000321
<b>Q<sub>7,10</sub> - 4º trimestre</b>				
I	$Q_{\min} = 0,010581 \cdot A^{0,929181}$	0,99	1,10	0,000122
II	$Q_{\min} = -1,30499 + 0,006483 \cdot A$	0,97	2,34	0,0022
III	$Q_{\min} = 3,889649 + 0,005107 \cdot A$	0,97	3,96	0,00265
<b>Q<sub>7,10</sub> - Anual</b>				
I	$Q_{\min} = 6,47 \times 10^{-08} \cdot A^{1,13182} \cdot P_{ts}^{1,974848}$	0,99	1,094	0,0013
II	$Q_{\min} = -1,47732 + 0,006022 \cdot A$	0,99	1,283	0,00016
III	$Q_{\min} = 5,30 \times 10^{-8} \cdot Dd^{4,35614} \cdot P_{SS}^{5,520539}$	0,86	1,585	0,66

Quadro 13 – Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e do erro porcentual (% dr) entre as vazões médias mínimas observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e estimadas ( $Q_{7\text{ Est}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pelos modelos de regressão obtidos para cada região homogênea, considerando-se o período anual

Região homogênea	Código da estação	Nome da estação	$Q_{7,10\text{ Obs}}$	$Q_{7,10\text{ Est}}$	r.p.	% dr
Região I	40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	2,51	2,30	0,972	8,44
	40680000	Entre Rios de Minas	2,58	2,78	-0,85	-8,03
	40710000	Belo Vale	17,51	16,86	0,415	3,69
	40740000	Alberto Flores	22,22	21,42	0,404	3,59
	40770000	Conceição do Itaguá	3,21	3,31	-0,33	-3,048
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	27,36	30,99	-1,23	-11,77
	40850000	Ponte da Taquara	40,92	38,69	0,618	5,45
Região II	40150000	Carmo do Cajuru	15,97	13,57	1,472	15,04
	40170000	Marilândia (ponte br-494)	3,371	4,09	0,214	6,29
	40185000	Pari	8,93	10,12	-0,93	-13,39
	40300001	Jaguaruna-Jusante	7,65	7,75	-0,08	-1,25
	40330000	Velho da Taipa	42,36	42,64	-0,22	-0,65
	40400000	Estação Alvaro da Silveira	8,28	9,19	-0,71	-11,00
	40500000	Martinho Campos	2,92	3,11	0,15	-6,68
Região III	40025000	Vargem Bonita	0,62	0,93	-0,88	-49,97
	40032000	Fazenda Samburá	8,01	8,45	-0,12	-5,42
	40037000	Fazenda da Barra	5,28	6,07	-0,39	-14,95
	40040000	Fazenda Ajudas	2,96	2,96	0,01	0,01
	40050000	Iguatama	3,30	3,37	-0,20	-2,06
	40053000	Calciolândia	0,50	0,56	-0,24	-11,66
	40060001	Tapiraí-Jusante	4,51	4,84	-0,68	-7,20
	40070000	Ponte do Chumbo	45,49	46,20	-0,30	-1,54
	40080000	Taquaral	1,12	1,44	-0,55	-28,94
	40100000	Porto das Andorinhas	68,72	56,28	1,29	18,09
	40930000	Barra do Funchal	4,73	5,97	-0,51	-26,32
	40960000	Fazenda Bom Jardim	4,95	2,42	1,45	51,07
	40975000	Fazenda São Félix	2,22	1,37	1,04	38,22

Pode-se observar, pelos valores apresentados no Quadro 13, que a subdivisão da bacia hidrográfica em três regiões gerou valores aceitáveis para r.p. e % dr, concluindo-se, então, que, com base nos critérios adotados, as duas regiões podem ser consideradas hidrologicamente homogêneas. Apesar de terem sido encontrados desvios porcentuais (% dr) elevados em algumas estações, esses valores foram os melhores dentro de todas as possibilidades existentes em cada região homogênea. Portanto, caso as equações com esses desvios não fossem adotadas, nenhuma outra equação regional poderia ser apresentada. Para a tomada de decisão final sobre a definição de regiões homogêneas, adotou-se como referência a obtenção de valores de r.p. entre -1,5 e 1,5, que indicam boa estimativa do modelo de regressão (EUCLYDES et al., 1999), além de menores valores de % dr.

A estação Abaeté, situada na região homogênea III, foi retirada da análise por apresentar desvios altos em todos os modelos testados na identificação das regiões homogêneas. Sua retirada também possibilitou a obtenção de modelos com desvios baixos na região homogênea III.

Os resultados da aplicação dos modelos, considerando-se períodos trimestrais, estão apresentados nos Quadros 1C, 2C, 3C e 4C (Apêndice C).

As três regiões hidrologicamente homogêneas obtidas para a bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do Reservatório de Três Marias ficaram assim definidas:

- Região I: compreende os rios Paraopeba e Manso, estendendo-se até a estação Ponta da Taquara, que engloba as estações São Brás do Suaçuí Montante, Entre Rios de Minas, Belos Vale, Alberto Flores, Conceição do Itaguá, Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara, totalizando uma área de drenagem de 8.653 km<sup>2</sup>. Com a extrapolação da região homogênea até os limites do Reservatório de Três Marias, a área de drenagem da região totaliza 16.908 km<sup>2</sup>, aumentando em 95% a área de drenagem.

- Região II: compreende o leito principal do rio Pará, abrangendo os rios São João e Picão até o entroncamento do rio Pará com o rio São Francisco. As estações pertencentes a essa região são: Carmo do Cajuru, Marilândia, Pari, Jaguaruna – Jusante, Velho da Taipa, Estação Álvaro da Silveira e Martinho Campos, totalizando uma área de drenagem de 9.862 km<sup>2</sup>. Com a extrapolação da região homogênea até o rio São Francisco, a área de drenagem da região totaliza 12.236 km<sup>2</sup>, correspondendo a um aumento de 24% na área de drenagem.

- Região III: compreende os leitos principais dos rios São Francisco, Indaiá e Borrachudo. As estações pertencentes a essa região homogênea são: Vargem Bonita, Fazenda Samburá, Fazenda da Barra, Fazenda Ajudas, Iguatama, Calciolândia, Tapiraí – Jusante, Ponte do Chumbo, Taquaral, Porto das Andorinhas, Barra do Funchal, Fazenda Bom Jardim e Fazenda São Félix, totalizando área de drenagem da região de 15.884 km<sup>2</sup>. Extrapolando a região homogênea até os limites do Reservatório de Três Marias, a área de drenagem passa a ser de 20.869 km<sup>2</sup>, o que corresponde a um aumento de 31% na área de drenagem.

A área das regiões homogêneas totaliza 34.400 km<sup>2</sup>, sendo que a região III tem a maior área de drenagem. Não foi possível subdividir a região III devido à distribuição geográfica das estações, pois os rios Indaiá e Borrachudo apresentam deficiências de estações fluviométricas. Isso teve como reflexo maior erro porcentual médio para as estações pertencentes a essa região, em decorrência do pior ajuste dos modelos de

regressão múltipla. Com a extrapolação das regiões homogêneas até os limites do Reservatório de Três Marias, a área de drenagem da bacia totaliza 50.015 km<sup>2</sup>, o que representa aumento de 45% na área de abrangência do estudo.

Outro fato que deve ser destacado refere-se à adoção de um período-base comum para todas as estações utilizadas no estudo de regionalização, que foi de 1978 a 2002. Em razão dessa escolha, muitas estações foram descartadas da análise por não apresentar dados no período, proporcionando redução expressiva no número de estações efetivamente utilizadas na regionalização.

A escolha do período-base dos dados também foi influenciada pelos diversos reservatórios instalados na bacia, visto que no estudo foram usados apenas dados posteriores à entrada em operação do reservatório mais recente, no ano de 1978.

#### **4.4.2. Regionalização da $Q_{7,10}$**

As vazões mínimas com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), considerando os períodos trimestral e anual, resultantes da aplicação das distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull, nas três regiões homogêneas, estão apresentadas nos Quadros 1D, 2D, 3D, 4D e 5D (Apêndice D).

A distribuição que melhor se ajustou aos períodos analisados foram a Log-Normal e três parâmetros, visto que apresentaram significância a 20% de probabilidade, pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, em todas as estações. Em estudo na sub-bacia hidrográfica do rio Paranã, verificou-se que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros apresentaram melhores ajustes nas duas regiões homogêneas identificadas no estudo. Baena (2002), em estudo de regionalização de vazões na bacia do rio Paraíba do Sul, verificou que o modelo Log-Normal a três parâmetros foi o que melhor se ajustou aos dados de todas as estações fluviométricas nas quatro regiões homogêneas identificadas na área em estudo. Silva et al. (2002a), em trabalho de regionalização na sub-bacia 51, também testaram vários modelos probabilísticos para vazões mínimas, verificando que aqueles que melhor se ajustaram foram a Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros e Weibull. Já Euclides et al. (2001), trabalhando com regionalização hidrológica na bacia hidrográfica do Alto São Francisco, selecionaram a distribuição de Weibull para representar os eventos mínimos.

No Quadro 14 estão representados os modelos de regressão recomendados para estimar a vazão específica com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $q_{7,10}$ ) nas três regiões hidrologicamente homogêneas, considerando-se os períodos trimestral e anual.

Quadro 14 – Modelos de regressão recomendados para a estimativa da vazão específica mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $q_{7,10}$ ,  $Ls^{-1}km^{-2}$ ) e parâmetros estatísticos a eles associados nas três regiões hidrologicamente homogêneas, considerando-se os períodos trimestral e anual

Região	Modelos recomendados	R <sup>2</sup> a	σF	F(%)
<b>q<sub>7,10</sub> - 1º trimestre</b>				
I	$q_{7,10} = 0,013792 + 3,4 \times 10^{-7} \cdot A$	0,77	5,084	0,06
II	$q_{7,10} = (199,7827 - 169,888 \cdot Dd)^{-1}$	0,91	4,25	2,46
III	$q_{7,10} = (396,7289 - 0,11783 \cdot L - 160,879 \cdot Dd - 5,88398 \cdot Pts)^{-1}$	0,80	20,7	7,08
<b>q<sub>7,10</sub> - 2º trimestre</b>				
I	$q_{7,10} = (0,003589 \cdot A + 0,070393 \cdot Pa)^{-1}$	0,87	4,03	0,212
II	$q_{7,10} = (481,5702 - 69,3885 \cdot Dd - 0,21377 \cdot Pa)^{-1}$	0,90	3,085	0,241
III	$q_{7,10} = (944,5033 - 551,191 \cdot Dd - 12,7866 \cdot Pts)^{-1}$	0,81	27,83	0,0281
<b>q<sub>7,10</sub> - 3º trimestre</b>				
I	$q_{7,10} = (237,30 + 0,072844 \cdot A - 2,23405 \cdot L)^{-1}$	0,86	7,51	0,77
II	$q_{7,10} = (-390,038 \cdot Dd + 2,530289 \cdot Pss)^{-1}$	0,75	9,13	0,056
III	$q_{7,10} = (2362,833 - 1305,14 \cdot Dd - 34,9943 \cdot Pa)^{-1}$	0,76	4,13	0,069
<b>q<sub>7,10</sub> - 4º trimestre</b>				
I	$q_{7,10} = 1,24 \times 10^{-20} \cdot L^{0,997224} \cdot Pts^{6,791880}$	0,91	2,48	1,154
II	$q_{7,10} = 0,000010 \cdot Dd^{0,444540} \cdot Pts^{1,185294}$	0,76	-2,43	1,138
III	$q_{7,10} = 1,98 \times 10^{-11} \cdot Dd^{3,136936} \cdot Pts^{5,781622}$	0,72	-9,74	1,67
<b>q<sub>7,10</sub> - Anual</b>				
I	$q_{7,10} = 2,72 \times 10^{-11} \cdot L^{0,398247} + Pts^{3,286656}$	0,84	1,65	1,092
II	$q_{7,10} = 0,001137 + 0,000015 \cdot L$	0,97	6,095	0,002
III	$q_{7,10} = 4,10 \times 10^{-10} \cdot Dd^{2,768531} \cdot Pts^{4,897251}$	0,71	-1,09	1,77

No Quadro 15, encontram-se os valores das vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), estimados com a utilização da metodologia tradicional ( $Q_{7,10}$  Est,  $m^3 s^{-1}$ ), valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  nas 28 estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{7,10}$  obs,  $m^3 s^{-1}$ ) e erro relativo (%) da comparação dos valores observados com os estimados para os períodos trimestral e anual.

Quadro 15 – Valores de  $Q_{7,10}$  estimados com a utilização da metodologia tradicional ( $Q_{7,10}$  Est,  $m^3 s^{-1}$ ), valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  nas estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{7,10}$  obs,  $m^3 s^{-1}$ ) e erro relativo (%) da comparação dos valores verificados com os estimados para os períodos trimestral e anual

Região homogênea	Código da estação	$Q_{7,10}$ - 1º trimestre			$Q_{7,10}$ - 2º trimestre			$Q_{7,10}$ - 3º trimestre			$Q_{7,10}$ - 4º trimestre			$Q_{7,10}$ – Anual		
		$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relat. (%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relat. (%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relat. (%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relat. (%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relat. (%)
Região I	40549998	4,23	5,87	38,66	2,90	4,08	40,82	1,68	1,83	9,06	1,65	1,40	15,43	1,53	2,25	47,76
	40680000	4,01	6,74	68,00	2,71	4,80	77,38	1,69	1,90	12,63	1,24	1,44	15,60	1,31	2,10	59,94
	40710000	25,38	34,97	37,76	17,00	23,24	36,69	13,29	12,37	6,92	12,74	12,13	4,78	11,48	15,74	37,12
	40740000	38,56	48,55	25,92	23,14	32,87	42,01	15,70	23,66	50,70	15,82	16,12	1,90	14,38	20,84	44,95
	40770000	6,99	9,89	41,41	4,92	6,54	32,99	1,94	2,30	18,37	1,06	1,06	0,50	1,16	1,20	3,45
	40800001	51,29	69,73	35,96	28,68	46,00	60,41	18,16	28,23	55,43	18,87	21,98	16,53	16,12	21,44	33,02
	40850000	81,04	93,88	15,85	41,24	65,41	58,60	27,51	38,27	39,12	27,23	25,02	8,10	25,01	36,65	46,58
Região II	40150000	13,23	28,51	115,58	12,51	19,17	53,25	11,39	13,61	19,53	10,75	15,25	41,84	13,09	7,07	46,00
	40170000	6,27	10,56	68,43	5,04	7,22	43,19	2,73	4,53	65,74	2,20	3,96	79,54	1,83	1,86	1,95
	40185000	12,25	21,56	76,08	8,89	14,65	64,87	5,44	9,57	75,94	4,32	5,20	20,45	3,71	4,19	12,83
	40300001	10,76	16,84	56,50	7,92	11,43	44,21	5,68	8,85	55,73	4,76	6,59	38,56	4,39	4,26	2,99
	40330000	46,77	79,00	68,91	40,74	56,03	37,52	33,29	44,75	34,45	28,50	44,33	55,51	31,08	31,32	0,77
	40400000	11,80	19,11	61,94	9,28	13,94	50,17	5,69	8,92	56,84	5,65	9,70	71,65	5,12	5,09	0,58
	40500000	3,24	6,36	96,13	3,01	4,83	60,55	1,93	3,01	55,95	1,93	2,89	50,14	1,71	1,56	8,49
Região III	40025000	5,12	5,60	9,48	3,17	3,69	16,52	2,27	2,39	5,12	2,35	2,71	15,19	2,14	2,52	17,75
	40032000	13,69	10,69	21,87	9,85	5,42	44,97	7,21	2,91	59,63	5,71	3,95	30,82	6,51	3,88	40,35
	40037000	10,14	16,50	62,65	6,61	11,05	67,16	4,37	5,20	18,91	3,89	4,35	11,94	3,97	4,12	3,80
	40040000	2,43	4,19	72,29	1,70	2,33	36,82	1,11	1,22	9,52	0,95	1,23	30,16	0,94	1,11	18,72
	40050000	55,89	76,51	36,90	37,18	34,62	6,87	27,04	17,03	37,03	24,61	22,45	8,79	24,70	23,06	6,61
	40053000	1,17	2,11	80,81	1,18	1,22	3,78	0,20	0,32	59,20	0,16	0,25	53,37	0,12	0,16	39,13
	40060001	6,88	11,27	63,78	5,60	6,50	15,97	4,04	4,49	11,16	3,81	4,95	30,00	3,74	4,55	21,76
	40070000	69,45	81,21	16,94	62,52	60,52	3,19	42,71	29,37	31,24	39,53	37,89	4,15	39,23	44,57	13,61
	40080000	4,24	7,25	71,05	1,87	2,16	15,69	0,80	0,99	23,60	0,52	0,78	49,71	0,57	0,84	47,37
	40100000	129,20	133,35	3,21	76,22	57,36	24,74	51,23	25,21	50,80	47,30	19,84	58,05	46,89	24,05	48,71
	40530000	2,36	3,85	62,92	1,18	2,07	75,80	0,37	0,60	62,16	0,18	0,25	38,89	0,18	0,21	18,64
	40930000	10,24	18,59	81,57	6,48	7,92	22,24	3,97	4,17	4,98	3,49	3,65	4,52	3,36	4,37	30,10
	40960000	14,97	25,98	73,57	6,80	7,45	9,51	3,51	4,21	19,87	2,82	3,89	37,80	2,67	3,85	43,98
	40975000	4,74	7,51	58,41	3,14	3,84	22,24	1,49	1,67	12,23	1,83	1,92	5,36	1,40	2,13	52,98
	<b>Erro médio %</b>		<b>52,02</b>			<b>39,22</b>			<b>34,35</b>			<b>28,55</b>			<b>26,78</b>	
<b>Coef. N-S.*</b>		<b>0,87</b>			<b>0,65</b>			<b>0,71</b>			<b>0,75</b>			<b>0,81</b>		

\*Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).



Analisando os resultados do Quadro 15, verificou-se que as vazões estimadas para o primeiro trimestre tiveram o maior erro relativo médio, apesar do maior valor do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe. As vazões estimadas para o período anual apresentaram o menor erro relativo médio.

No Quadro 16 está apresentada a comparação entre os valores das vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, calculadas com os modelos do Atlas (2005), com os valores obtidos com os modelos do presente trabalho e com os valores observados nas estações fluviométricas.

Quadro 16 – Comparação entre os valores estimados de  $Q_{7,10}$  obtidos no presente trabalho com os obtidos pelo Atlas (2005) ( $Q_{7,10 \text{ Est}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e valores de  $Q_{7,10}$  observados nas estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{7,10 \text{ obs}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

Regiões homogêneas	Código da estação	Q <sub>7,10</sub> - Anual		ATLAS (2005)		Presente Trabalho	
		Q <sub>7,10 obs</sub> s	Q <sub>7,10 est</sub>	Erro relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub>	Erro relat. (%)	
Região I	40549998	1,53	1,38	9,82	2,25	47,76	
	40680000	1,31	1,57	19,68	2,10	59,94	
	40710000	11,48	7,84	31,74	15,74	37,12	
	40740000	14,38	11,01	23,47	20,84	44,95	
	40770000	1,16	2,27	95,51	1,20	3,45	
	40800001	16,12	16,34	1,37	21,44	33,02	
	40850000	25,01	23,37	6,52	36,65	46,58	
Região II	40150000	13,09	4,20	67,94	7,07	46,00	
	40170000	1,83	2,01	10,17	1,86	1,95	
	40185000	3,71	3,89	4,85	4,19	12,83	
	40300001	4,39	3,00	31,75	4,26	2,99	
	40330000	31,08	10,92	64,88	31,32	0,77	
	40400000	5,12	3,42	33,20	5,09	0,58	
	40500000	1,71	1,24	27,16	1,56	8,49	
Região III	40025000	2,14	0,38	82,09	2,52	17,75	
	40032000	6,51	1,58	75,78	3,88	40,35	
	40037000	3,97	1,09	72,63	4,12	3,80	
	40040000	0,94	0,20	78,31	1,11	18,72	
	40050000	24,70	6,05	75,52	23,06	6,61	
	40053000	0,12	0,12	0,65	0,16	39,13	
	40060001	3,74	0,88	76,56	4,55	21,76	
	40070000	39,23	12,66	67,73	44,57	13,61	
	40080000	0,57	0,26	53,64	0,84	47,37	
	40100000	46,89	18,14	61,30	24,05	48,71	
	40530000	0,18	0,33	85,38	0,21	18,64	
	40930000	3,36	1,09	67,69	4,37	30,10	
	40960000	2,67	2,36	11,90	3,85	43,98	
	40975000	1,40	1,60	14,78	2,13	52,98	
<b>Erro médio (%)</b>				<b>44,72</b>	<b>26,78</b>		
<b>Coef. N-S.*</b>				<b>0,43</b>	<b>0,81</b>		

\*Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Pelos resultados apresentados no Quadro 16, percebe-se que no geral os modelos obtidos no presente trabalho foram mais eficientes que os do Atlas (2005). Isso decorre, principalmente, da adoção de diferentes períodos-base nos estudos de regionalização, que no Atlas (2005) foi de 1970 a 2002 e no presente trabalho, de 1978 a 2002, sendo que muitos reservatórios tiveram sua operação iniciada no período de 1970 a 1978. Outro possível fator interveniente nesses resultados é o fato de, no Atlas (2005), todas as características físicas terem sido obtidas por processos manuais, enquanto no presente trabalho se utilizou modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.

#### **4.4.3. Análise da variação da $Q_{7,10}$ considerando os períodos trimestral e anual**

No Quadro 17 estão apresentados os resultados da comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual para os postos fluviométricos utilizados no estudo, permitindo avaliar a variação da disponibilidade hídrica ao longo do ano. É necessário observar que a vazão mínima de um dos trimestres teria que coincidir com a vazão mínima anual, porém, como em cada um dos períodos foi escolhida uma distribuição probabilística que melhor se ajustava aos dados daquele período, a escolha da distribuição influenciou o valor estimado da vazão mínima para cada período, e a tendência mencionada anteriormente não foi obtida.

Os resultados encontrados demonstram considerável aumento na disponibilidade hídrica do primeiro e segundo trimestres, em comparação com os valores de  $Q_{7,10}$  do período anual, o que retrata a realidade, já que os meses de janeiro a março (primeiro trimestre) coincidem com os meses mais chuvosos do ano na região de estudo. Os valores encontrados foram de 82 a 1.733% maiores que os do período anual. Já no trimestre dos meses de abril, maio e junho, que apresentaram características de menores totais precipitados que o trimestre anterior, os valores encontrados foram de 35 a 885% superiores aos do período anual. No terceiro trimestre, os valores variaram de -34% até +185% em relação aos valores do período anual. Já no quarto trimestre os valores encontrados variaram de -37% até +115% em relação aos valores do período anual. Ressalta-se que o terceiro trimestre e o início do quarto coincidiram com o período de estiagem na bacia hidrográfica. Pode-se perceber, pelos resultados encontrados, que algumas estimativas de vazões para o terceiro e quarto trimestres exibiram valores negativos quando comparados com a  $Q_{7,10}$  do período anual. Isso ocorre porque esses valores foram estimados por modelos obtidos estatisticamente, e os coeficientes de

Quadro 17 – Comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual para os postos fluviométricos utilizados no estudo

Região homogênea	Código da estação	Q <sub>7,10</sub> - Anual	Q <sub>7,10</sub> - 1º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 2º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 3º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 4º trimestre	
		Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)
Região I	40549998	2,25	5,87	160,9	4,08	81,3	1,83	-18,7	1,40	-37,8
	40680000	2,10	6,74	221,0	4,80	128,6	1,90	-9,5	1,44	-31,4
	40710000	15,74	34,97	122,2	23,24	47,6	12,37	-21,4	12,13	-22,9
	40740000	20,84	48,55	133,0	32,87	57,7	23,66	13,5	16,12	-22,6
	40770000	1,20	9,89	724,2	6,54	445,0	2,30	91,7	1,06	-11,7
	40800001	21,44	69,73	225,2	46,00	114,6	28,23	31,7	21,98	2,5
	40850000	36,65	93,88	156,2	65,41	78,5	38,27	4,4	25,02	-31,7
Região II	40150000	7,07	28,51	303,3	19,17	171,1	13,61	92,5	15,25	115,7
	40170000	1,86	10,56	467,7	7,22	288,2	4,53	143,5	3,96	112,9
	40185000	4,19	21,56	414,6	14,65	249,6	9,57	128,4	5,20	24,1
	40300001	4,26	16,84	295,3	11,43	168,3	8,85	107,7	6,59	54,7
	40330000	31,32	79,00	152,2	56,03	78,9	44,75	42,9	44,33	41,5
	40400000	5,09	19,11	275,4	13,94	173,9	8,92	75,2	9,70	90,6
	40500000	1,56	6,36	307,7	4,83	209,6	3,01	92,9	2,89	85,3
Região III	40025000	2,52	5,60	122,2	3,69	46,4	2,39	-5,2	2,71	7,5
	40032000	3,88	10,69	175,5	5,42	39,7	2,91	-25,0	3,95	1,8
	40037000	4,12	16,50	300,5	11,05	168,2	5,20	26,2	4,35	5,6
	40040000	1,11	4,19	277,5	2,33	109,9	1,22	9,9	1,23	10,8
	40050000	23,06	76,51	231,8	34,62	50,1	17,03	-26,1	22,45	-2,6
	40053000	0,16	2,11	1218,8	1,22	662,5	0,32	100,0	0,25	56,3
	40060001	4,55	11,27	147,7	6,50	42,9	4,49	-1,3	4,95	8,8
	40070000	44,57	81,21	82,2	60,52	35,8	29,37	-34,1	37,89	-15,0
	40080000	0,84	7,25	763,1	2,16	157,1	0,99	17,9	0,78	-7,1
	40100000	24,05	133,35	454,5	57,36	138,5	25,21	4,8	19,84	-17,5
	40530000	0,21	3,85	1733,3	2,07	885,7	0,60	185,7	0,25	19,0
	40930000	4,37	18,59	325,4	7,92	81,2	4,17	-4,6	3,65	-16,5
	40960000	3,85	25,98	574,8	7,45	93,5	4,21	9,4	3,89	1,0
	40975000	2,13	7,51	252,6	3,84	80,3	1,67	-21,6	1,92	-9,9

correlação ajustados variavam de 0,71 a 0,97, de acordo com o Quadro 14. Assim, as variações encontradas podem ser acima ou abaixo da referência, que é a  $Q_{7,10}$  do período anual.

#### 4.4.4. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$

Os modelos de regressão recomendados para a representação das vazões correspondentes aos níveis de permanência de 90% e 95%, que apresentaram ajustes satisfatórios e, portanto, possíveis de serem aplicados nas três regiões hidrologicamente homogêneas, e os parâmetros estatísticos a eles associados são mostrados no Quadro 18. Os valores observados de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  em cada uma das estações fluviométricas utilizadas no estudo estão apresentados nos Apêndices 6D e 7D, respectivamente.

Quadro 18 – Modelos de regressão recomendados para a estimativa das vazões correspondentes aos níveis de 90% ( $Q_{90}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ) de permanência e parâmetros estatísticos a eles associados, nas três regiões hidrologicamente homogêneas

Região	Modelos recomendados	R <sup>2</sup> a	σF	F(%)
<b>Q<sub>90</sub></b>				
I	$Q_{90} = 0,009161 \cdot A^{0,944310}$	0,99	1,120	0,91
II	$Q_{90} = -1,22161 + 0,005675 \cdot A + 0,570216 \cdot Pts$	0,98	3,621	0,98
III	$Q_{90} = -20,4813 + 0,005591 \cdot A + 110,7343 \cdot Sm$	0,97	3,855	0,86
<b>Q<sub>95</sub></b>				
I	$Q_{95} = 0,007456 \cdot A^{0,948294}$	0,98	1,143	0,03
II	$Q_{95} = 0,000976 \cdot A^{1,199696}$	0,97	1,191	1,147
III	$Q_{95} = -19,4129 + 0,005125 \cdot A + 0,535686 \cdot Pts$	0,97	3,316	0,005

Analisando os resultados apresentados no Quadro 18, evidencia-se que a área de drenagem foi a variável explicativa mais importante, estando presente em todos os modelos. Em algumas situações houve a necessidade de inclusão da precipitação do trimestre mais seco e declividade média da bacia.

No Quadro 19 estão apresentados os valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  resultantes da aplicação dos modelos obtidos no presente trabalho, com a utilização da metodologia tradicional, e os valores observados nas estações fluviométricas.

Quadro 19 – Vazões mínimas correspondentes aos níveis de permanência de 90% e 95%, estimados com a utilização da metodologia tradicional ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  Est,  $m^3 s^{-1}$ ) e valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  observados nas séries das estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  obs,  $m^3 s^{-1}$ )

Região homogênea	Código da estação	$Q_{90}$			$Q_{95}$		
		$Q_{90}$ obs	$Q_{90}$ est	Erro relat. (%)	$Q_{95}$ obs	$Q_{95}$ est	Erro relat. (%)
Região I	40549998	2,67	2,81	5,41	2,23	2,34	4,94
	40680000	2,92	3,21	10,06	2,35	2,68	13,79
	40710000	18,93	16,03	15,32	16,14	13,46	16,59
	40740000	23,40	22,51	3,80	19,98	18,93	5,21
	40770000	5,12	4,63	9,46	4,39	3,87	11,74
	40800001	30,31	33,43	10,31	24,88	28,17	13,22
	40850000	45,15	47,85	5,98	38,09	40,37	6,00
Região II	40150000	17,08	13,84	19,01	15,56	11,63	25,20
	40170000	4,73	4,35	7,87	3,91	3,53	9,65
	40185000	8,48	10,39	22,54	7,12	8,52	19,70
	40300001	7,95	8,02	0,82	6,69	6,47	3,25
	40330000	42,51	42,92	0,98	38,79	42,29	9,02
	40400000	8,80	9,46	7,45	7,45	7,70	3,36
	40500000	2,81	3,37	20,05	2,46	2,80	13,72
Região III	40025000	3,22	4,50	39,80	2,80	3,99	42,62
	40032000	8,71	6,59	24,31	7,80	5,88	24,69
	40037000	5,59	6,90	23,37	5,06	6,15	21,54
	40040000	1,50	2,44	62,22	1,27	2,07	62,32
	40050000	35,17	27,82	20,90	31,38	24,97	20,44
	40053000	0,46	0,95	108,79	0,34	0,66	97,01
	40060001	5,09	6,99	37,28	4,64	6,29	35,59
	40070000	56,98	53,41	6,26	51,63	48,08	6,88
	40080000	1,42	1,83	28,96	1,11	2,12	90,31
	40100000	67,77	72,31	6,70	60,81	65,03	6,94
	40530000	0,85	0,92	8,88	0,58	1,06	81,82
	40930000	5,69	7,39	29,87	4,96	6,59	33,00
	40960000	6,06	7,10	17,08	4,92	8,37	69,96
40975000	12,73	2,39	81,21	11,24	1,94	82,77	
<b>Erro médio %</b>		<b>22,67</b>			<b>29,69</b>		
<b>coef. N-S.*</b>		<b>0,97</b>			<b>0,97</b>		

\*Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

No Quadro 19 é possível verificar que os valores estimados pelos modelos encontram-se próximos aos valores observados nas estações fluviométricas, mostrando que os modelos obtidos para a regionalização dessas vazões são eficientes, fato comprovado pelos baixos valores de erro relativo e elevados valores do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe.

## **4.5. Regionalização de vazões mínimas baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas**

### **4.5.1. Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando-se períodos trimestral e anual**

No Quadro 20 estão apresentados os valores estimados das vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$  Est), obtidos com base na metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informações geográficas, nos 24 postos fluviométricos, cujas vazões foram supostas como desconhecidas apenas para efeito de teste nas comparações entre os valores das vazões estimadas com a aplicação da metodologia citada e os valores obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  ( $Q_{7,10}$  Obs).

Os resultados apresentados no Quadro 20 foram obtidos pela aplicação das equações 28, 29 e 30, após o enquadramento de cada caso específico, de acordo com a sua localização em relação aos postos fluviométricos existentes na rede de drenagem. Procurou-se contemplar as quatro situações abordadas na metodologia, tendo sido utilizados os valores de  $Q_{7,10}$  trimestral e anual, obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$ , nas estações fluviométricas da bacia em estudo.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 20, observou-se que, na bacia hidrográfica estudada, a metodologia em questão apresentou melhor estimativa da vazão (menor erro relativo) nas situações que se enquadram no caso 2. Nesses casos, a vazão na seção sem observações foi obtida pela interpolação de duas vazões conhecidas, uma a montante e outra a jusante da seção analisada.

Nos casos 1 e 3, as vazões estimadas apresentaram maior erro relativo que no caso 2, o que demonstrou menor eficiência na estimativa das vazões por meio do procedimento da extrapolação de vazão a montante (caso 1) ou a jusante (caso 3), tomando-se como base o princípio da razão de áreas de drenagem entre os dois postos. Isso ocorreu quando as áreas das sub-bacias envolvidas tinham diferença proporcional muito grande, como na situação encontrada na estimativa da  $Q_{7,10}$  anual no local do posto 40960000, utilizando-se como estação para extrapolação a 4093000, com área muito inferior, caracterizada como caso 3, o que acarretou uma estimada de vazão com erro relativo muito alto (149,81%).

Quadro 20 – Valores de  $Q_{7,10}$  estimados com a utilização da metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informação geográfica ( $Q_{7,10 \text{ est}}, \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  nas estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{7,10 \text{ obs}}, \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

Código da estação	Caso*	$Q_{7,10}$ - 1º trimestre			$Q_{7,10}$ - 2º trimestre			$Q_{7,10}$ - 3º trimestre			$Q_{7,10}$ - 4º trimestre			$Q_{7,10}$ - Anual		
		$Q_{7,10 \text{ obs}}$	$Q_{7,10 \text{ est}}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10 \text{ obs}}$	$Q_{7,10 \text{ est}}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10 \text{ obs}}$	$Q_{7,10 \text{ est}}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10 \text{ obs}}$	$Q_{7,10 \text{ est}}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10 \text{ obs}}$	$Q_{7,10 \text{ est}}$	Erro relat. (%)
40549998	1	4,23	4,02	5,08	2,90	2,69	7,21	1,68	2,10	25,33	1,65	2,02	22,05	1,53	1,82	19,00
40680000	4	4,01	4,62	15,15	2,71	3,23	19,36	1,69	2,13	26,26	1,24	2,13	71,22	1,31	1,88	43,18
40710000	2	25,38	26,81	5,62	17,00	17,38	2,23	13,29	10,75	19,08	12,74	10,69	16,11	11,48	9,81	14,56
40740000	2	38,56	34,85	9,61	23,14	21,27	8,10	15,70	14,95	4,79	15,82	14,89	5,85	14,38	13,08	9,04
40770000	4	6,99	5,65	19,18	4,92	4,21	14,45	1,94	2,79	43,54	1,06	2,78	163,01	1,16	2,59	123,28
40800001	2	51,29	57,73	12,55	28,68	13,23	53,87	18,16	22,46	23,65	18,87	22,55	19,53	16,12	20,54	27,44
40850000	3	81,04	74,96	7,50	41,24	41,95	1,72	27,51	26,54	3,52	27,23	27,57	1,25	25,01	23,55	5,82
40150000	1	13,23	15,95	20,60	12,51	13,90	11,06	11,39	11,35	0,31	10,75	9,72	9,59	13,09	10,60	19,00
40170000	1	6,27	5,88	6,21	5,04	4,27	15,30	2,73	2,61	4,43	2,20	2,07	5,94	1,83	1,78	2,35
40185000	1	12,25	12,30	0,42	8,89	10,71	20,57	5,44	8,75	60,96	4,32	7,50	73,62	3,71	8,17	120,09
40300001	4	10,76	13,65	26,87	7,92	8,46	6,78	5,68	6,74	18,58	4,76	6,75	41,93	4,39	6,57	49,59
40330000	3	46,77	48,74	4,22	40,74	38,38	5,80	33,29	23,35	29,85	28,50	22,98	19,38	31,08	21,17	31,89
40025000	1	5,12	3,44	32,87	3,17	2,29	27,83	2,27	1,66	26,91	2,35	1,51	35,74	2,14	1,52	28,97
40032000	4	13,69	8,41	38,55	9,85	6,39	35,11	7,21	4,25	41,07	5,71	4,25	25,57	6,51	3,86	40,70
40037000	4	10,14	11,22	10,63	6,61	7,40	11,93	4,37	5,28	20,74	3,89	5,49	41,28	3,97	4,93	24,21
40040000	4	2,43	3,48	43,09	1,70	2,33	36,82	1,11	1,72	54,40	0,95	1,73	83,07	0,94	1,55	65,78
40050000	2	55,89	55,73	0,28	37,18	40,37	8,58	27,04	29,09	7,57	24,61	27,91	13,42	24,70	26,35	6,70
40053000	4	1,17	2,86	145,07	1,18	2,20	86,76	0,20	1,58	686,07	0,16	1,60	881,60	0,12	1,45	1160,87
40060001	4	6,88	5,25	23,73	5,60	3,98	28,97	4,04	2,85	29,37	3,81	2,38	37,55	3,74	2,61	30,12
40070000	2	69,45	99,50	43,27	62,52	62,73	0,34	42,71	44,13	3,32	39,53	40,40	2,20	39,23	40,34	2,83
40080000	4	4,24	6,34	49,67	1,87	4,29	129,78	0,80	2,92	264,54	0,52	2,95	466,22	0,57	2,68	370,18
40100000	3	129,20	98,40	23,84	76,22	88,63	16,29	51,23	60,51	18,11	47,30	56,01	18,42	46,89	55,58	18,54
40930000	1	10,24	7,52	26,57	6,48	3,42	47,28	3,97	1,76	55,61	3,49	1,42	59,42	3,36	1,61	52,15
40960000	3	14,97	20,38	36,14	6,80	6,25	8,13	3,51	7,90	124,94	2,82	6,95	146,19	2,67	6,68	149,81
<b>Erro méd. %</b>			<b>25,28</b>			<b>25,18</b>				<b>66,37</b>				<b>94,17</b>		<b>100,67</b>
<b>coef. N-S.**</b>			<b>0,92</b>			<b>0,95</b>				<b>0,94</b>				<b>0,95</b>		<b>0,94</b>

\* Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

\*\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

O caso 4 acabou sendo menos eficiente que todos os outros, apresentando erros de até 1.160%. Isso leva à suposição de que, por ser esse caso uma combinação dos outros anteriores, associando em seu procedimento de cálculo das vazões tanto o princípio da interpolação quanto da extrapolação, ele acaba maximizando as possíveis falhas desses casos.

O coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe apresentou valor mínimo de 0,92, considerado alto, tendo em vista que quanto maior esse índice, que varia de 0 a 1, mais eficientes os modelos da metodologia avaliada. Nota-se, portanto, que o coeficiente de N. S. não se mostrou eficiente para avaliar os modelos considerados no estudo.

Chaves et al. (2002), aplicando essa metodologia na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, localizada na porção nordeste do Estado da Bahia, com área de 36.440 km<sup>2</sup> e uma rede de postos fluviométricos de 11 estações, verificaram que os resultados indicaram melhor eficiência da metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informações geográficas em relação à metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás (1985a), com base em dois índices: o erro relativo, que foi de 45,1% no método alternativo contra 289,7% no método tradicional, e o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, que foi de 0,88 no método alternativo e de 0,73 no tradicional. Entretanto, Azevedo (2004), em estudo de avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas para a sub-bacia hidrográfica do rio Paranã, com 12 postos fluviométricos e área de 59.955,13 km<sup>2</sup>, constatou que a metodologia tradicional apresentou os melhores resultados na regionalização, em comparação com os valores da metodologia proposta por Chaves et al. (2002) e da metodologia de vazão específica, em que os erros médios foram de 16,11%, 65,28% e 60%, respectivamente, e os coeficientes de eficiência das três metodologias, 0,97; 0,59; e 0,65, respectivamente.

#### **4.2.5.2. Análise da variação da $Q_{7,10}$ , considerando-se os períodos trimestral e anual**

No Quadro 21 estão apresentados os resultados da comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual dos postos fluviométricos utilizados neste estudo.



Quadro 21 – Comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual dos postos fluviométricos identificados no estudo, considerando-se a metodologia de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas

Código da estação	Caso*	$Q_{7,10}$ - Anual			$Q_{7,10}$ - 1º trimestre		$Q_{7,10}$ - 2º trimestre		$Q_{7,10}$ - 3º trimestre		$Q_{7,10}$ - 4º trimestre	
		$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Diferença relat. (%)	$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Diferença relat. (%)	$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Diferença relat. (%)	$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Diferença relat. (%)	$Q_{7,10}^{est}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Diferença relat. (%)
40549998	1	1,82	4,02	120,9	2,69	47,8	2,1	15,4	2,02	11,0		
40680000	4	1,88	4,62	145,7	3,23	71,8	2,13	13,3	2,13	13,3		
40710000	2	9,81	26,81	173,3	17,38	77,2	10,75	9,6	10,69	9,0		
40740000	2	13,08	34,85	166,4	21,27	62,6	14,95	14,3	14,89	13,8		
40770000	4	2,59	5,65	118,1	4,21	62,5	2,79	7,7	2,78	7,3		
40800001	2	20,54	57,73	181,1	23,23	13,1	22,46	9,3	22,55	9,8		
40850000	3	23,55	74,96	218,3	41,95	78,1	26,54	12,7	27,57	17,1		
40150000	1	10,6	15,95	50,5	13,9	31,1	11,35	7,1	9,72	-8,3		
40170000	1	1,78	5,88	230,3	4,27	139,9	2,61	46,6	2,07	16,3		
40185000	1	8,17	12,3	50,6	10,71	31,1	8,75	7,1	7,5	-8,2		
40300001	4	6,57	13,65	107,8	8,46	28,8	6,74	2,6	6,75	2,7		
40330000	3	21,17	48,74	130,2	38,38	81,3	23,35	10,3	22,98	8,5		
40025000	1	1,52	3,44	126,3	2,29	50,7	1,66	9,2	1,51	-0,7		
40032000	4	3,86	8,41	117,9	6,39	65,5	4,25	10,1	4,25	10,1		
40037000	4	4,93	11,22	127,6	7,4	50,1	5,28	7,1	5,49	11,4		
40040000	4	1,55	3,48	124,5	2,33	50,3	1,72	11,0	1,73	11,6		
40050000	2	26,35	55,73	111,5	40,37	53,2	29,09	10,4	27,91	5,9		
40053000	4	1,45	2,86	97,2	2,2	51,7	1,58	9,0	1,6	10,3		
40060001	4	2,61	5,25	101,1	3,98	52,5	2,85	9,2	2,38	-8,8		
40070000	2	40,34	99,5	146,7	62,73	55,5	44,13	9,4	40,4	0,1		
40080000	4	2,68	6,34	136,6	4,29	60,1	2,92	9,0	2,95	10,1		
40100000	3	55,58	98,4	77,0	88,63	59,5	60,51	8,9	56,01	0,8		
40930000	1	1,61	7,52	367,1	3,42	112,4	1,76	9,3	1,42	-11,8		
40960000	3	6,68	20,38	205,1	8,53	27,7	7,9	18,3	6,95	4,0		

\* Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

Os resultados encontrados indicaram um considerável aumento na disponibilidade hídrica do primeiro trimestre, quando os valores foram de 50% a 367% superiores à  $Q_{7,10}$  anual; no segundo trimestre, os valores encontrados foram de 13% a 139% superiores quando comparados com os anuais; no terceiro trimestre, foram de 2% a 46% superiores; e no quarto trimestre, a variação foi de -11% a +17%, em relação aos valores do período anual.

#### **4.5.3. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$**

No Quadro 22 estão apresentados os valores das vazões mínimas correspondentes aos níveis de permanência de 90% ( $Q_{90}$  Est,  $m^3 s^{-1}$ ) e 95% ( $Q_{95}$  Est,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas com a utilização da metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informação geográfica, nos 24 postos fluviométricos. O procedimento usado nesse caso foi idêntico ao utilizado para a regionalização da  $Q_{7,10}$  trimestral e anual, descrito no item anterior.

Os resultados apresentados no Quadro 22 foram obtidos com a aplicação das equações 28, 29 e 30, após o enquadramento de cada caso específico, de acordo com a sua localização em relação aos postos fluviométricos existentes na rede de drenagem e utilizando como base de dados os valores observados de  $Q_{90}$  e  $Q_{95\%}$ , nas estações fluviométricas da bacia em estudo.

Os valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  mostrados no Quadro 22 seguem a mesma tendência verificada na  $Q_{7,10}$ , com melhores ajustes (erro relativo menor) nos postos enquadrados no caso 2, seguido dos casos 1 e 3 e, por último, com o maior erro relativo nos postos enquadrados no caso 4. O coeficiente de N. S. apresentou valores iguais para a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ .

### **4.6. Regionalização de vazões mínimas baseada na metodologia de vazão específica**

#### **4.6.1. Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando-se períodos trimestral e anual**

No Quadro 23 estão apresentados os valores estimados das vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$  est), obtidos com base na metodologia de vazões específicas nos 24 postos fluviométricos considerados na análise. Também, para a aplicação dessa metodologia as vazões foram supostas como desconhecidas apenas para efeito de teste, nas comparações entre os valores estimados das vazões e os obtidos por análise probabilística das séries de  $Q_7$  observadas ( $Q_{7,10}$  obs).

Quadro 22 – Vazões mínimas estimadas pela metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informações geográficas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\ Est, m^3 s^{-1}}$ ) e 95% ( $Q_{95\ Est, m^3 s^{-1}}$ ) e valores observados de  $Q_{90}$  ( $Q_{90\ Obs, m^3 s^{-1}}$ ) e  $Q_{95}$  ( $Q_{95\ Obs, m^3 s^{-1}}$ ), nas estações utilizadas na regionalização

Código da estação	Caso	Q <sub>90</sub>			Q <sub>95</sub>		
		Q <sub>7,10 obs</sub>	Q <sub>7,10 est</sub>	Erro relat. (%)	Q <sub>7,10 obs</sub>	Q <sub>7,10 est</sub>	Erro relat. (%)
40549998	1	2,67	2,99	12,31	2,23	2,55	14,34
40680000	4	2,92	3,21	10,12	2,35	2,71	15,22
40710000	2	18,93	16,60	12,29	16,14	14,03	13,07
40740000	2	23,40	22,98	1,80	19,98	19,23	3,73
40770000	4	5,12	4,24	17,12	4,39	3,59	18,13
40800001	2	30,31	34,27	13,07	24,88	29,17	17,24
40850000	3	45,15	44,30	1,88	38,09	36,36	4,54
40150000	1	17,08	14,50	15,14	15,56	13,23	14,95
40170000	1	4,73	4,07	13,88	3,91	3,42	12,63
40185000	1	8,48	11,18	31,86	7,12	10,20	43,36
40300001	4	7,95	8,97	12,82	6,69	8,18	22,24
40330000	3	42,51	36,38	14,41	38,79	30,81	20,57
40025000	1	3,22	2,16	32,77	2,80	1,93	31,06
40032000	4	8,71	5,39	38,10	7,80	4,87	37,59
40037000	4	5,59	7,31	30,70	5,06	6,41	26,58
40040000	4	1,50	2,29	52,36	1,27	2,02	58,56
40050000	2	35,17	39,00	10,89	31,38	34,58	10,20
40053000	4	0,46	2,07	354,95	0,34	1,85	452,24
40060001	4	5,09	3,73	26,76	4,64	3,34	27,96
40070000	2	56,98	57,80	1,44	51,63	51,70	0,13
40080000	4	1,42	3,89	174,14	1,11	3,52	215,98
40100000	3	67,77	80,73	19,13	60,81	73,15	20,29
40930000	1	5,69	3,05	46,48	4,96	2,47	50,13
40960000	3	6,06	11,32	86,68	4,92	9,86	100,28
<b>Erro méd. %</b>				<b>42,96</b>			<b>51,29</b>
<b>coef. N-S,**</b>				<b>0,96</b>			<b>0,96</b>

\* Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

\*\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Quadro 23 – Valores de  $Q_{7,10}$  estimados com a utilização da metodologia de vazão específica ( $Q_{7,10\ est}$ ,  $m^3\ s^{-1}$ ) e valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  nas estações fluviométricas usadas na regionalização ( $Q_{7,10\ obs}$ ,  $m^3\ s^{-1}$ )

Código da estação	Caso	$Q_{7,10}$ - 1º trimestre			$Q_{7,10}$ - 2º trimestre			$Q_{7,10}$ - 3º trimestre			$Q_{7,10}$ - 4º trimestre			$Q_{7,10}$ - Anual		
		$Q_{7,10\ obs}$	$Q_{7,10\ est}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10\ obs}$	$Q_{7,10\ est}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10\ obs}$	$Q_{7,10\ est}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10\ obs}$	$Q_{7,10\ est}$	Erro relat. (%)	$Q_{7,10\ obs}$	$Q_{7,10\ est}$	Erro relat. (%)
40549998	1	4,23	4,02	5,08	2,90	2,69	7,21	1,68	2,10	25,33	1,65	2,02	22,05	1,526	1,816	19,00
40680000	4	4,01	4,02	0,20	2,71	2,69	0,59	1,69	2,09	23,89	1,24	2,01	61,58	1,313	1,81	37,85
40710000	2	25,38	26,90	5,96	17,00	15,87	6,65	13,29	10,94	17,66	12,74	11,00	13,65	11,482	10,014	12,79
40740000	2	38,56	34,90	9,48	23,14	21,36	7,70	15,70	15,08	3,97	15,82	14,99	5,20	14,38	13,185	8,31
40770000	4	6,99	5,62	19,61	4,92	3,84	21,97	1,94	2,47	27,12	1,06	2,55	141,25	1,16	2,27	95,69
40800001	2	51,29	56,64	10,43	28,68	20,82	27,41	18,16	20,73	14,12	18,87	20,70	9,74	16,118	18,904	17,29
40850000	3	81,04	74,96	7,50	41,24	41,95	1,72	27,51	26,54	3,52	27,23	27,57	1,25	25,005	23,55	5,82
40150000	1	13,23	15,95	20,60	12,51	13,90	11,06	11,39	11,35	0,31	10,75	9,72	9,59	13,088	10,601	19,00
40170000	1	6,27	5,88	6,21	5,04	4,27	15,30	2,73	2,61	4,43	2,20	2,07	5,94	1,826	1,783	2,35
40185000	1	12,25	12,30	0,42	8,89	10,71	20,85	5,44	8,75	60,96	4,32	7,50	73,62	3,714	5,174	38,66
40300001	4	10,76	13,84	28,64	7,92	8,50	7,28	5,68	6,74	18,58	4,76	6,76	42,14	4,392	6,52	48,45
40330000	3	46,77	48,74	4,22	40,74	38,38	5,80	33,29	23,35	29,85	28,50	22,98	19,38	31,084	21,17	31,89
40025000	1	5,12	3,44	32,87	3,17	2,29	27,83	2,27	1,66	26,91	2,35	1,51	35,74	2,137	1,518	28,97
40032000	4	13,69	7,62	44,32	9,85	5,84	40,70	7,21	4,01	44,38	5,71	3,83	32,96	6,509	3,636	44,14
40037000	4	10,14	7,93	21,81	6,61	6,02	8,94	4,37	4,43	1,30	3,89	4,06	4,48	3,969	4	0,78
40040000	4	2,43	2,50	2,80	1,70	1,93	13,33	1,11	1,41	26,57	0,95	1,29	36,51	0,935	1,28	36,90
40050000	2	55,89	37,41	33,06	37,18	32,99	11,27	27,04	22,63	16,33	24,61	21,01	14,61	24,695	20,756	15,95
40053000	4	1,17	2,86	145,07	1,18	2,17	84,21	0,20	1,57	681,09	0,16	1,43	777,30	0,115	1,42	1134,78
40060001	4	6,88	5,20	24,45	5,60	3,68	34,32	4,04	2,57	36,31	3,81	2,36	38,07	3,735	2,33	37,62
40070000	2	69,45	95,20	37,09	62,52	58,14	7,00	42,71	40,01	6,32	39,53	36,78	6,96	39,23	36,596	6,71
40080000	4	4,24	6,37	50,38	1,87	4,07	118,00	0,80	2,78	247,07	0,52	2,56	391,36	0,57	2,53	343,86
40100000	3	129,20	98,40	23,84	76,22	88,63	16,29	51,23	60,51	18,11	47,30	56,01	18,42	46,886	55,58	18,54
40930000	1	10,24	7,52	26,57	6,48	3,42	47,28	3,97	1,76	55,61	3,49	1,42	59,42	3,359	1,6072	52,15
40960000	3	14,97	20,38	36,14	6,80	6,25	8,13	3,51	7,90	124,94	2,82	6,95	146,19	2,674	6,68	149,81
<b>Erro méd. %</b>				<b>24,86</b>			<b>23,04</b>			<b>63,21</b>			<b>82,34</b>			<b>94,29</b>
<b>coef. N-S,**</b>				<b>0,91</b>			<b>0,97</b>			<b>0,94</b>			<b>0,96</b>			<b>0,93</b>

\* Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

\*\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Os resultados apresentados no Quadro 23 foram obtidos com a aplicação das equações 26 e 27, descritas nos itens 3.8.2 e 3.8.3, respectivamente, de acordo com a localização na rede de drenagem da seção onde se deseja conhecer a vazão em relação aos postos fluviométricos existentes. Procurou-se contemplar as quatro situações preconizadas na metodologia estudada, utilizando como base de dados os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries de  $Q_7$ , observadas nas estações fluviométricas da bacia em estudo.

Analisando os resultados do Quadro 23, percebeu-se que a metodologia em questão apresentou menor erro relativo na estimativa de vazões em situações em que a seção onde se desejava determinar a vazão se encontrava localizada entre dois postos de vazões conhecidas (caso 2). Já, nas situações em que essa seção está localizada a montante ou a jusante do posto de vazão conhecida, a metodologia exibiu maior erro relativo na predição das vazões mínimas (casos 1 e 3), principalmente nas situações em que a diferença entre as áreas de drenagem das estações analisadas era muito grande. O caso 4, que é uma combinação dos outros casos, registrou os maiores erros relativos, possivelmente por acumular os erros dos outros casos. É importante ressaltar que, nas três metodologias analisadas, os postos fluviométricos que exibiram vazões abaixo de  $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  tenderam a apresentar erros muito altos, alcançando valores de até 1.134% de erro relativo, em comparação com os valores estimados com os observados.

#### **4.6.2. Análise da variação da $Q_{7,10}$ , considerando-se os períodos trimestral e anual**

No Quadro 24, encontram-se os resultados da comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual nos postos fluviométricos identificados no estudo.

Os resultados evidenciaram considerável aumento na disponibilidade hídrica do primeiro trimestre, quando são encontrados valores que variam de 50% a 367% superiores, em comparação com os valores do período anual; no segundo trimestre, os valores foram de 10% a 139% superiores aos do período anual; já no terceiro trimestre os valores variaram de 3% a 69% superiores, enquanto no quarto trimestre os valores oscilaram entre -11% e +45%, quando comparados com os do período anual.

Quadro 24 – Comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  de cada trimestre com a  $Q_{7,10}$  anual nos postos fluviométricos identificados no estudo, considerando-se a metodologia de vazão específica

Código da estação	Caso*	Q <sub>7,10</sub> - Anual	Q <sub>7,10</sub> - 1º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 2º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 3º trimestre		Q <sub>7,10</sub> - 4º trimestre	
		Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> )	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)	Q <sub>7,10 est</sub> (m <sup>3</sup> . s <sup>-1</sup> )	Diferença relat. (%)
40549998	1	1,82	4,02	121,37	2,69	48,13	2,10	15,64	2,02	11,23
40680000	4	1,81	4,02	122,10	2,69	48,62	2,09	15,47	2,01	11,05
40710000	2	10,01	26,90	168,62	15,87	58,48	10,94	9,25	11,00	9,85
40740000	2	13,19	34,90	164,69	21,36	62,00	15,08	14,37	14,99	13,69
40770000	4	2,27	5,62	147,58	3,84	69,16	2,47	8,81	2,55	12,33
40800001	2	18,90	56,64	199,62	20,82	10,14	20,73	9,66	20,70	9,50
40850000	3	23,55	74,96	218,30	41,95	78,13	26,54	12,70	27,57	17,07
40150000	1	10,60	15,95	50,46	13,90	31,12	11,35	7,07	9,72	-8,31
40170000	1	1,78	5,88	229,78	4,27	139,48	2,61	46,38	2,07	16,10
40185000	1	5,17	12,30	137,73	10,71	107,00	8,75	69,11	7,50	44,96
40300001	4	6,52	13,84	112,27	8,50	30,37	6,74	3,37	6,76	3,68
40330000	3	21,17	48,74	130,23	38,38	81,29	23,35	10,30	22,98	8,55
40025000	1	1,52	3,44	126,61	2,29	50,86	1,66	9,35	1,51	-0,53
40032000	4	3,64	7,62	109,57	5,84	60,62	4,01	10,29	3,83	5,34
40037000	4	4,00	7,93	98,25	6,02	50,50	4,43	10,75	4,06	1,50
40040000	4	1,28	2,50	95,31	1,93	50,78	1,41	10,16	1,29	0,78
40050000	2	20,76	37,41	80,24	32,99	58,94	22,63	9,03	21,01	1,22
40053000	4	1,42	2,86	101,41	2,17	52,82	1,57	10,56	1,43	0,70
40060001	4	2,33	5,20	123,18	3,68	57,94	2,57	10,30	2,36	1,29
40070000	2	36,60	95,20	160,14	58,14	58,87	40,01	9,33	36,78	0,50
40080000	4	2,53	6,37	151,78	4,07	60,87	2,78	9,88	2,56	1,19
40100000	3	55,58	98,40	77,04	88,63	59,46	60,51	8,87	56,01	0,77
40930000	1	1,61	7,52	367,89	3,42	112,79	1,76	9,51	1,42	-11,65
40960000	3	6,68	20,38	205,09	8,53	27,7	7,90	18,26	6,95	4,04

Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

### 4.6.3. Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$

No Quadro 25 estão apresentados os valores das vazões mínimas correspondentes em níveis de permanência de 90% ( $Q_{90}$  est,  $m^3 s^{-1}$ ) e 95% ( $Q_{95}$  est,  $m^3 s^{-1}$ ), estimadas pela metodologia de vazão específica nos 24 postos fluviométricos, onde as vazões foram supostas como desconhecidas, para efeito de teste nas comparações entre os valores das vazões estimados pela metodologia e os valores observados em cada posto fluviométrico.

Quadro 25 – Vazões mínimas estimadas pela metodologia de vazão específica associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$  est,  $m^3 s^{-1}$ ) e 95% ( $Q_{95}$  est,  $m^3 s^{-1}$ ) e valores observados de  $Q_{90}$  ( $Q_{90}$  obs,  $m^3 s^{-1}$ ) e  $Q_{95}$  ( $Q_{95}$  obs,  $m^3 s^{-1}$ ), nas estações fluviométricas utilizadas na regionalização

Código da estação	Caso	$Q_{90}$			$Q_{95}$		
		$Q_{90}$ obs.	$Q_{90}$ est.	Erro relat. (%)	$Q_{95}$ obs.	$Q_{95}$ est.	Erro relat. (%)
40549998	1	2,665	2,993	12,31	2,232	2,552	14,34
40680000	4	2,915	2,99	2,57	2,352	2,55	8,42
40710000	2	18,927	16,355	13,59	16,139	13,948	13,58
40740000	2	23,401	23,11	1,24	19,975	19,351	3,12
40770000	4	5,116	3,96	22,60	4,385	3,29	24,97
40800001	2	30,309	36,66	20,95	24,881	27,687	11,28
40850000	3	45,148	44,3	1,88	38,089	36,36	4,54
40150000	1	17,083	14,497	15,14	15,555	13,229	14,95
40170000	1	4,727	4,071	13,88	3,911	3,417	12,63
40185000	1	8,477	11,178	31,86	7,115	10,2	43,36
40300001	4	7,951	8,91	12,06	6,692	8,13	21,49
40330000	3	42,507	36,38	14,41	38,788	30,81	20,57
40025000	1	3,216	2,162	32,77	2,798	1,929	31,06
40032000	4	8,708	5,11	41,32	7,803	4,6	41,05
40037000	4	5,593	5,73	2,45	5,064	5,1	0,71
40040000	4	1,503	1,83	21,76	1,274	1,63	27,94
40050000	2	35,169	30,2	14,13	31,379	27,31	12,97
40053000	4	0,455	2,04	348,35	0,335	1,82	443,28
40060001	4	5,093	3,38	33,63	4,636	3,05	34,21
40070000	2	56,977	52,654	7,59	51,632	47,164	8,65
40080000	4	1,419	3,66	157,93	1,114	3,3	196,23
40100000	3	67,767	80,73	19,13	60,812	73,15	20,29
40930000	1	5,689	3,045	46,48	4,957	2,472	50,13
40960000	3	6,064	11,32	86,68	4,923	9,86	100,28
<b>Erro méd. (%)</b>				<b>40,99</b>			<b>48,55</b>
<b>coef. N-S.**</b>				<b>0,96</b>			<b>0,95</b>

\* Caso = enquadramento das estações em cada situação preconizada na metodologia (CHAVES et al., 2002).

\*\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Os resultados apresentados no Quadro 25 também foram obtidos com a aplicação das equações 26 e 27, descritas nos itens 3.8.2 e 3.8.3, respectivamente, de acordo com a localização na rede de drenagem da seção onde se deseja estimar a vazão em relação aos postos fluviométricos existentes, visando ao enquadramento das quatro situações preconizadas na metodologia em questão e utilizando como base de dados os valores observados de  $Q_{90}$  e  $Q_{95\%}$ , nas estações fluviométricas da bacia em estudo.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 25, notou-se que tanto a  $Q_{90}$  quanto a  $Q_{95}$  seguiram a mesma tendência observada na  $Q_{7,10}$ , com valores percentuais de erro relativo bastante semelhantes.

Tanto para a metodologia de regionalização de vazões mínimas baseadas nas técnicas de interpolação e extrapolações automáticas em ambientes de sistemas de informações geográficas quanto para a metodologia de regionalização baseada em vazão específica, os comportamentos dos possíveis casos nos postos fluviométricos foram os mesmos, em que o caso 2 foi o mais eficiente, seguido dos casos 1 e 3 e, por último, do caso 4.

#### 4.7. Comparação das metodologias de regionalização de vazões utilizadas

##### 4.7.1. Metodologia tradicional (ELETROBRÁS, 1995)

No Quadro 26 estão apresentados os valores dos erros relativos médios e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe dos modelos obtidos no presente trabalho, com base na metodologia tradicional, considerando-se o período-base de 1978 a 2002 e também os resultados obtidos com base no Atlas (2005), considerando-se o período-base de 1970 a 2003.

Quadro 26 – Valores de erro relativo médio e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe para a metodologia tradicional, considerando-se os modelos obtidos no presente trabalho, para o período de 1978 a 2002, e os modelos obtidos com o Atlas (2005), para o período-base de 1970 a 2002

Metodologias	Erro relativo médio (%)			Coef. N-S.*		
	$Q_{7,10}$ anual	$Q_{90}$	$Q_{95}$	$Q_{7,10}$ Anual	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Tradicional (1978 a 2002)	26,78	22,67	29,69	0,81	0,97	0,97
Tradicional – ATLAS (2005)	44,72	26,65	45,85	0,43	0,88	0,40

\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).



De posse dos resultados, foi possível avaliar que os modelos obtidos no presente trabalho, com os dados do período-base de 1978 a 2002, apresentaram menores erros relativos médios e maiores coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe em todas as vazões mínimas de referência avaliadas, evidenciando-se que o período-base escolhido para o estudo de regionalização de vazões pode alterar expressivamente os resultados do estudo. Essas variações também podem ter ocorrido em função da entrada em operação de diversos reservatórios no período de 1970 a 1978, fato que pode ter alterado expressivamente os resultados obtidos com base no Atlas (2005), já que neste trabalho se adotou o período de 1970 a 2002, havendo, portanto, a influência da operação dos referidos reservatórios, enquanto no presente trabalho se optou por selecionar apenas os dados das séries históricas a partir do ano de 1978.

#### 4.7.2. Metodologia proposta por Chaves et al. (2002) e metodologia de vazão específica

No Quadro 27 estão apresentados os valores dos erros relativos médios e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe para as metodologias propostas por Chaves et al. (2002) e vazão específica, considerando-se a  $Q_{7,10}$ , nos períodos trimestral e anual, além da  $Q_{90}$  e da  $Q_{95}$ .

Quadro 27 – Valores de erro relativo médio e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe para as metodologias propostas por Chaves et al. (2002) e vazão específica, considerando-se a  $Q_{7,10}$ , trimestral e anual, e a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$

	$Q_{7,10}$ 1º trimestre	$Q_{7,10}$ 2º trimestre	$Q_{7,10}$ 3º trimestre	$Q_{7,10}$ 4º trimestre	$Q_{7,10}$ Anual	$Q_{90}$	$Q_{95}$
<b>CHAVES et al. (2002)</b>							
<b>Erro méd. (%)</b>	25,28	25,18	66,37	94,17	100,67	42,96	51,29
<b>Coef. N-S.**</b>	0,92	0,95	0,94	0,95	0,94	0,96	0,96
<b>Vazão Específica</b>							
<b>Erro méd. (%)</b>	24,86	23,04	63,21	82,34	94,29	40,99	48,55
<b>Coef. N-S.**</b>	0,91	0,97	0,97	0,96	0,93	0,96	0,95

\* Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

Analisando-se os resultados apresentados no Quadro 27, foi possível verificar que os valores encontrados nas duas metodologias seguiram uma mesma tendência, porém a metodologia de vazão específica para todas as vazões mínimas de referência avaliadas apresentou erro relativo médio abaixo dos valores apresentados na metodologia proposta por Chaves et al. (2002), mostrando que, apesar dos valores muito próximos, foi mais eficiente que a outra metodologia de regionalização de vazões mínimas. Os valores encontrados do coeficiente de eficiência Nash e Sutcliffe também seguiram a mesma tendência e, como os valores foram muito próximos e as variações muito baixas, não foi possível fazer nenhuma inferência sobre esses valores na indicação de uma metodologia mais eficiente.

Apesar de não ter sido feita comparação entre as metodologias tradicionais com a de vazão específica e a proposta por Chaves et al. (2002), devido ao fato de na metodologia tradicional não ter sido excluída nenhuma estação fluviométrica para fins de obtenção dos modelos de regionalização de vazões, fato esse necessário na aplicação das outras duas metodologias que se baseiam apenas em técnicas de interpolação e extrapolação de vazão baseadas fundamentalmente na área de drenagem e na distância dos postos fluviométricos, foi possível concluir que a metodologia tradicional apresentou menores erros relativos médios que as demais metodologias, sendo considerada neste estudo como a de maior eficiência. Já as outras duas metodologias tiveram comportamento muito semelhante

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

- O modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias, mostrou-se hidrológicamente consistente e possibilitou a determinação automática das características físicas da bacia.
- A área de drenagem, a densidade de drenagem e a precipitação do trimestre mais seco foram as variáveis que melhor representaram a  $Q_{7,10}$  na regionalização pelo método tradicional.
- A área de drenagem foi a variável mais expressiva na representação das vazões associadas aos níveis de 90% e 95% de permanência na regionalização pelo método tradicional.
- As metodologias de interpolação e extrapolação baseada em sistemas de informações geográficas e vazão específica não apresentaram resultados satisfatórios nas situações em que a diferença na área de drenagem do local de vazão, conhecido como o local onde se deseja conhecer a vazão, foi grande.
- A melhor metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência na bacia hidrográfica estudada foi a tradicional, baseada na utilização de equações de regressão regionais.
- A obtenção das vazões mínimas de referência baseada em períodos trimestrais proporcionou considerável aumento na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga de uso da água, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano.

## 6. REFERÊNCIAS

AGRA, S. G. et al. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

ALMANAQUE Vale do São Francisco. Brasília, DF: CODEVASF, 2001. 411 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país** – diretrizes e prioridades. Brasília, 2005. p. 17-19.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. **Região hidrográfica do São Francisco**. 2004. HidroWeb-Sistema de Informações Hidrográficas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2005.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas hidrológico brasileiro** – Versão 1.0. Brasília: ANEEL, 1998. CD-ROM.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas (Coord.). **Inventário de estações fluviométricas**. Brasília, 2001a.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas (Coord.). **Inventário de estações pluviométricas**. Brasília, 2001b.

ATLAS digital das águas de Minas. **Uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos**. Coordenação técnica, direção e roteirização de Humberto Paulo Euclides. Belo Horizonte: RURALMINAS; Viçosa, MG: UFV, 2005. 78 p. 1 CD-ROM + 1 manual.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BRASIL. **Política nacional de recursos hídricos:** Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. (MMA/SRH, 1997).

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da  $Q_{7,10}$  para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARONI, E. et al. **Valutazione delle piene.** Milano: Consiglio Nazionale Delle Ricerche, PF Conservazione Del Suolo, 1982. (Publicazione, 165).

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 111 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões.** Rio de Janeiro, 1985a. v. 1.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985b.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ARC/INFO. Help on Line.** Redlands, Califórnia: ESRI, 1997. v. 7.1.1.

EUCLYDES, H. P. et al. Estudo de vazão máxima, mínima e média de longo período para as sub-bacias dos rios Verde Grande, Pardo e Jequitáí. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas.** Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 1994a. p. 03-61. (Boletim Técnico, n. 1).

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio Jequitinhonha. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas para o Estado de Minas Gerais.** Viçosa. MG: UFV/RURALMINAS, 1994b. p. 3-79. (Boletim Técnico, n. 2).

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio Doce. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas para o Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 1996. p. 1-96. (Boletim Técnico, n. 3).

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio Paracatu. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas para o Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 1997. p. 1-80. (Boletim Técnico, n. 4).

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio São Francisco. In: **Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas**. Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 2001b. p. 1-124. (Boletim Técnico, n. 5).

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 81-105, 2001a.

FURTADO, A. M. **Metodologia para extração de informações hidrológicas a partir de um modelo digital de elevação utilizando sistemas de informações geográficas**. Belo Horizonte, UFMG, 1998. 42 f. Monografia (I Curso de Especialização em Geoprocessamento) – IGC/UFMG/CETEC, Belo Horizonte.

EUCLYDES, H. P. et al. **RH 3.0 – Regionalização hidrológica**. Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 1999. (Manual do programa).

GARRIDO, R. J. S. Subprojeto 4.2B – Avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do rio São Francisco. In: —. **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Brasília: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335 p. (Relatório Final).

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda., 1988.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional Frequency Analysis: an approach based on L-moments**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1997. 224 p.

LANNA, A.E.L. **Gerenciamento da bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995.

MOSLEY, M. P. Delimitation of New Zealand hydrologic regions. **Jornal of Hydrology**, v. 49, p. 173-192, 1981.

NAGHETTINI, M.; POTTER, K. W.; ILLANGASEKARE, T. Estimating the uppertail of flood-peak frequency distributions using hydrometeorological information. **Water Resources Research**, v. 32, n. 6, p. 1729-1740, 1994.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282-290, 1970.

NOVAES, F. L. **Modelo para a quantificação da disponibilidade de água na sub-bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OBREGON, E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes à lagoa Mirim, RS, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 57-75, 1999.

PAREDES, E. A. **Sistema de informações geográficas** – Geoprocessamento, princípio e aplicação. São Paulo: Érica, 1994. 675 p.

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: —. **Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Viçosa, MG: ANA,/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 190 p. (Relatório Final.).

SANTOS, A. R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: ANEEL/ANA, 2001. 328 p.

SILVA, B. C.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, A. P. M.; de PAULO, R. G. F. Regionalização de vazões na bacia do rio Grande. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, 2002. p. 21-37.

SILVA, D. D. et al. **Regionalização de vazões para a sub-bacia 51**. Brasília: ANEEL; Viçosa, MG: UFV, 2002a. 207 p.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. Brasília, DF: MMA-SRH-ABEAS-UFV, 2001. 89 p.

SIMMERS, I. A systematic problem-oriented approach to hydrological data regionalisation. **Journal of Hydrology**, v. 73, p. 71-87, 1984.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Frequency analysis of extreme events. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hidrology**. New York: MacGraw Hill, Inc., 1992. cap. 18, p. 18; p. 1-18; 66.

TUCCI, C. E. M. et al. Estudo regional de vazões máximas e médias do Alto Paraguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Florianópolis. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1983. p. 17-42.

TUCCI, C .E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2002. 256 p.

VERDIN, K. L.; JENSON, S. K. Development of continental scale digital elevation models and extraction of hydrographic features. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 3.; WORKSHOP ON INTEGRATING GIS AND ENVIRONMENTAL MODELING. **Proceedings...** Santa Fé, NM: NCGIA, 1996. CD-ROM.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw Hill, 1975. 250 p.



## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Quadro 1A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração – 1º trimestre

<b>Estação com falhas</b>	<b>Estação correlacionada</b>	<b>Equação</b>	<b>R2</b>	<b>Período preenchido</b>
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	40710000	$y = 0,14x + 0,76$	0,88	1978, 1979, 1980, 1981, 1982
40740000	40800001	$y = 0,60x + 7,65$	0,98	1989, 1990, 1991 e 1992
40770000	40549998	$y = 1,71x + 0,74$	0,97	1985, 1986, 1989, 1990 e 1992 a 2002
40800001	40740000	$y = 1,63x - 10,64$	0,98	1995 e 1997
40850000	40800001	$y = 1,84x - 19,44$	0,95	1979, 1993 e 1999
<b>REGIÃO II</b>				
40170000	40185000	$y = 0,48x + 0,50$	0,96	1979
40185000	40170000	$y = 1,99x - 0,04$	0,96	1997
40300001	40330000	$y = 0,11x + 6,39$	0,77	1978, 1985, 1989 e 1996
40330000	40185000	$y = 3,43x + 7,27$	0,89	1979
40400000	40170000	$y = 1,39x + 3,68$	0,73	1982, 1983, 1985 a 1987, 1989, 1990, 1994, 1996, 1997 e 1999
40500000	40330000	$y = 0,09x - 1,14$	0,87	1978
<b>REGIÃO III</b>				
40032000	40050000	$y = 0,12x + 6,08$	0,84	1980, 1981, 1983, 1985, 1991, 1992, 1995, 1996, 1998 e 1999
40037000	40050000	$y = 0,13x + 1,52$	0,77	1982, 1983, 1984 e 1985
40050000	40100000	$y = 0,44x + 7,14$	0,94	1997
40070000	40100000	$y = 0,80x - 2,80$	0,98	1990, 1992, 1997 e 2002
40080000	40100000	$y = 0,06x - 4,02$	0,88	1997
40530000	40080000	$y = 0,43x + 1,07$	0,80	1996, 1998 e 2000
40930000	40960000	$y = 0,53x + 3,26$	0,83	1981 e 1992
40960000	40930000	$y = 1,57x - 0,88$	0,83	1994 a 1996 e 1998 a 2002

Quadro 2A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração – 2º trimestre

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R2	Período preenchido
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	40710000	$y = 0,15x + 0,36$	0,94	1978, 1979, 1980, 1981 e 1982
40740000	40549998	$y = 6,75x + 4,49$	0,93	1989, 1990 e 1992
40770000	40549998	$y = 1,51x + 0,63$	0,95	1985, 1986, 1989, 1990 e 1992 a 2002
40800001	40740000	$y = 1,71x - 10,46$	0,92	1995
40850000	40740000	$y = 2,54x - 16,73$	0,92	1979, 1993 e 1999
<b>REGIÃO II</b>				
40170000	40185000	$y = 0,45x + 1,12$	0,94	1979
40300001	40330000	$y = 0,16x + 1,93$	0,90	1978, 1985, 1996 e 1997
40500000	40330000	$y = 0,07x + 0,78$	0,78	1978 e 1979
<b>REGIÃO III</b>				
40032000	40050000	$y = 0,18x + 2,74$	0,97	1980, 1981, 1983, 1985, 1991, 1992 e 1995 a 1999
40037000	40050000	$y = 0,11x + 2,56$	0,86	1982, 1983, 1984 e 1985
40040000	40037000	$y = 0,57x - 1,97$	0,86	1997
40053000	40050000	$y = 0,04x - 0,88$	0,85	1991 e 1992
40070000	40100000	$y = 0,79x + 2,66$	0,99	1990, 1992 e 2002
40530000	40080000	$y = 0,55x + 0,23$	0,84	1996 e 1998

Quadro 3A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração – 3º trimestre

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	R2	Período preenchido
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	40740000	$y = 0,11x + 0,03$	0,89	1978, 1979, 1980, 1981 e 1982
40710000	40740000	$y = 0,71x + 2,60$	0,90	1996 e 1998
40740000	40800001	$y = 0,63x + 4,42$	0,94	1989, 1990, 1991 e 1992
40770000	40549998	$y = 2,63x - 2,42$	0,97	1985, 1986, 1989, 1990 e 1992 a 2002
40800001	40740000	$y = 1,50x - 4,91$	0,94	1995
40850000	40800001	$y = 1,43x + 1,05$	0,90	1993 e 1999
<b>REGIÃO II</b>				
40170000	40185000	$y = 0,47x + 0,49$	0,91	1979
40300001	40330000	$y = 0,21x - 0,66$	0,84	1978, 1985, 1996 e 1997
40500000	40330000	$y = 0,09x - 0,86$	0,75	1978 e 1979
<b>REGIÃO III</b>				
40032000	40050000	$y = 0,19x + 2,18$	0,87	1980, 1981, 1983, 1985, 1991, 1992 e 1995 a 1999
40037000	40050000	$y = 0,13x + 0,80$	0,86	1982, 1983, 1984 e 1985
40053000	40050000	$y = 0,03x - 0,68$	0,77	1991 e 1992
40070000	40100000	$y = 0,77x + 3,89$	0,98	1990, 1992 e 2000

Quadro 4A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de vazões mínimas com sete dias de duração – 4º trimestre

<b>Estação com falhas</b>	<b>Estação correlacionada</b>	<b>Equação</b>	<b>R2</b>	<b>Período preenchido</b>
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	40740000	$y = 0,16x - 1,01$	0,92	1978 a 1982
40710000	40740000	$y = 0,74x + 1,45$	0,91	1996 e 1998
40740000	40800001	$y = 0,70x + 3,00$	0,95	1989 a 1982
40800001	40740000	$y = 1,36x - 2,62$	0,95	1995
40850000	40800001	$y = 1,28x + 4,73$	0,89	1979, 1993 e 1999
<b>REGIÃO II</b>				
40170000	40185000	$y = 0,45x + 0,41$	0,89	1979
40400000	40500000	$y = 2,95x + 0,22$	0,78	1982, 1983, 1985 a 1987, 1989, 1990, 1994 a 1996 e 1999
40500000	40185000	$y = 0,17x + 1,39$	0,83	1978 e 1979
<b>REGIÃO III</b>				
40032000	40050000	$y = 0,20x + 1,57$	0,74	1980, 1981, 1983, 1985, 1991, 1992 e 1995 a 1999
40037000	40050000	$y = 0,17x - 0,02$	0,77	1982 a 1985
40040000	40050000	$y = 0,05x - 0,07$	0,84	1997
40070000	40100000	$y = 0,77x + 3,41$	0,98	1990 e 1992

Quadro 5A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de precipitação do semestre mais seco (Pss) da Bacia do São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias

<b>Estação com falhas</b>	<b>Estação correlacionada</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Período preenchido</b>
01845002	01944027	Ponderação Regional	0,76	1989 e 1990
	02044006		0,72	
	02044020		0,71	
01944027	01944004	Ponderação Regional	0,92	1991 a 1993
	01944007		0,89	
	01945002		0,81	
	02044002		0,81	
	02044026		0,86	
	02045005		0,80	
02044003	02044006	Ponderação Regional	0,77	1997
	02044027		0,72	
	02044042		0,76	
	02045005		0,71	
02044027	02044003	Ponderação Regional	0,72	2000 a 2002
	02044040		0,71	
	02044042		0,80	
	02045002		0,74	
	02045005		0,71	
	02045012		0,75	
02143006	01945008	Ponderação Regional	0,71	2000 a 2002
	02044009		0,74	
	02045005		0,76	
	02045012		0,70	
	02045013		0,71	
	02046007		0,78	

Quadro 6A – Informações pertinentes ao preenchimento de falhas de precipitação do trimestre mais seco (Pts) da Bacia do São Francisco, a montante do Reservatório de Três Marias

<b>Estação com falhas</b>	<b>Estação correlacionada</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Período preenchido</b>
1944027	1944004	Ponderação Regional	0,87	1991 a 1993
	1944026		0,74	
	2044002		0,80	
	2044021		0,71	
2143006	2045012	$y = 0,62x + 13,34$	0,71	2000 a 2002

## APÊNDICE B

Quadro 1B – Série de dados originais e preenchidos de vazões mínimas de sete dias do 1º trimestre (Q7\_1º trim.), em (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Ano	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000	40053000	40060001	40070000	40080000	40100000	40150000	40170000	40185000	40300001
1978	5,29	13,34	11,17	4,47	94,64	3,57	9,43	153,14	6,23	190,86	20,64	9,08	18,64	13,24*
1979	7,54	20,90	15,93	3,83	128,57	3,38	13,59	215,43	13,99	272,86	16,30	9,86*	19,50	
1980	7,92	18,37*	12,77	4,94	102,43	3,13	13,69	164,57	6,22	202,57	29,10	14,56	33,53	13,89
1981	6,61	13,94*	11,07	2,87	65,53	0,59	8,02	106,57	2,73	131,14	20,20	9,89	20,06	12,19
1982	10,51	27,16	25,50*	7,52	184,43	4,96	18,70	322,43	17,44	419,29	40,97	17,21	35,31	23,19
1983	13,19	37,42*	35,47*	7,47	261,14	5,99	22,50	447,57	30,17	531,00	58,93	28,31	57,16	29,74
1984	6,33	18,77	13,83*	4,00	94,70	1,29	11,96	150,00	6,18	184,57	17,43	13,33	27,39	19,00
1985	9,18	22,64*	19,46*	3,90	138,00	5,34	14,03	235,71	14,22	302,29		24,59	48,96	27,01*
1986	8,21	19,36	19,78	4,52	120,00	1,95	12,39	199,43	9,14	261,00	17,96	15,73	31,73	20,74
1987	5,21	18,10	12,24	4,64	89,56	2,86	9,44	140,14	3,88	173,69	22,33	11,81	22,83	11,81
1988	4,98	12,83	10,06	3,56	59,96	1,35	6,91	91,33	4,93	118,28	21,19	7,68	15,74	14,06
1989	5,19	13,63	10,38	3,14	70,26	1,65	8,90	102,67	4,43	129,26		9,66	15,53	13,16*
1990	4,61	10,94	8,77	2,27	65,66	1,45	6,55	108,67*	5,40	139,34		8,07	11,44	14,37
1991	6,41	11,15*	6,49	1,10	42,23		6,60	68,51	1,66	98,64		5,81	15,16	10,20
1992	7,04*	18,19*	15,98	6,25	100,96		10,60	150,19*	7,88	191,24	39,73	13,13	27,59	19,59
1993	11,61	22,24	22,27	6,94	142,86	3,15	7,90	248,71	10,07	329,30	23,70	15,09	28,20	19,74
1994	7,06	19,55	17,86	6,42	112,14	3,03	8,38	179,43	6,06	209,08	20,10	7,83	18,01	13,99
1995	5,69	14,01*	11,57	4,23	66,06	1,73	7,78	103,69	4,08	124,01	20,40	5,33	11,93	14,31
1996	8,24	17,05*	10,42	4,33	91,41	1,60	6,85	147,29	4,97	179,77	20,80	7,69	14,94	15,17*
1997	8,42*	20,87*	16,85*		124,06*	3,36	15,07	209,79*	11,92*	265,73		15,14	30,09*	20,94*
1998	7,20	19,45*	15,90	5,41	111,43	3,11	10,81	177,86	9,07	253,40	20,30	9,72	18,36	19,83
1999	7,31	17,42*	15,25	4,50	94,51	5,21	8,00	151,57	5,52	186,15	17,97	8,64	17,24	10,90
2000	7,64	16,66	11,87	4,60	83,81	4,49	8,55	176,94	15,71	250,08	20,37	14,93	24,11	19,21
2001	4,39	12,57	10,49	2,03	51,24	1,39	5,65	79,25	2,58	94,16	20,14	6,12	11,63	10,10
2002	5,93	20,99	17,96	5,02	95,58	2,82	11,87	203,89*	11,05	258,36	19,49	12,18	24,06	13,73

Continua...

Quadro 1B – Cont.

104

Ano	40330000	40400000	40500000	40530000	40549998	40680000	40710000	40740000	40770000	40800001	40850000	40930000	40960000	40975000
1978	62,23	15,14	4,46*	4,31	4,35*	6,99	25,64	38,69	4,30	53,54	75,69	17,46	23,68	8,50
1979	74,16*	18,04	5,84*	9,23	7,88*	6,86	50,86	56,73	7,78	83,27	133,78*	24,26	37,45	14,10
1980	81,04	21,86	6,99	5,13	6,03*	6,51	37,66	50,44	7,92	73,97	111,14	12,62	19,67	7,07
1981	73,41	14,74	4,92	2,97	6,89*	7,67	43,80	53,10	10,46	68,29	109,86	13,53*	19,38	7,20
1982	124,86	27,61*	13,36	9,20	7,35*	9,17	47,04	59,01	12,09	83,21	130,71	25,20	44,05	
1983	229,00	43,04*	19,13	14,20	11,90	14,97	74,44	107,43	21,21	164,86	296,86	35,38	58,92	
1984	91,11	22,67	7,23	3,34	5,75	6,32	32,70	41,31	9,20	63,00	89,57	11,81	19,98	
1985	187,43	37,85*	18,64	4,75	9,10	12,48	57,66	82,47	16,29*	127,14	206,86	15,63	18,73	5,86
1986	96,97	25,54*	9,06	5,38	6,05	3,67	38,13	54,54	11,09*	86,36	110,37	9,03	25,29	17,37
1987	77,31	20,10*	3,82	1,90	5,30	10,44	43,40	45,66	9,76	64,73	85,47	9,70	16,51	4,35
1988	73,26	15,03	5,35	3,74	4,98	8,25	30,90	47,94	10,48	68,56	132,29	10,63	17,48	
1989	61,53	17,11*	4,27	1,73	5,93	6,29	26,14	32,77*	10,89*	41,87	61,10	12,62	18,41	
1990	60,46	14,89*	5,46	3,01	3,53	3,12	20,46	35,70*	6,78*	46,74	74,19	8,80	11,19	
1991	55,99	9,42	6,53	4,87	5,21*	6,43	34,34*	44,89*	8,74*	62,07	105,96	13,53	8,12	
1992	111,57	16,04	6,58	5,73	7,16	8,48	43,40	57,40*	12,98*	82,91	130,14	13,62*	19,55	8,49
1993	100,94	27,16	5,88	5,56	9,66	10,15	66,83	68,83	17,26*	96,97	158,99*	25,85	34,27	10,91
1994	67,94	14,57*	4,68	2,63	4,95	9,78	42,20	47,93	9,20*	70,37	111,43	14,89	22,50*	11,10
1995	59,54	14,24	5,32	1,64	4,84	4,87	31,60	35,90	9,02*	47,88*	92,39	13,01	19,55*	7,26
1996	79,79	14,37*	4,20	3,21*	6,86	6,17	43,46*	48,73	12,48*	71,11	119,71	12,60	18,89*	4,09
1997	111,29*	24,73*	10,86	4,00	8,17	12,59	51,75*	67,87	14,71*	99,99*	166,53*	14,73*	27,76*	11,61
1998	75,67	22,59	6,82	4,97*	4,33	4,77	27,42*	47,78	8,15*	68,43	103,51	19,04	29,01*	8,70
1999	61,74	15,69*	4,76	1,46	4,83	4,76	27,37	38,83	9,01*	44,76	62,91*	10,44	15,51*	
2000	88,51	27,67	8,56	7,82*	5,51	5,87	35,03	47,62	10,17*	70,66	99,40	22,11	33,84*	15,06
2001	50,72	11,02	3,45	1,83	3,26	2,56	21,46	28,42	6,31*	34,52	45,82	12,09	18,10*	4,71
2002	83,33	20,64	6,92	4,01	6,46	6,58	36,13	54,21	11,78*	70,17	115,91	19,23	29,31*	15,77

\*Dados preenchidos.

Quadro 2B – Série de dados originais e preenchidos de vazões mínimas de sete dias do 2º trimestre (Q7\_2º trim.), em (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Ano	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000	40053000	40060001	40070000	40080000	40100000	40150000	40170000	40185000	40300001
1978	3,48	10,97	7,10	2,22	47,66	0,98	7,26	78,89	2,67	99,89	18,93	7,09	15,37	11,17*
1979	4,26	12,83	8,82	2,86	57,21	1,29	9,00	95,10	4,85	120,57	27,13	11,09*	22,16	14,24
1980	6,50	13,67*	8,07	2,93	60,74	1,48	9,17	93,94	2,84	114,14	27,73	10,20	23,26	13,54
1981	4,75	10,81*	8,63	2,35	44,83	0,22	6,36	71,99	2,70	90,63	17,09	7,14	14,67	11,13
1982	5,88	16,86	11,11*	3,34	77,71	1,81	10,36	127,71	5,21	160,29	30,56	10,70	21,50	16,70
1983	7,60	25,09*	16,22*	5,16	124,14	4,01	11,54	203,57	7,31	256,14	49,93	19,99	40,66	23,54
1984	3,99	12,16	8,00*	1,96	49,44	0,79	8,14	76,79	2,22	93,57	14,36	8,18	16,46	12,96
1985	5,28	14,40*	9,69*	2,33	64,79	1,28	8,06	105,86	4,04	133,43		11,81	24,40	18,53*
1986	4,10	11,28	8,06	2,61	50,61	1,06	7,24	79,10	2,50	101,66	17,56	7,87	15,06	11,37
1987	4,37	13,50	8,33	2,88	57,71	1,20	7,80	91,46	3,41	111,14	14,80	8,88	16,67	8,39
1988	3,31	11,06	7,02	2,15	43,70	0,61	6,41	67,69	2,49	85,63	18,51	5,94	11,99	10,47
1989	4,03	10,06	6,80	1,54	38,07	0,74	5,99	58,16	1,88	75,50		6,66	10,30	9,48
1990	4,37	9,66	6,62	1,45	40,10	0,61	5,76	60,43*	1,96	73,13		5,15	8,30	9,15
1991	5,70	14,68*	10,05	3,41	66,31	1,77*	11,27	108,00	5,04	132,23		6,36	13,04	12,33
1992		15,33*	10,48	3,87	69,96	1,92*	11,06	120,84*	5,17	149,60	20,73	10,10	17,56	12,97
1993	5,05	14,27	10,24	3,70	65,16	1,54	9,54	112,29	3,84	130,93	31,31	8,18	16,30	13,51
1994	5,20	14,52	9,45	3,91	61,06	0,84	7,27	107,43	4,35	125,79	18,90	7,43	14,51	13,90
1995	4,45	12,73*	8,11	2,96	55,49	1,11	7,49	90,40	3,92	105,17	25,47	5,51	11,14	13,16
1996	5,59	10,45*	7,21	2,51	42,81	0,50	5,14	67,11	1,93	78,06	18,70	3,97	8,94	9,00*
1997		14,02*	9,25	3,30*	62,67	0,86	9,09	106,86	4,16	129,43		9,66	15,61	13,62*
1998	4,56	12,24*	8,40	3,03	52,77	1,36	8,21	89,59	3,65	107,93	18,20	7,11	11,99	9,79
1999	4,16	11,45*	7,94	2,53	48,37	1,34	6,75	82,49	3,19	100,31	17,01	7,94	11,89	8,74
2000	3,75	12,20	7,91	2,39	51,46	1,37	8,13	93,65	3,75	112,54	18,27	8,19	13,39	11,25
2001	2,00	7,82	5,85	1,15	28,86	0,50	4,45	48,88	1,26	58,27	7,00	4,50	6,87	5,71
2002	3,50	10,92	7,32	2,20	43,44	0,92	6,75	71,16*	2,36	86,70	16,88	4,63	8,66	6,98

Continua...



Quadro 2B – Cont.

106

Ano	40330000	40400000	40500000	40530000	40549998	40680000	40710000	40740000	40770000	40800001	40850000	40930000	40960000	40975000
1978	57,76	10,96	4,82*	1,95	4,20*	4,54	25,57	35,23	5,50	47,49	59,26	9,57	12,05	4,85
1979	81,03	19,47	6,45*	2,69	5,34*	5,88	33,20	44,24	7,78	63,99	95,65*	8,35	13,10	5,08
1980	73,41	15,11	5,42	2,19	5,17*	5,08	32,09	41,09	5,75	56,47	83,43	7,31	12,40	4,87
1981	54,26	11,90	3,42	1,70	4,88*	4,54	30,10	37,57	6,59	47,87	67,74		11,60	4,54
1982	78,24		7,16	3,91	5,85*	5,59	36,63	44,59	6,56	58,76	103,21	8,62	15,34	
1983	139,43		9,62	4,23	8,06	8,82	49,99	57,01	12,87	94,26	137,00	10,53	17,12	
1984	60,57	12,70	4,48	1,33	3,91	3,88	23,80	28,70	6,85	42,71	57,20	6,38	9,45	
1985	103,73		7,44	2,50	5,54	5,95	32,86	45,87	9,00*	74,16	90,81	7,66	7,92	4,22
1986	59,16		5,11	1,98	3,61	2,67	21,56	30,40	6,08*	45,76	56,61	7,14	7,88	4,87
1987	53,70		3,10	1,97	4,23	5,46	26,47	34,86	6,04	50,01	67,73	7,48	11,41	4,29
1988	48,91	14,14	4,15	1,66	3,94	4,79	20,44	28,16	7,15	43,29	61,10	6,84	7,41	
1989	47,36		3,60	1,48	3,94	5,05	20,06	31,06*	6,57*	31,90	47,31	6,09	6,79	
1990	44,63		3,64	1,60	3,18	2,98	17,20	25,96*	5,43*	32,13	47,33	5,97	6,28	
1991	60,06	11,61	4,73	2,96	4,60*	6,03	28,94*	36,92*	6,72*	53,01	72,46	9,47	11,91	
1992	71,90	19,04	6,45	2,82	4,74	4,46	26,10	36,51*	7,79*	47,87	79,46		10,46	2,26
1993	70,49	18,04	4,36	1,86	5,28	6,53	34,00	38,17	8,60*	49,51	80,23*	11,78	8,16	4,55
1994	62,01		6,33	2,64	4,42	6,17	30,14	35,39	7,31*	53,87	76,10	9,93		5,96
1995	55,96	13,54	5,15	2,32	3,77	4,25	23,40	29,41	6,32*	39,84*	71,79	8,89		4,12
1996	44,19		2,69	1,29*	3,75	2,91	22,53*	28,20	6,30*	40,59	59,70	7,48		3,03
1997	73,06	15,79	6,81	2,73	5,23	6,94	30,69	41,47	8,52*	56,79	91,61	10,91		5,37
1998	49,30	13,67	4,53	2,24*	2,88	6,29	17,09*	30,03	4,98*	31,64	57,80	10,07		4,24
1999	48,89		4,71	1,12	3,08	2,95	20,00	23,56	5,29*	26,30	43,10*	8,75		
2000	53,07	16,43	5,68	2,00	2,84	2,93	20,65	24,30	4,92*	31,55	44,69	10,12		4,30
2001	30,17	6,76	2,00	0,66	2,37	1,85	12,76	16,98	4,21*	20,65	25,20	7,31		2,56
2002	40,24	8,54	3,76	1,42	2,74	2,63	16,91	22,35	4,77*	29,24	41,54	8,22		3,68

\*Dados preenchidos.

Quadro 3B – Série de dados originais e preenchidos de vazões mínimas de sete dias do 3º trimestre (Q7\_3º trim.), em (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Ano	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000	40053000	40060001	40070000	40080000	40100000	40150000	40170000	40185000	40300001
1978	3,03	7,27	4,46	1,50	29,61	0,53	5,31	48,47	1,02	61,01	20,03	4,85	10,11	9,26*
1979	3,29	10,19	6,30	1,86	41,40	0,75	6,94	65,81	2,07	81,37	17,93	8,18*	16,36	10,82
1980	4,75	9,14*	5,32	1,66	36,63	0,61	6,66	56,41	1,20	68,49	27,73	6,20	13,56	10,28
1981	3,52	7,16*	4,91	1,49	26,19	0,15	4,18	42,64	0,98	53,03	14,90	4,64	9,73	9,18
1982	3,87	10,03	6,12*	1,86	40,93	0,99	6,51	66,09	1,69	82,89	16,20	7,31	15,30	11,70
1983	5,37	15,39*	9,84*	3,10	69,53	1,80	8,19	116,57	3,31	147,86	17,07	13,04	26,61	15,24
1984	3,01	9,23	5,68*	1,46	37,51	0,55	6,33	59,97	1,52	74,03	12,83	6,44	13,57	10,44
1985	3,45	9,72*	5,96*	1,39	39,70	0,75	5,88	64,36	1,69	80,31		8,68	17,33	13,50*
1986	2,95	8,24	6,00	1,61	37,03	0,45	5,02	51,89	1,20	64,80	14,80	5,94	8,79	7,26
1987	3,59	9,60	5,33	1,73	36,76	0,32	5,65	55,10	1,54	67,53	15,00	6,36	10,59	5,20
1988	2,53	7,12	3,79	1,12	25,50	0,19	4,18	38,06	0,74	49,20	16,30	2,33	5,93	6,94
1989	3,00	8,43	4,97	1,13	29,21	0,26	4,81	43,29	0,73	54,53		2,94	5,93	7,73
1990	3,55	7,76	4,93	0,91	29,97	0,39	4,69	46,10*	0,93	54,82		3,52	6,97	7,77
1991	5,95	9,32*	6,15	1,61	37,56	0,45*	7,44	58,69	1,71	72,29		3,48	7,94	8,32
1992		11,05*	7,44	2,38	46,69	0,72*	7,59	76,31*	2,41	94,05	17,43	6,22	12,54	9,64
1993	2,97	9,56	6,64	2,24	41,26	0,63	5,71	69,14	1,67	79,44	20,40	4,96	10,17	9,32
1994	3,73	9,04	5,19	1,96	34,19	0,09	4,42	55,46	1,12	63,53	16,90	3,47	6,93	8,08
1995	2,77	8,23*	4,59	1,68	31,86	0,21	4,65	52,04	1,27	59,65	18,60	1,69	5,12	7,80
1996	5,12	8,17*	4,97	1,60	31,50	0,41	4,05	51,31	1,04	58,12	18,70	2,68	6,76	7,23*
1997		9,39*	5,52	1,90*	37,96	0,62	5,71	61,44	1,32	71,79		5,11	7,59	9,08*
1998	1,91	8,48*	4,99	1,64	33,16	0,79	4,92	52,80	1,15	61,34	16,50	3,40	4,60	6,94
1999	2,80	8,10*	5,03	1,45	31,17	0,55	4,56	51,59	0,98	58,73	16,50	4,02	5,59	6,44
2000	2,80	8,98	5,50	1,53	36,18	0,80	5,32	63,89	1,41	75,83	17,84	6,12	9,21	8,91
2001	1,96	6,36	4,23	0,82	22,71	0,22	3,65	38,36	0,76	45,30	4,78	2,76	3,89	4,20
2002	2,77	6,97	4,63	1,29	27,89	0,41	4,50	45,94*	1,00	54,61	17,03	2,32	4,20	4,36

Continua...

Quadro 3B – Cont.

108

Ano	40330000	40400000	40500000	40530000	40549998	40680000	40710000	40740000	40770000	40800001	40850000	40930000	40960000	40975000
1978	47,21	7,51	3,39*	0,62	2,44*	3,01	17,06	21,94	4,85	27,14	37,74	4,62	7,16	1,88
1979	61,79	15,03	4,70*	1,38	3,96*	4,50	26,24	35,71	7,91	46,13	67,01*	4,24	8,07	2,91
1980	54,61	10,19	3,49	1,03	3,19*	3,29	23,44	28,69	3,51	35,67	54,89	4,05	6,70	2,54
1981	46,41	6,67	1,77	0,67	2,59*	2,78	20,70	23,27	3,88	24,40	41,00		6,14	3,19
1982	52,59		4,29	1,44	3,03*	2,64	23,30	27,24	6,94	35,10	46,60	3,90	7,28	
1983	77,04		6,57	1,55	4,66	6,25	34,94	43,99	10,00	61,74	95,37	6,34	8,78	
1984	45,93	10,74	3,97	0,83	3,08	2,21	20,81	24,24	5,65	34,07	47,61	4,89	6,77	
1985	67,44		4,84	1,28	3,77	2,78	21,94	32,29	7,50*	47,24	61,80	4,85	3,82	2,42
1986	47,67		3,26	0,47	2,85	2,24	16,79	23,27	5,08*	31,44	38,51	4,85	3,90	3,96
1987	38,76		2,44	0,59	2,89	3,60	18,36	22,81	4,56	33,04	43,40	4,66	4,98	2,31
1988	38,21	5,99	2,53	0,80	2,37	1,45	13,94	18,41	4,32	23,43	34,56	3,75	3,09	
1989	38,09		2,78	0,70	3,01	2,68	16,20	20,53*	5,49*	25,57	39,63	4,13	4,37	
1990	41,34		2,89	0,79	2,68	2,97	17,09	21,03*	4,64*	26,36	41,51	3,90	4,00	
1991	41,36	7,14	3,27	1,29	2,84*	3,17	18,48*	24,81*	5,26*	32,36	43,97	5,97	5,15	
1992	51,91	13,00	4,47	0,94	3,61	2,55	20,31	27,87*	7,07*	37,23	51,54		5,79	0,93
1993	43,89	11,43	2,67	0,55	3,23	4,10	24,07	25,13	6,06*	30,13	44,13*	6,68	4,14	2,71
1994	38,83		1,19	0,59	2,00	3,04	18,26	19,07	2,84*	26,40	43,09	5,69		2,57
1995	37,41	7,95	2,92	0,74	1,84	1,47	16,60	17,11	2,41*	20,76*	42,24	6,26		2,06
1996	37,56		2,15		2,57	2,70	17,72*	21,30	4,34*	28,29	48,33	5,69		2,38
1997	46,40	9,74	3,65	0,95	3,01	2,56	20,90	24,39	5,49*	31,43	57,80	6,84		2,85
1998	35,27	7,63	2,49		1,27	3,69	15,30*	17,88	0,92*	16,29	26,71	6,26		1,26
1999	35,79		2,65	0,11	1,80	1,90	11,81	14,01	2,31*	14,19	21,34*	5,69		
2000	44,64	10,99	3,72	0,68	2,15	2,21	14,71	18,99	3,24*	24,82	32,54	7,23		3,00
2001	22,98	4,96	1,56	0,36	1,44	1,34	11,48	13,42	1,37*	15,53	18,86	5,81		1,63
2002	33,05	5,61	2,38	0,49	1,45	1,65	12,26	14,36	1,38*	19,21	28,45	6,26		2,35

\*Dados preenchidos.

Quadro 4B – Série de dados originais e preenchidos de vazões mínimas de sete dias do 4º trimestre (Q7\_4º trim.), em (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Ano	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000	40053000	40060001	40070000	40080000	40100000	40150000	40170000	40185000	40300001
1978	2,66	7,21	4,03	1,39	28,09	0,52	5,13	45,39	0,75	56,67	21,33	4,56	9,71	
1979	3,14	9,32	6,94	1,61	38,67	0,63	6,23	62,19	1,46	77,19	23,43	7,26*	15,21	10,78
1980	4,31	7,28*	4,53	1,23	28,57	0,60	5,74	45,57	0,83	56,20	19,77	4,79	11,17	10,19
1981	4,29	7,52*	7,31	1,64	29,73	0,17	5,11	46,09	1,36	56,56	22,49	4,66	9,73	
1982	3,97	11,00	7,44*	1,82	43,90	0,86	5,93	67,80	1,46	82,41	25,79	7,47	15,61	10,99
1983	5,78	15,22*	11,58*	2,95	68,24	1,61	8,32	112,71	2,95	142,29	49,11	13,23	27,01	14,91
1984	3,01	7,27	5,18*	1,12	30,57	0,45	4,97	49,94	1,19	62,40	13,46	5,94	12,10	9,92
1985	2,93	8,46*	5,83*	1,14	34,43	0,62	4,92	57,19	1,13	72,37		7,42	15,57	
1986	2,60	7,64	5,07	1,24	31,11	0,23	4,57	44,49	0,78	57,22	14,30	4,68	7,48	1,79
1987	3,25	8,37	4,75	1,40	31,70	0,36	4,81	47,47	0,90	57,07	17,19	4,18	7,48	5,27
1988	3,55	9,22	4,35	1,48	29,60	0,18	4,90	41,84	1,24	52,11	18,17	3,93	8,88	10,05
1989	3,07	8,31	4,63	1,09	29,37	0,28	4,23	47,63	0,69	62,32		3,93	7,20	8,82
1990	4,27	7,18	4,79	0,80	25,66	0,23	4,20	41,73*	0,58	49,76		1,62	5,39	7,51
1991	5,95	8,98*	5,62	1,54	37,07		7,36	59,09	1,99	74,69		3,95	9,16	10,14
1992		13,52*	9,97	2,66	59,77		8,19	94,50*	4,78	118,31	21,64	7,17	13,59	11,20
1993	3,25	8,06	7,01	1,94	37,46	0,29	5,31	61,31	1,51	73,98	17,30	3,49	9,39	7,00
1994	3,44	7,98	5,11	1,97	33,81	0,10	4,00	55,01	0,99	61,65	16,50	1,97	6,58	6,04
1995	3,08	8,1*	4,85	1,69	32,67	0,46	4,23	56,91	1,66	70,56	18,30	3,63	8,56	9,68
1996	5,39	8,17*	5,27	1,46	33,00	0,75	4,12	53,36	0,78	61,53	20,80	2,79	6,35	
1997		8,34*	5,09	1,62*	33,83	0,48	5,29	54,47	0,78	62,13		3,91	7,00	
1998	3,00	8,76*	6,76	1,67	35,94	0,85	4,95	57,20	1,28	67,25	14,30	4,88	6,49	6,20
1999	2,80	7,11*	4,44	1,23	27,71	0,57	4,29	46,96	0,89	54,53	17,99	3,65	4,67	5,31
2000	2,31	7,51	4,87	1,30	29,84	0,26	4,50	50,60	0,93	58,57	17,79	4,30	5,46	6,92
2001	2,05	6,26	4,30	0,78	22,88	0,29	3,67	40,42	0,86	47,93	4,40	3,05	3,89	5,48
2002	2,37	5,16	3,52	0,83	22,32	0,30	3,60	35,72*	0,47	41,96	17,99	1,06	2,11	4,19

Continua...

Quadro 4B – Cont.

110

Ano	40330000	40400000	40500000	40530000	40549998	40680000	40710000	40740000	40770000	40800001	40850000	40930000	40960000	40975000
1978	44,84	7,12	3,04*	0,61	2,24*	2,91	15,51	20,31	1,54	24,93	33,01	4,31	5,42	1,72
1979	60,36	13,44	3,98*	1,06	3,98*	4,15	21,80	31,21	6,72	38,89	54,50*	4,05	8,12	2,75
1980	50,69	7,74	2,88	0,71	2,70*	3,00	17,20	23,21	4,71	28,87	41,61	1,65	6,07	1,53
1981	49,13	7,58	2,78	0,88	3,97*	2,95	25,93	31,11	4,59	36,67	46,70		8,44	5,93
1982	61,46	10,27*	3,41	1,40	3,66*	2,91	26,90	29,21	4,45	36,87	51,23	4,28	7,67	
1983	105,03	18,30*	6,13	1,24	7,58	7,76	38,49	49,41	9,52	66,14	88,00	5,85	8,56	
1984	42,03	10,74	3,41	0,39	2,19	1,89	16,99	23,91	5,54	29,41	43,59	3,83	2,75	
1985	48,36	12,97*	4,32	1,02	3,84	3,09	21,67	31,87		45,40	56,06	4,05	2,75	
1986	34,91	8,46*	2,79	0,24	2,22	1,14	14,26	21,56		26,14	34,24	4,50	3,32	3,36
1987	40,34	6,97*	2,29	0,33	2,67	3,30	15,40	21,07	3,47	26,24	41,34	3,90	3,59	
1988	49,36	8,69	3,01	0,94	3,65	5,27	23,46	30,39	0,11	39,97	49,59	5,14	5,11	
1989	41,04	8,36*	2,76	0,67	3,53	4,34	20,96	29,41*		37,73	60,04	3,90	5,28	
1990	40,16	8,00*	2,64	0,63	2,05	2,95	12,93	17,95*		21,36	35,63	3,50	3,27	
1991	47,21	8,72	3,27	0,93	3,22*	4,49	20,52*	26,53*		33,61	52,47	5,33	5,55	
1992	56,19	15,10	4,53	1,89	3,64	6,10	20,29	30,40*		39,14	65,71		7,22	3,25
1993	38,36	9,34	2,24	0,48	3,51	6,46	24,44	28,04		30,66	43,97*	6,55	3,73	4,00
1994	34,93	7,71*	2,54	0,40	1,89	2,97	17,90	18,81		25,83	41,79	5,21		2,40
1995	43,94	9,12*	3,02	0,85	2,76	3,79	25,09	28,03		35,50*	52,14	6,48		2,55
1996	38,87	6,09*	1,99		2,41	2,04	17,59*	21,81		30,11	46,50	5,49		3,36
1997	44,00	8,37	3,26	0,42	3,40	1,65	19,26	22,39		30,97	51,34	5,69		3,04
1998	38,01	8,68	2,59		3,17	4,23	21,17*	26,65		28,70	34,56	6,30		3,52
1999	35,17	7,53*	2,48		1,77	1,66	12,46	13,78		12,77	21,08*	5,69		
2000	38,53	7,58	2,69	0,15	1,34	1,57	13,58	15,89		18,34	25,02	5,21		2,01
2001	25,24	5,85	1,61	0,30	1,86	1,65	13,71	15,65		19,89	27,45	5,29		2,65
2002	29,28	4,21	1,65	0,08	0,84	0,36	9,35	10,93		14,08	20,38	4,64		2,32

\*Dados preenchidos.

Quadro 5B – Série de dados originais e preenchidos de vazões mínimas de sete dias do ano (Q7\_anual), em (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)

Ano	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000	40053000	40060001	40070000	40080000	40100000	40150000	40170000	40185000	40300001
1978	2,66	7,21	4,03	1,39	28,09	0,51	5,13	45,39	0,75	56,67	18,93	4,56	9,71	8,11*
1979	3,14	9,32	6,30	1,61	38,67	0,63	6,23	62,19	1,46	77,19	16,30	7,23*	15,21	10,78
1980	4,31	7,23*	4,53	1,23	28,57	0,60	5,74	45,57	0,83	56,20	19,77	4,79	11,17	10,19
1981	3,52	7,39	4,91	1,49	26,19	0,15	4,18	42,64	0,98	53,03	14,90	4,64	9,73	8,46
1982	3,87	10,03	6,56*	1,82	40,93	0,86	5,93	66,09	1,46	82,41	16,20	7,31	15,30	10,99
1983	5,37	13,18	10,66*	2,95	68,24	1,61	8,19	112,71	2,95	142,29	17,07	13,04	26,61	14,91
1984	3,01	7,27	5,01*	1,12	30,57	0,45	4,97	49,94	1,19	62,40	12,83	5,94	12,10	9,92
1985	2,93	8,28	5,58*	1,14	34,43	0,62	4,92	57,19	1,13	72,37		7,42	15,57	8,89*
1986	2,60	7,64	5,07	1,24	31,11	0,23	4,57	44,49	0,78	57,22	14,30	4,68	7,48	1,79
1987	3,25	8,37	4,75	1,40	31,70	0,32	4,81	47,47	0,90	57,07	14,80	4,18	7,48	5,20
1988	2,53	7,12	3,79	1,12	25,50	0,18	4,18	38,06	0,74	49,20	16,30	2,33	5,93	6,94
1989	3,00	8,31	4,63	1,09	29,21	0,26	4,23	43,29	0,69	54,53		2,94	5,93	7,73
1990	3,55	7,18	4,79	0,80	25,66	0,23	4,20	41,87*	0,58	49,76		1,62	5,39	7,51
1991	5,70	8,50*	5,62	1,54	37,07	1,14*	7,36	58,69	1,71	72,29		3,48	7,94	8,32
1992		9,94*	7,44	2,38	46,69	1,21*	7,59	75,97*	2,41	94,05	17,43	6,22	12,54	9,64
1993	2,97	8,06	6,64	1,94	37,46	0,29	5,31	61,31	1,51	73,98	17,30	3,49	9,39	7,00
1994	3,44	7,98	5,11	1,96	33,81	0,09	4,00	55,01	0,99	61,65	16,50	1,97	6,58	6,04
1995	2,77	7,72*	4,59	1,68	31,86	0,21	4,23	52,04	1,27	59,65	18,30	1,69	5,12	7,80
1996	5,12	7,67*	4,97	1,46	31,50	0,41	4,05	51,31	0,78	58,12	18,70	2,68	6,35	6,51*
1997		8,01*	5,09	1,58*	33,83	0,48	5,29	54,47	0,78	62,13		3,91	7,00	7,93*
1998	1,91	7,91*	4,99	1,64	33,16	0,79	4,92	52,80	1,15	61,34	14,30	3,40	4,60	6,20
1999	2,80	7,10*	4,44	1,23	27,71	0,55	4,29	46,96	0,89	54,53	16,50	3,65	4,67	5,31
2000	2,31	7,51	4,87	1,30	29,84	0,26	4,50	50,60	0,93	58,57	17,79	4,30	5,46	6,92
2001	1,96	6,26	4,23	0,78	22,71	0,22	3,65	38,36	0,76	45,30	4,40	2,76	3,89	4,20
2002	2,37	5,16	3,52	0,83	22,32	0,30	3,60	35,86*	0,47	41,96	16,88	1,06	2,11	4,19

Continua...

Quadro 5B – Cont.

Ano	40330000	40400000	40500000	40530000	40549998	40680000	40710000	40740000	40770000	40800001	40850000	40930000	40960000	40975000
1978	44,84	7,12	3,25*	0,61	2,29*	2,91	15,51	20,31	1,54	24,93	33,01	4,31	5,42	1,72
1979	60,36	13,44	4,64*	1,06	3,60*	4,15	21,80	31,21	6,72	38,89	55,19*	4,05	8,07	2,75
1980	50,69	7,74	2,88	0,71	2,64*	3,00	17,20	23,21	3,51	28,87	41,61	1,65	6,07	1,53
1981	46,41	6,67	1,77	0,67	2,64*	2,78	20,70	23,27	3,88	24,40	41,00		6,14	3,19
1982	52,59	9,50*	3,41	1,40	3,12*	2,64	23,30	27,24	4,45	35,10	46,60	3,90	7,28	
1983	77,04	16,03*	6,13	1,24	4,66	6,25	34,94	43,99	9,52	61,74	88,00	5,85	8,56	
1984	42,03	10,74	3,41	0,39	2,19	1,89	16,99	23,91	5,54	29,41	43,59	3,83	2,75	
1985	48,36	11,69*	4,32	1,02	3,77	2,78	21,67	31,87	6,37*	45,40	56,06	4,05	2,75	2,42
1986	34,91	8,02*	2,79	0,24	2,22	1,14	14,26	21,56	2,96*	26,14	34,24	4,50	3,32	3,36
1987	38,76	6,82*	2,29	0,32	2,67	3,30	15,40	21,07	3,47	26,24	41,34	3,90	3,59	2,31
1988	38,21	5,99	2,53	0,80	2,37	1,45	13,94	18,41	0,11	23,43	34,56	3,75	3,09	
1989	38,09	7,94*	2,76	0,67	3,01	2,68	16,20	20,95*	2,87*	25,57	39,63	3,90	4,37	
1990	40,16	7,66*	2,64	0,63	2,05	2,95	12,93	18,26*	2,03*	21,36	35,63	3,50	3,27	
1991	41,36	7,14	3,27	0,93	2,96*	3,17	18,40*	25,30*	4,23*	32,36	43,97	5,33	5,15	
1992	51,91	13,00	4,47	0,94	3,61	2,55	20,29	28,42*	5,21*	37,23	51,54		5,79	0,93
1993	38,36	9,34	2,24	0,48	3,23	4,10	24,07	25,13	4,14*	30,13	43,63*	6,55	3,73	2,71
1994	34,93	4,18*	1,19	0,40	1,89	2,97	17,90	18,81	2,06*	25,83	41,79	5,21		2,40
1995	37,41	7,95	2,92	0,74	1,84	1,47	16,60	17,11	1,50*	20,04*	42,24	6,26		2,06
1996	37,56	6,10*	1,99		2,41	2,04	17,90	21,30	2,88*	28,29	46,50	5,49		2,38
1997	44,00	8,37	3,26	0,42	3,01	1,65	19,26	22,39	3,24*	30,97	51,34	5,69		2,85
1998	35,27	7,63	2,49		1,27	3,69	12,36*	17,88	1,75*	16,29	26,71	6,26		1,26
1999	35,17	7,27*	2,48	0,11	1,77	1,66	11,81	13,78	0,40*	12,77	20,72*	5,69		
2000	38,53	7,58	2,69	0,15	1,34	1,57	13,58	15,89	1,09*	18,34	25,02	5,21		2,01
2001	22,98	4,96	1,56	0,30	1,44	1,34	11,48	13,42	0,28*	15,53	18,86	5,29		1,63
2002	29,28	4,21	1,65	0,08	0,84	0,36	9,35	10,93	0,58*	14,08	20,38	4,64		2,32

\*Dados preenchidos.

Quadros 6B – Dados originais e preenchidos de precipitações anuais (mm)

Ano	1845002	1845014	1846003	1943000	1944004	1944007	1944010	1944011	1944021	1944026	1944027	1944032	1945002	1945008	1945019
1978		1403*	1618	1846	1533	1611	1362	1283	1384	1513	1531	1652	1573	1604	
1979		1613	1720	1947*	2152	2007*	2050	1781	1894*	1972	2139	1984	1643	1653	1546
1980		1567	1424	1567	1511	1453*	1142	1347	1424*	1649	1586	1391	1515		
1981	1826	1555*		1569*	1572	1483	1520*	1472	1328	1660	1550	1583	1832		1697
1982		1783	1741	1412	1363	1406*	1182	1234	1440*	1499*	1506	1414			
1983	1810	2603	1831	2372	2480	2427*	2167	2263	2235	2627	2758	2251	2202		
1984		1298*	1038	1176	1315	1154	996	1311	1330	1214	1367	1435	1070	1232	911
1985		1624*	1487	2262	1757	1744*	1713*	1596	1437	1672*	1950	1633*	1427	1639	1748
1986		1563*	1339	1493	1430	1298	1409*	1341	1236	1392	1501	1387	1369	1498	1616
1987		1248*	1411	1322*	1510	1495	1231	1154	1216	1406	1719	1233		1349	
1988		1417	1293	1422	1302	1289	1407	1308	1182	1279	1246	1289	1468	1311	1332
1989		1772	1060	1527	1738	1607	1319	1504	1363	1609	1585	1376	1364	1644	1286
1990		1150	813	1252*	967	937	845	1015	1088	1145	1059*	1009		954	1034
1991		1756		1974*	1714	1715*	1649*	1608*	1519	1610	1743*	1555	1644	1725	1639
1992	1833	1939*	1971	1863*	1746	1956	1776	1832	1955	1934	1822*	1810	1981		1835
1993	1326	1232*			1314	1110	797	1177	1021	1294	1207*	1151*	1440	1288	1255
1994	1106	1779	1433	1392	1509	1495	1315	1331	1575	1366	1565	1653	1441	1647	1355
1995	1138	1406	1209	1737	1616	1683	1316	1737	1651	1597	1719	1614	1708	1490	1534
1996	1170	1470		1452	1543	1701	1493	1495*	1228	1877	1643	1155	1439	1197	1245
1997	1488	1722	1202	1379	1585	1485	1369	1560	1759	1633	1517	1632	1892	1639	1539
1998	1430	1445	1372	1488	1195	1193	1216	1271*	1377	1360	1278	1288	1314	1233	1302
1999	1418	1376	1320	1236	1100	1084	997	1133	1511	1127	1096	1401	1544	1592	1552
2000	1414	1780	1543	1629	1577	1324	1338	1423	1292	1625	1517	1436	1802	1631	1575
2001	1106	1415	1057	1496	1093	1088	878	960	1120	1092	1231	1083	1395	1362	1192
2002	1178	1437	1026	1476	1364	1170	1119	1197	1318	1383	1346	1327		1655	1074

Continua...



Quadro 6B – Cont.

Ano	1945035	1946000	1946009	1946010	2044002	2044003	2044006	2044007	2044008	2044009	2044012	2044016	2044020	2044021
1978	1492*	2008	1567	1718	1460*	1528	1309	1465		1547	1873	1465	1209	1666
1979	1848	2125	1800	1770	2035	1869	1842	1749	1998	1835	2422	2065	1824	2115
1980	1328	1866	1660	1917	1545	1472	1455	1528*	1327	1771	1831	1460	1633	1506
1981	1443	2103	1730*	1936	1381	1332	1429	1368	1615	1390	1859	1511	1414	1574
1982	1490*	1963*	1774	1945	1463	1589	1464	1576	1519*		1550	1438	1445	1434
1983	2378	2357	2189	2378	2334	2248	2099	1922	1959	2132	2514	2357	2103*	2547
1984	1336*	1405	1049	1280	1371	1254	1288	1152	1114		1328	1348*	1247	1390
1985	1512	1609	1490	1602	1598	1523	1434	1547	1638	1745	2134	1688	1663	1770
1986	1409*	1849	1411	1797	1253	1268	1289	1229	1480	1733	1485*	1481	1303*	1599
1987	1352*			1506	1295	1330*	1130	1131	1410*	1394	1855	1203	1334*	1520
1988	1037	1679*	1456		1235*	1227*	999	1102	1066	1378	1394	1409		1212
1989	1566*	1852	1716	1433	1563	1533*	1698	1544*	1565*	1488	1866	1816	1533*	1544
1990	1069*	1388*	1128	891	1108	1183*	1024	1075*	1081*	1184	1527	1063*	1196*	1062
1991	1642*	1797*	1588	1737	1473	1628*	1414	1596*	1664*	2095	2028	1895	1466*	1886
1992	1738		1715*	2757	1756	1653	1610	1738*	1823*	1840	1849	1728	1676*	1964
1993	959	1677*	1453	1842	1325	1078	1195*	1105	1233	1545	1480	1204	1356*	1311
1994	1354	1815	1732	1734	1557	1387	1447*	1215	1460	1351	1827	1415	1393	1601
1995	1682	1353	1406	1592	1600	1579*	1529*	1606	1288	1706	2116	1382	1443	1725
1996	1053	1579	1313		1525	1484*	1399	1363	1565*	1631	1776	1430*	1623	1768
1997	1534	2138	1885	2022	1753	1619*	1650*	1683	1450	1642	1890	1839	1702	1740
1998	1289	1638	1379	1500	1326	1296	1281*	1257	1398	1209	1539	1335	1398	1261
1999	1396	1501	1305*		1274	1095	1393	1089	1153	1381	1591	1531	1228	1415
2000	1390	1385	1451	2105	1619	1236	1368	1359	1426	1316	1592	1621	1548	1655
2001	1160	1241	933	1658	1197	1185*	1195	1129	1183	1344	1557	1339	1277	1296
2002	1242	1628	1296	1543	1488	1109	1388	1523	1336	1295	1661	1628	1551	1413

Continua...

Quadro 6B – Cont.

115

Ano	2044024	2044026	2044027	2044040	2044042	2045001	2045002	2045005	2045010	2045012	2045013	2046007	2046013	2143006
1978	1493	1543	1465	1556	1552	1359	1294	1478	1474	1390*	1339	1389		1338
1979	2153	1973	1722	1773	2022	1576	1304	2097	1476	1683	1792*	1464	1796	1413
1980	1557*	1485	1561	1519*	1644	1428*	1244	1481*	1416	1394	1447	1321	1676	1348
1981	1676	1525	1640	1350*	1286	1609	1281	1591	1499	1613	1477	1614	1760	1457
1982	1573	1494	1783	1526*	1759	1770	1599	1943	1237	1587	1481	1678	1625	1710
1983	2463*	2490	2280	2179*	2373	2438	1890	2386	2024	2171*	2255	2404		1692
1984	1158	1331	1088	1194*	1159	1401	1081	1389	1158	1020	1376	1044		1125
1985	1869	1883	1725	1774*	1517	1478	1270	1549	1578	1430	1658	1499		1492
1986	1545	1558	1475	1329*	1427	1499	1132	1494	1319	1529	1552	1658	1685	1362
1987	1652*	1393	1350	962	1103	1211*	1161	1344	1259	1181	1199	1158	1226	1298
1988	1390	1284	1279	1150	1146*	1200	1133	1157	981	1390	1118	1161		1358
1989	1517	1616	1529*	1317	1336	1614	1442	1413	1373	1431	1470	1301		
1990	1186*	937	1327	1031	1026	1033*		1067	1048*	1191	978	926	1330	1099
1991	1836	1653	1601	1881	1560	1591*	1699	1462	1559*	1520*	1521	1784	1771	1694
1992	1734	1914	1861	1750	1734*	1818*	1759	1829	1849*	1993	2031	1854		1482
1993	1348	1212	1511	1091*	1264	1179*	1303	1275	1165	1224	1249	1233	1751	1523
1994	1751	1628	1428	1347	1253	1512*	1331	1223	1331	1259	1671	1494	1382	1656
1995	1807	1537	1474	1685	1499	1342	1123	1212	1433	1452	1402	1540	1850	1325
1996	1687	1538	1858	1407*	1369	1267	1189	1434	1334	1767*	1162	1411	1887	1695
1997	1770	1471	1551*	1533*	1501	1671	1866	1695	1735		1739	1709	2014	1741
1998	1319	1168	1568	1348	1441	1164	1361	1259	1283	1618	1236	1258	1399	1397
1999	1213	1327	1250	1040	1137	1386	1172	1369	1424	1242	1289	1348	1369	1119
2000	1609	1390	1526*	1393	1462	1346	1426	1395	1481	1506	1430	1355	1681	
2001	1240	1162	1162*	1360	1469	1251	1193	1304	1282	1229	1411	1350	1153	
2002	1456	1328*	1354*	1399	1038	1350	1366	1304	1128	1336	1316	1646	1379	

\*Dados preenchidos.

Quadro 7B – Dados originais e preenchidos de precipitações do semestre mais seco (mm)

116

Ano	1845002	1845014	1846003	1943000	1944004	1944007	1944010	1944011	1944021	1944026	1944027	1944032	1945002	1945008	1945019
1978	180,6	345,3	188,4	293,3	240,4	217,4	130,1	173,8	168,1	170,6	204,6	202,1	257	214,2	232,2
1979	206,2	223	215,2	360,2	303,8	226,6	202,1	219,8	231,9	214,6	285	228,8	315,8	313,8	280,2
1980	160,7	168,4	150,2	94,3	144,8	152,7	93,1	169,1	125,7	162,4	141,7	141,2	190,5	192,6	139,2
1981	93,8	109,4	64,6	135	130,3	82,3	131,1	126,3	116,8	129,6	108,6	122	180,3	136	198,5
1982	69,4	153,4	98,5	71,6	139,6	106	87,7	91,2	66,2	152,4	122	63,2	131,6	84,4	104
1983	307,6	297,3	232,5	355,5	348,3	318,7	259,1	333,5	320,4	374,6	413,7	310,5	387,4	346,5	296,6
1984	302,2	289	228,8	192	268,6	231	160,1	282,6	258,2	224,8	332,1	295,6	257,2	175,4	184,2
1985	155,3	144,3	101	203,5	82,1	118	92	150,3	138,2	124,3	96,5	152,1	134,5	128,8	107,8
1986	205,4	210,6	246,6	203,4	140,5	134	92,4	157,9	150,3	135,1	156,7	154,5	218,6	166,2	212,3
1987	187,5	271,4	328,3	229,2	178	174,5	160,5	208,5	213,1	191,3	195,3	222,5	240,6	239	193,5
1988	119,8	152	164,7	185,2	137,1	148,5	162,2	191,4	148,5	138,6	135,8	137,8	177,7	136	131,8
1989	213,6*	200,7	70,2	215,2	190,2	146,7	108,7	159,3	100,5	210,5	169,9	99,9	170,3	127	126,6
1990	193,6*	345,6	167,8	260,7	200,8	152,3	137,7	124	131,5	207	210,7	133,1	264,1	228,4	199,4
1991	108,5	164,6	129,6		129,2	158,7	68,7	138,1	120,8	140	157,1*	156	104,8	107,5	149,8
1992	181,4	346,2	197,2	226,3	216,2	186,1	171,2	259,7	220,5	185,6	233,1*	269,9	347,3	239,2	343,1
1993	113,5	201,4	164,5	208,7	264,6	148,8	101,8	211,2	154	211,5	201,9*	173,2	246,3	214,5	193
1994	80,2	135,6	145,9	109,1	124,8	134,8	44,8	165,2	141,8	127,9	137,7	143,8	178,3	224,5	174
1995	51,4	238,4	100,8	176	135,3	186,4	109,8	187,1	260,3	236,4	159,6	226,4	199,1	130,2	293,4
1996	118,2	157	177,5	142,3	127,6	132,8	140,5	148,8	209,5	136,8	141,3	192	246,6	166,4	158,5
1997	254,2	254,8	122,8	219,4	239,4	197,3	171,8	265,1	243,8	281,8	237,2	236,8	278,6	286,1	251,7
1998	138	151,6	178,7	157,1	153,6	119,4	163,8	100,9	175,3	154,3	145,3	165,4	243,8	163,8	257
1999	39,4	63,9	45,7	94,2	38,5	29,2	44,7	23,6	17,1	46,9	37,3	22,6	81,8	55,8	51,4
2000	122	212,9	128,1	148,7	108,6	102	96,3	106,6	109,3	113,9	122,3	103,1	148,5	122,5	122,1
2001	97,8	217,4	107,1	164,5	113,2	98,4	117,9	106,7	81,6	137,3	118,9	87,5	152	128,6	170,9
2002	76,5	162,6	133	120,8	104,4	83,9	101,3	76,7	135,1	134,8	98,3	148,2	146,5	226,8	134,6

Continua...

Quadro 7B – Cont.

117

Ano	1945035	1946000	1946009	1946010	2044002	2044003	2044006	2044007	2044008	2044009	2044012	2044016	2044020
1978	249,6	360,2	283,5	349,7	252,7	337,4	272,2	357,9	328	343	286,8	250,8	218,4
1979	209,3	325,3	396,4	381	245,8	226	225,3	252,8	258	268,1	350,7	266,9	184
1980	91,1	275,3	203,2	251,6	151,2	172,1	157,6	227,4	131,3	206,8	186,1	137,7	146,3
1981	105,1	245,4	145,3	154,9	124,7	114,2	112,7	140,4	206,8	121,7	138,8	94	108,4
1982	95,5	161,8	138,4	191,8	134,7	102,8	104,7	110,7	212,8	112,3	151,5	125,2	139,8
1983	291,9	486,3	305,9	531,6	426,9	435,9	442,7	478,9	319,5	455,6	337,5	399,4	351,3
1984	228,6	286	270,9	277,9	241,1	203,8	263,5	203	225,4	206,5	263	336,5	248,1
1985	129,5	103	152,5	125,8	130,1	129,8	112	139,2	163,5	134,1	147,7	111,2	115,6
1986	128,3	319,5	174,2	286,6	145,2	156,5	183,9	220,7	119,4	230,4	185,7	146,8	131,5
1987	139,5	344,3	252,4	387,5	186,6	190,5	211,8	247,5	229,1	309	277	212,1	208,9
1988	78,1	193	194,9	194,4	170	157,2	153,2	108,6	142,1	129	202,3	207,1	155,1
1989	79,5	309,1	276,2	287,5	194,1	132,1	223,3	319,8	201,6	238,8	257,1	253,2	250,6
1990	131,4	122,9	290,5	184,5	200,4	216	177,4	293,7	203,4	280	213,4	199,8	191,7
1991	148,5	211,4	152,6	199,5	131,7	173,1	178,7	176,6	145,7	208,4	172,4	224,3	154,6
1992	199	451,1	492,4	490,7	303,3	146,4	157,3	284,5	143,2	278,2	187,9	236	235,6
1993	150,1	190,7	230,2	347,9	252,3	124,9	138,1	137,4	143,9	283,8	239,6	223,9	168
1994	133,6	327,9	181,5	263,4	161,2	157	96,1	121,3	81,7	169	121,2	178	110,8
1995	215,9	163,7	235,3	180,8	159,8	86,4	72,5	225,9	105,2	179,1	111,3	168,6	128,6
1996	137,5	210,7	206,1	302,9	167,1	273,6	197,6	192,7	207,9	236,9	215,6	225,6	159
1997	223,6	261	287,9	286,5	321,7	261,5*	299,5	254,9	277,9	271,1	244,8	373,2	333,6
1998	215,6	270,4	265,1	316,6	146,7	154	135,9	177,9	168,5	226,2	218,3	161,3	148,2
1999	56,3	147	104,6	153	49,9	75,8	111,3	71,3	68,2	194,1	104,2	69,6	40,7
2000	146	142,8	149,7	192,3	146,3	130	148,8	173,5	121,2	105,6	144,5	195,6	149
2001	129,5	221,3	117	286	202	109,4	142,7	203,1	157,5	186,7	140	217,5	152,1
2002	51,4	149,2	166,2	150,3	100	85,8	159,3	123,4	107,2	124,2	126,8	149,8	101,6

Continua...

Quadro 7B – Cont.

Ano	2044021	2044024	2044026	2044027	2044040	2044042	2045001	2045002	2045005	2045010	2045012	2045013	2046007	2046013	2143006
1978	292,2	255	277,7	282,7	309,6	324,1	291,9	246,3	321,1	254,9	278,7	252,9	242,1	269	211,9
1979	242,8	313,6	228,6	320,2	272	311,9	345,6	264,5	303	314,2	405	390,7	310,9	297,1	293,6
1980	139,4	94,4	137,2	233,5	205,3	185	226,9	184,7	171,7	213,1	199,3	230,2	170,5	256,3	176,7
1981	116,4	164	132	223,8	187,7	121,9	185,7	114	136,2	176,2	135,2	115,6	174,6	167,4	162,2
1982	156,4	199	135,8	123,7	121	109,9	73,4	119,2	85	110,9	122,1	172,6	110,8	120,1	83,6
1983	364,2	382,8	415,7	603,8	478,5	569,2	402	459,7	583	428,2	609,4	515,5	447	498,7	491,2
1984	272,2	197,6	322,9	212,2	212,1	227,4	265,2	174,8	320,8	257,9	234,9	250,3	243,2	312	216
1985	122,1	145,5	113,4	164,8	124,2	138,1	136,7	183,1	170,1	186,6	147,5	114,2	93,7	210,2	155,5
1986	125,9	154,7	125,2	166,8	175,1	210,3	254	127,8	197,8	142,2	269,1	154,6	213,6	255,4	173,8
1987	274,7	235,5	217,6	230	219,1	219,3	226,8	179,7	293	253,2	225,3	283,6	265,2	150,5	304,8
1988	157,5	190,6	167,8	194	108,5	149,2	143,4	213,4	114	140,4	150,5	127,8	156,3	184,1	137,8
1989	217	209,2	173,2	232	294,6	209,8	383,2	253,6	187,8	215,9	240,6	235,9	219,6	196,3	182,8
1990	220,3	249,3	187,8	285,6	283,5	266	223,4	162,9	241,1	141,3	294,5	240,8	200,4	347,3	267,5
1991	156	173,6	153,1	167,2	194,4	176,2	214,9	194	203,2	183,5	258,2	195,7	204,8	162,3	183,1
1992	240,4	172	247,4	284,2	295,5	222	290,4	232	272,7	257,8	346,4	220,7	284,7	420,2	262,6
1993	245,6	234,1	211,2	247,8	188,7	170,3	372,8	228,4	180,2	176	247,2	218,4	228,5	282,4	248,9
1994	116,3	167,1	141,4	188,7	140	133,3	246	147,8	158,6	181,5	223,4	162,9	228,1	161,3	222,5
1995	161,4	175,9	235	139,8	228,2	194,9	148,6	125,6	180,3	138,9	194	148,4	196,5	311,7	126,4
1996	172,9	164,9	198,1	302	209,4	209,3	175,7	188,3	203,2	174,9	219,3	168,5	196,2	313,5	251,6
1997	307,1	296,8	294,7	202,2	240,2	246,9	220,6	259	295,9	269,5	306,6	317	214,5	246,9	222,1
1998	156,3	164,2	135,8	257	174,1	263,7	263,4	216,9	225,7	215,2	332,7	197,4	218,2	292,3	152,5
1999	41,4	43	43,7	145,8	70,9	158,4	204,1	134,8	138,7	158,9	152,6	85,9	189,5	119,1	137
2000	138	114,7	143,4	134,1*	179,9	129,2	115,5	98,1	123,7	120,3	145,4	80,6	126,2	177,2	117,4*
2001	117,4	140,3	152	175,3*	220,9	156,2	159,5	175	206,4	190,6	186,6	220,3	169,4	84,5	183,1*
2002	123,7	126,6	107,2	133,7*	126	106,6	158,6	177,4	138,6	91,8	168,1	98,8	146,2	135,2	150,0*

\*Dados preenchidos.

Quadro 8B – Dados originais e preenchidos de precipitações do trimestre mais seco (mm)

119

Ano	1845002	1845014	1846003	1943000	1944004	1944007	1944010	1944011	1944021	1944026	1944027	1944032	1945002	1945008	1945019
1978	18,6	16,4	10,5	78,5	73,2	73,7	18,8	42,6	29,8	58,2	65,2	70,9	58,3	66,4	39,6
1979	25,1	45,4	41,2	59,9	47,6	51,7	26,5	37,0	48,6	64	45,6	51,6	57,5	64,8	51,8
1980	36,2	52,2	24	20,3	50,6	48,7	18,6	29,1	36,1	38,6	44,1	36,0	64,5	72,4	45,4
1981	6,2	14,9	18,6	36,1	37,8	22,3	46,7	39,3	40,9	26,2	38,1	50,2	44,8	33,6	42,0
1982	8,6	5,4	0,5	10,4	10,0	5,0	1,8	3,7	7,4	19	8,6	3,8	19,2	86,0	13,2
1983	38,6	27,0	26	53,0	43,5	31,0	21,1	37,5	37,6	40,2	48,8	35,5	58,8	49,2	55,5
1984	8,0	54,5	40,8	7,5	16,5	14,0	3,0	28,3	12,3	13	49,1	19,6	40,4	21,0	6,2
1985	12,0	1,9	4	9,9	8,4	3,0	2,5	15,1	23,2	26,2	8,9	21,6	81,7	2,0	10,0
1986	86,8	103,2	59	74,0	60,7	56,0	37,5	72,0	67,2	59,4	69,9	67,7	89,1	60,2	90,1
1987	10,2	48,6	48,6	33,7	34,4	20,0	10,3	32,1	44,0	22,7	31,0	41,0	27,1	34,2	29,3
1988	40,6	5,4	6,6	0,9	5,8	6,2	97,2	0,7	50,2	2,6	2,5	2,3	4,0	12,8	3,5
1989		84,0	31,4	63,0	52,6	48,7	53,7	57,9	40,7	57,8	51,2	49,8	75,5	32,0	48,2
1990		67,4	63,2	75,1	59,1	48,8	52,4	42,8	40,9	80	64,2	42,3	74,7	79,2	60,1
1991	67,8	106,6	70,5	571,4	55,2	95,2	46,3	34,8	1,0	2,8		1,4	7,3	28,0	5,6
1992	3,4	5,1	42	21,9	11,4	14,4	8,0	2,3	5,1	16,4		5,3	7,5	2,0	3,1
1993	25,9	26,5	23,8	38,0	33,1	40,6	24,5	48,9	38,8	51,3		51,5	44,2	75,3	52,7
1994	74,6	78,5	40,3	3,3	8,0	7,2	37,0	56,3	45,0	5,7	9,7	0,4	2,2	54,0	1,5
1995	20,4	93,2	0,3	3,5	2,6	73,6	24,8	6,2	10,6	3,8	2,9	7,2	9,0	3,0	5,5
1996	22,0	4,2	26,2	16,4	17,3	33,0	6,8	28,4	46,3	25,6	17,8	42,9	31,8	26,2	10,6
1997	44,2	41,1	13	33,0	40,6	45,6	45,7	46,6	49,6	48,2	43,9	50,9	55,8	48,8	30,9
1998	39,8	33,6	55	39,3	26,4	21,6	54,0	15,5	19,7	15,4	26,6	19,2	45,6	25,4	51,0
1999	4,2	25,9	6,2	6,3	7,4	1,2	15,2	7,0	4,9	6,7	4,7	7,5	18,0	13,0	13,0
2000	15,0	22,6	18,7	22,3	9,9	10,0	2,7	7,7	9,0	2,8	7,5	12,1	18,4	24,3	10,6
2001	23,6	72,0	25,9	31,1	39,7	15,4	19,7	14,0	11,0	44,6	39,5	8,8	58,1	34,0	61,6
2002	12,5	17,0	25,3	5,5	7,8	13,8	16,7	7,6	28,9	7,5	13,8	18,3	16,9	7,3	20,6

Continua...

Quadro 8B – Cont.

120

Ano	1945035	1946000	1946009	1946010	2044002	2044003	2044006	2044007	2044008	2044009	2044012	2044016	2044020	2044021
1978	13,0	69,1	48,7	88,3	69,8	54,2	61,5	76,0	81,4	69,2	82,3	72,6	37,6	63,0
1979	37,6	72,5	54,3	77,7	56,3	71,4	69,3	66,4	67,2	74,4	87,3	79,2	53,2	57,6
1980	29,2	60,1	48,4	101,3	43,7	50,1	55,4	29,3	26,0	34,7	26,9	43,6	49,8	33,7
1981	36,5	64,6	34,8	15,0	39,5	32,6	18,1	37,1	22,3	43,1	22,3	20,2	43,0	23,3
1982	6,3	40,0	27,4	38,5	12,3	21,4	11,8	25,5	39,3	15,6	27,9	20,0	22,0	19,1
1983	15,7	96,6	54,8	93,2	60,0	51,8	49,4	69,2	71,4	56,1	49,8	42,3	56,2	45,9
1984	6,3	37,3	35,7	31,0	23,6	35,4	17,2	49,2	9,8	26,4	11,8	19,5	20,6	39,9
1985	17,0	68,0	1,2	60,0	11,2	15,0	11,4	10,0	4,2	6,6	8,9	10,7	10,8	10,4
1986	49,0	100,2	70,0	76,9	58,7	61,5	81,8	56,6	58,7	88,0	68,3	58,0	55,0	56,6
1987	27,4	48,9	40,8	29,2	39,2	44,1	43,3	33,0	16,1	59,8	54,1	46,5	33,2	46,0
1988	44,1	40,3	8,7	13,8	9,8	5,4	4,0	39,3	7,3	3,4	4,7	5,0	6,8	7,4
1989	27,8	68,3	136,4	101,9	67,7	37,2	108,0	104,3	42,7	88,4	122,8	119,5	89,4	98,2
1990	44,3	36,9	88,2	27,6	77,5	95,4	62,6	60,5	73,6	73,0	70,8	80,1	59,9	79,7
1991	71,5	0,3	49,5	56,3	7,0	63,5	0,5	8,8	43,1	7,0	4,7	72,2	4,2	17,2
1992	17,3	9,2	16,0	27,0	20,6	2,0	5,2	32,3	5,5	4,0	20,4	9,6	14,9	26,3
1993	28,1	13,5	48,9	49,6	66,9	29,2	12,2	14,4	12,6	73,4	44,8	58,0	36,3	75,7
1994	62,8	20,3	1,6	24,2	11,4	5,7	13,0	1,2	3,1	5,0	3,3	7,4	8,1	3,6
1995	33,0	2,1	0,1	1,2	10,2	8,1	12,5	5,8	6,3	3,2	7,3	3,3	5,5	1,4
1996	6,9	9,1	13,5	29,5	25,6	62,0	36,8	20,5	9,4	52,9	30,5	28,2	34,2	35,4
1997	44,2	48,2	47,3	67,2	74,4	98,4	48,0	62,8	82,6	75,0	41,4	53,8	62,4	50,0
1998	41,3	59,0	41,2	57,4	32,3	47,6	41,4	67,9	39,8	77,3	60,1	41,3	26,3	30,3
1999	3,9	33,4	5,5	36,0	12,6	10,7	23,1	8,0	1,2	20,0	3,6	14,2	6,6	12,6
2000	13,5	9,8	23,2	5,9	22,6	29,8	31,7	8,5	14,0	11,0	26,6	26,0	20,2	22,3
2001	27,1	48,7	35,4	84,3	50,7	16,3	36,9	31,3	37,7	39,8	33,8	66,2	44,7	42,5
2002	7,9	17,3	37,8	20,5	11,8	3,9	20,1	17,2	5,8	15,8	9,8	16,9	6,2	16,8

Continua...

Quadro 8B – Cont.

121

Ano	2044024	2044026	2044027	2044040	2044042	2045001	2045002	2045005	2045010	2045012	2045013	2046007	2046013	2143006
1978	64,0	57,9	59,9	81,7	63,4	72,4	27,7	46,9	69,9	53,1	75,2	48,4	53,6	43,6
1979	60,2	54,0	76,1	80,5	98,7	70,8	39,7	71,3	68,2	147,6	101,4	72,8	46,9	94,9
1980	32,8	36,7	51,8	30,2	44,5	81,4	62,8	39,1	61,3	63,2	66,7	56,0	71,2	50,9
1981	41,1	25,6	67,0	55,3	25,5	48,6	15,3	35,1	6,5	8,2	30,0	49,5	50,0	53,6
1982	15,6	14,3	35,3	21,0	28,8	10,2	33,8	16,0	24,8	23,1	11,1	26,6	46,3	38,8
1983	53,0	53,2	88,5	134,0	75,2	57,7	108,3	59,3	90,5	121,5	80,3	81,4	84,6	126,0
1984	15,6	25,1	28,4	56,8	23,8	27,7	25,7	44,8	20,4	21,4	26,0	31,8	34,8	59,8
1985	11,4	7,0	113,0	8,0	3,2	14,6	8,0	7,0	16,4	14,0	15,0	6,5	5,0	3,6
1986	47,6	60,8	51,8	57,0	75,4	96,9	52,3	63,5	63,2	110,5	62,9	91,8	82,8	71,8
1987	56,2	49,4	41,2	39,6	19,6	19,5	47,4	37,5	20,3	7,6	43,6	21,7	15,2	7,8
1988	3,3	7,2	8,0	40,8	4,4	10,7	14,3	13,9	10,2	15,0	22,8	11,2	25,8	14,5
1989	69,4	68,2	43,9	97,6	54,7	104,8	51,0	88,2	75,9	60,6	106,8	56,3	49,3	49,6
1990	109,0	71,7	105,4	54,0	82,1	75,8	42,8	59,2	53,3	100,8	63,8	73,7	92,1	65,7
1991	7,0	2,0	73,4	10,7	6,4	0,1	25,0	7,1	10,9	14,1	1,4	1,3	3,0	26,7
1992	12,8	11,8	36,2	31,0	34,9	131,1	19,5	41,0	13,2	53,3	14,5	8,6	20,2	31,7
1993	40,3	68,7	25,2	58,4	56,0	41,9	70,7	50,2	44,8	70,9	66,4	60,4	89,9	46,0
1994	10,5	6,4	83,7	2,0	0,8	8,6	4,0	2,7	7,9	12,0	4,2	5,7	11,3	4,2
1995	3,5	5,2	6,2	5,4	4,6	5,8	10,0	6,0	8,0	6,8	1,0	2,6	12,3	4,5
1996	28,5	60,9	42,4	20,6	34,5	16,2	32,5	16,5	29,9	24,9	28,5	25,0	64,4	33,6
1997	49,6	56,2	46,0	61,9	58,1	21,1	62,0	55,3	53,1	29,2	43,5	55,0	50,2	29,5
1998	39,4	22,2	77,2	65,2	66,3	43,1	39,8	70,4	58,1	65,0	46,4	31,8	57,9	54,1
1999	5,7	12,5	22,8	8,7	23,8	46,9	39,1	14,7	37,5	55,9	26,4	69,3	20,1	46,9
2000	9,6	22,0		13,9	9,6	4,6	4,6	3,6	8,9	4,0	10,2	5,3	7,5	15,8*
2001	30,0	35,2		25,4	47,3	46,8	57,6	64,0	49,2	41,9	80,6	49,4	24,5	39,1*
2002	11,2	15,5		16,6	12,5	27,4	22,3	30,5	5,5	24,4	13,4	26,6	43,8	28,4*

\*Dados preenchidos.



## APÊNDICE C

Quadro 1C – Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e do erro porcentual (% dr) entre as vazões médias mínimas observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e estimadas ( $Q_{7\text{ Est}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pelos modelos de regressão obtidos para cada região homogênea, considerando-se o primeiro trimestre

Região homogênea	Código da estação	Nome da estação	$Q_{7\text{ Obs}}$	$Q_{7\text{ Est}}$	r.p.	% dr
<b>Região I</b>	40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	6,25	6,41	-0,59	-2,63
	40680000	Entre Rios de Minas	7,43	7,33	0,27	1,21
	40710000	Belo Vale	39,59	37,41	1,27	5,49
	40740000	Alberto Flores	51,76	52,77	-0,43	-1,95
	40770000	Conceição do Itaguá	10,72	10,64	0,16	0,71
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	73,81	78,78	-1,46	-6,72
	40850000	Ponte da Taquara	117,22	113,25	0,77	3,89
<b>Região II</b>	40150000	Carmo do Cajuru	24,40	28,48	-1,21	-16,71
	40170000	Marilândia (ponte BR-494)	12,05	10,16	1,33	15,70
	40185000	Pari	23,96	21,74	0,75	9,26
	40300001	Jaguaruna-Jusante	16,43	17,15	-0,33	-4,38
	40330000	Velho da Taipa	89,59	86,93	0,23	2,96
	40400000	Estação Alvaro da Silveira	20,47	19,93	0,20	2,59
	40500000	Martinho Campos	7,32	8,31	-0,99	13,54
<b>Região III</b>	40025000	Vargem Bonita	7,26	5,98	1,44	17,71
	40032000	Fazenda Samburá	17,23	17,92	-0,25	-3,98
	40037000	Fazenda da Barra	15,17	15,78	-0,29	-4,01
	40040000	Fazenda Ajudas	4,38	4,18	0,34	4,49
	40050000	Iguatama	103,647	91,85	0,89	11,37
	40053000	Calciolândia	4,66	4,50	0,25	3,32
	40060001	Tapiraí-Jusante	10,56	9,86	0,50	6,61
	40070000	Ponte do Chumbo	173,39	185,62	-0,51	-7,05
	40080000	Taquaral	8,62	10,59	-1,48	-22,01
	40100000	Porto das Andorinhas	219,84	193,93	0,93	11,78
	40930000	Barra do Funchal	15,91	17,84	-0,85	-12,16
	40960000	Fazenda Bom Jardim	24,28	28,74	-1,25	-18,35
40975000	Fazenda São Félix	9,53	9,53	0,00	0,03	

Quadro 2C – Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e do erro porcentual (% dr) entre as vazões médias mínimas observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}, \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e estimadas ( $Q_{7\text{ Est}}, \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pelos modelos de regressão de cada região homogênea, considerando-se o segundo trimestre

Região homogênea	Código da estação	Nome da estação	$Q_{7\text{ Obs}}$	$Q_{7\text{ Est}}$	r.p.	% dr
<b>Região I</b>	40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	4,30	4,25	0,22	1,17
	40680000	Entre Rios de Minas	4,76	4,84	-0,32	-1,70
	40710000	Belo Vale	26,12	23,78	1,27	8,97
	40740000	Alberto Flores	33,92	33,27	0,36	1,89
	40770000	Conceição do Itaguá	6,71	6,97	-0,70	-3,79
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	46,78	49,20	-0,95	-5,17
	40850000	Ponte da Taquara	68,72	70,13	-0,38	-2,05
<b>Região II</b>	40150000	Carmo do Cajuru	21,45	20,73	1,00	3,37
	40170000	Marilândia (ponte BR-494)	8,17	7,10	1,48	12,99
	40185000	Pari	15,62	15,77	-0,21	-0,95
	40300001	Jaguaruna-Jusante	12,06	12,36	-0,42	-2,51
	40330000	Velho da Taipa	62,46	62,52	-0,09	-0,10
	40400000	Estação Alvaro da Silveira	13,84	14,43	-0,82	-4,27
	40500000	Martinho Campos	5,02	5,7	-0,94	-13,46
<b>Região III</b>	40025000	Vargem Bonita	4,60	8,16	-0,57	-77,28
	40032000	Fazenda Samburá	12,91	7,74	0,83	40,05
	40037000	Fazenda da Barra	8,66	12,14	-0,56	-40,09
	40040000	Fazenda Ajudas	2,23	2,89	-0,59	-12,80
	40050000	Iguatama	56,20	47,45	1,40	15,55
	40053000	Calciolândia	2,57	2,31	0,47	10,78
	40060001	Tapiraí-Jusante	7,92	9,36	-0,23	-18,11
	40070000	Ponte do Chumbo	92,37	86,45	0,95	6,41
	40080000	Taquaral	5,27	6,42	-1,01	-19,23
	40100000	Porto das Andorinhas	113,30	120,16	-1,10	-6,05
	40930000	Barra do Funchal	8,47	12,99	-0,73	-53,35
	40960000	Fazenda Bom Jardim	12,35	14,69	-0,89	-12,22
40975000	Fazenda São Félix	7,48	8,01	-0,76	-15,54	

Quadro 3C – Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e do erro porcentual (% dr) entre as vazões médias mínimas observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e estimadas ( $Q_{7\text{ Est}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pelos modelos de regressão de cada região homogênea, considerando-se o terceiro trimestre

Região homogênea	Código da estação	Nome da estação	$Q_{7\text{ Obs}}$	$Q_{7\text{ Est}}$	r.p.	% dr
<b>Região I</b>	40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	2,70	2,61	0,24	3,64
	40680000	Entre Rios de Minas	2,83	3,01	-0,40	-6,46
	40710000	Belo Vale	18,90	17,21	0,60	8,96
	40740000	Alberto Flores	23,27	24,87	-0,43	-6,88
	40770000	Conceição do Itaguá	4,68'	4,48	0,27	4,14
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	29,91	38,17	-1,48	-27,60
	40850000	Ponte da Taquara	68,72	56,28	1,29	18,09
<b>Região II</b>	40150000	Carmo do Cajuru	16,87	14,62	1,48	13,35
	40170000	Marilândia (ponte BR-494)	5,06	4,62	0,35	8,80
	40185000	Pari	9,81	10,98	-0,93	-11,94
	40300001	Jaguaruna-Jusante	8,62	8,48	0,11	1,66
	40330000	Velho da Taipa	45,04	45,30	-0,20	-0,57
	40400000	Estação Alvaro da Silveira	8,97	10,00	-0,82	-11,47
	40500000	Martinho Campos	3,20	3,58	-0,31	-12,01
<b>Região III</b>	40025000	Vargem Bonita	3,42	5,63	-0,52	-64,77
	40032000	Fazenda Samburá	8,91	5,38	0,83	39,63
	40037000	Fazenda da Barra	5,53	8,06	-0,60	-45,60
	40040000	Fazenda Ajudas	1,89	2,01	-0,59	-12,80
	40050000	Iguatama	35,68	29,61	1,43	17,01
	40053000	Calciolândia	2,57	2,31	0,47	10,78
	40060001	Tapiraí-Jusante	5,47	6,37	-0,21	-16,39
	40070000	Ponte do Chumbo	57,26	53,39	0,91	6,75
	40080000	Taquaral	3,78	4,02	-1,20	-9,23
	40100000	Porto das Andorinhas	69,38	73,96	-1,08	-6,60
	40930000	Barra do Funchal	5,32	8,58	-0,77	-61,10
	40960000	Fazenda Bom Jardim	9,45	11,69	-0,89	-12,22
40975000	Fazenda São Félix	5,48	6,01	-0,76	-11,54	

Quadro 4C – Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e do erro porcentual (% dr) entre as vazões médias mínimas observadas ( $Q_{7\text{ Obs}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e estimadas ( $Q_{7\text{ Est}}$ ,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) pelos modelos de regressão de cada região homogênea, considerando-se o quarto trimestre

Região homogênea	Código da estação	Nome da estação	$Q_{7\text{ Obs}}$	$Q_{7\text{ Est}}$	r.p.	% dr
<b>Região I</b>	40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	2,96	2,96	0,01	0,01
	40680000	Entre Rios de Minas	3,30	3,37	-0,20	-2,06
	40710000	Belo Vale	19,47	16,42	1,45	15,66
	40740000	Alberto Flores	24,78	22,94	0,75	7,41
	40770000	Conceição do Itaguá	4,51	4,84	-0,68	-7,20
	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	31,12	33,86	-0,82	-8,77
	40850000	Ponte da Taquara	44,71	48,17	-0,72	-7,73
<b>Região II</b>	40150000	Carmo do Cajuru	19,60	14,89	1,00	24,00
	40170000	Marilândia (ponte BR-494)	4,70	4,69	0,00	0,10
	40185000	Pari	9,43	11,18	-0,75	-18,62
	40300001	Jaguaruna-Jusante	8,11	8,63	-0,22	-6,35
	40330000	Velho da Taipa	45,49	46,20	-0,30	-1,54
	40400000	Estação Alvaro da Silveira	9,07	10,18	-0,47	-12,20
	40500000	Martinho Campos	3,01	3,64	-0,27	-20,86
<b>Região III</b>	40025000	Vargem Bonita	3,49	5,40	-0,48	54,48
	40032000	Fazenda Samburá	8,47	5,15	0,83	39,14
	40037000	Fazenda da Barra	5,72	7,74	-0,51	-35,23
	40040000	Fazenda Ajudas	1,55	1,63	-0,69	-9,80
	40050000	Iguatama	34,23	28,53	1,43	16,65
	40053000	Calciolândia	2,57	2,31	0,47	10,78
	40060001	Tapiraí-Jusante	5,14	6,11	-0,24	-18,88
	40070000	Ponte do Chumbo	55,02	51,48	0,89	6,42
	40080000	Taquaral	3,37	3,8702	-1,10	-10,23
	40100000	Porto das Andorinhas	67,10	71,33	-1,07	-6,30
	40930000	Barra do Funchal	4,81	8,24	-0,87	-71,17
	40960000	Fazenda Bom Jardim	9,35	11,29	-0,85	-12,34
40975000	Fazenda São Félix	5,78	6,31	-0,72	-12,24	

## APÊNDICE D

Quadro 1D – Vazões mínimas anuais com sete dias de duração, associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade de cada uma das estações fluviométricas das regiões homogêneas

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	1,526	L-Normal 2	5,887	20
	1,409	L-Normal 3	3,856	20
	1,425	Pearson III	3,577	20
	0,000	L-Pearson III	112,816	1
	1,380	Weibull	5,363	20
40680000	1,313	L-Normal 2	10,873	20
	1,192	L-Normal 3	10,782	20
	1,294	Pearson III	11,110	20
	0,000	L-Pearson III	117,442	1
	1,189	Weibull	13,196	20
40710000	11,482	L-Normal 2	6,954	20
	11,923	L-Normal 3	6,458	20
	12,763	Pearson III	7,171	20
	11,923	L-Pearson III	5,517	20
	12,115	Weibull	8,474	20
40740000	14,380	L-Normal 2	6,251	20
	14,707	L-Normal 3	6,021	20
	15,612	Pearson III	6,450	20
	14,690	L-Pearson III	5,148	20
	14,855	Weibull	8,174	20
40770000	1,160	L-Normal 2	14,416	20
	0,601	L-Normal 3	9,185	20
	0,775	Pearson III	7,984	20
	0,000	L-Pearson III	129,694	1
	0,587	Weibull	12,352	20
40800001	16,118	L-Normal 2	7,634	20
	16,447	L-Normal 3	7,489	20
	18,131	Pearson III	7,879	20
	16,383	L-Pearson III	6,429	20
	16,806	Weibull	10,180	20
40850000	25,005	L-Normal 2	10,543	20
	25,280	L-Normal 3	10,749	20
	27,071	Pearson III	11,587	20
	25,211	L-Pearson III	10,284	20
	25,547	Weibull	12,684	20
<b>REGIÃO II</b>				
40150000	12,118	L-Normal 2	12,538	10
	13,088	L-Normal 3	15,665	20
	12,751	Pearson III	6,609	20
	0,000	L-Pearson III	110,548	1
	18,657	Weibull	33,864	1

Continua...

Quadro 1D – Cont.

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
40170000	1,898	L-Normal 2	12,783	20
	1,204	L-Normal 3	13,307	20
	2,409	Pearson III	14,146	20
	0,000	L-Pearson III	122,578	1
	1,976	Weibull	17,040	20
40185000	3,850	L-Normal 2	12,246	20
	3,714	L-Normal 3	12,869	20
	4,953	Pearson III	12,230	20
	0,000	L-Pearson III	122,828	1
	4,028	Weibull	16,052	20
40300001	4,698	L-Normal 2	7,721	20
	4,392	L-Normal 3	6,957	20
	4,457	Pearson III	6,725	20
	0,000	L-Pearson III	112,587	1
	4,309	Weibull	8,681	20
40330000	29,873	L-Normal 2	7,065	20
	31,084	L-Normal 3	6,043	20
	32,870	Pearson III	6,032	20
	31,172	L-Pearson III	5,150	20
	31,483	Weibull	7,646	20
40400000	5,109	L-Normal 2	6,829	20
	5,122	L-Normal 3	6,933	20
	5,428	Pearson III	6,477	20
	0,000	L-Pearson III	112,465	1
	5,115	Weibull	8,364	20
40500000	1,721	L-Normal 2	6,552	20
	1,708	L-Normal 3	6,783	20
	1,829	Pearson III	6,798	20
	0,000	L-Pearson III	113,535	1
	1,721	Weibull	8,964	20
<b>REGIÃO III</b>				
40025000	2,108	L-Normal 2	6,727	20
	2,137	L-Normal 3	6,587	20
	2,264	Pearson III	6,256	20
	2,134	L-Pearson III	6,455	20
	2,150	Weibull	7,268	20
40032000	6,224	L-Normal 2	7,108	20
	6,509	L-Normal 3	5,842	20
	6,836	Pearson III	5,930	20
	6,565	L-Pearson III	5,232	5
	6,591	Weibull	7,009	10
40037000	3,620	L-Normal 2	10,941	20
	3,969	L-Normal 3	7,750	20
	4,496	Pearson III	6,875	20
	4,010	L-Pearson III	5,818	20
	4,059	Weibull	9,612	20
40040000	0,919	L-Normal 2	6,110	20
	0,935	L-Normal 3	5,874	20
	0,999	Pearson III	5,815	20
	0,933	L-Pearson III	5,039	20
	0,946	Weibull	7,979	20

Continua...

Quadro 1D – Cont.

<b>Código da estação</b>	<b>Q<sub>7,10</sub> (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Distribuição</b>	<b>CV</b>	<b>%K-S</b>
40050000	22,411	L-Normal 2	11,019	20
	24,695	L-Normal 3	7,986	20
	28,207	Pearson III	7,712	20
	24,954	L-Pearson III	6,006	20
	25,237	Weibull	10,098	20
40053000	0,173	L-Normal 2	12,517	20
	0,115	L-Normal 3	14,187	20
	0,184	Pearson III	9,195	20
	0,000	L-Pearson III	131,730	1
	0,131	Weibull	16,151	20
40060001	3,617	L-Normal 2	6,266	20
	3,735	L-Normal 3	5,043	20
	3,908	Pearson III	4,224	20
	3,744	L-Pearson III	4,707	20
	3,768	Weibull	5,363	20
40070000	35,391	L-Normal 2	11,520	20
	39,230	L-Normal 3	8,280	20
	45,307	Pearson III	7,881	20
	39,606	L-Pearson III	6,096	20
	40,074	Weibull	10,467	20
40080000	0,546	L-Normal 2	12,288	20
	0,570	L-Normal 3	11,571	20
	0,722	Pearson III	8,873	20
	0,564	L-Pearson III	10,108	20
	0,608	Weibull	13,843	20
40100000	41,790	L-Normal 2	13,183	20
	46,886	L-Normal 3	9,398	20
	55,256	Pearson III	7,776	20
	47,292	L-Pearson III	6,956	20
	47,654	Weibull	11,621	20
40530000	0,269	L-Normal 2	13,978	20
	0,177	L-Normal 3	6,881	20
	0,187	Pearson III	6,634	20
	0,000	L-Pearson III	123,344	1
	0,166	Weibull	7,652	20
40930000	3,387	L-Normal 2	8,179	20
	3,359	L-Normal 3	7,963	20
	3,204	Pearson III	6,012	20
	0,000	L-Pearson III	110,197	1
	3,201	Weibull	6,511	20
40960000	2,882	L-Normal 2	8,214	20
	2,674	L-Normal 3	8,609	20
	2,804	Pearson III	8,188	20
	0,000	L-Pearson III	118,324	1
	2,627	Weibull	8,461	20
40975000	1,469	L-Normal 2	7,458	20
	1,395	L-Normal 3	4,803	20
	1,356	Pearson III	3,606	20
	0,000	L-Pearson III	114,687	1
	1,344	Weibull	4,990	20

Quadro 2D – Vazões mínimas do 1º trimestre com sete dias de duração, associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade de cada uma das estações fluviométricas das regiões homogêneas

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	4,002	L-Normal 2	4,037	20
	4,027	L-Normal 3	3,947	20
	3,765	Pearson III	5,205	20
	4,019	L-Pearson III	3,229	20
	4,041	Weibull	5,901	20
40680000	4,148	L-Normal 2	5,830	20
	3,842	L-Normal 3	5,737	20
	4,012	Pearson III	5,323	20
	0,000	L-Pearson III	114,877	1
	3,790	Weibull	7,296	20
40710000	24,599	L-Normal 2	4,099	20
	24,250	L-Normal 3	4,413	20
	25,383	Pearson III	3,892	20
	0,000	L-Pearson III	112,295	1
	24,242	Weibull	5,902	20
40740000	32,865	L-Normal 2	8,395	20
	34,830	L-Normal 3	6,917	20
	38,557	Pearson III	7,008	20
	34,828	L-Pearson III	5,370	20
	35,773	Weibull	9,225	20
40770000	6,606	L-Normal 2	5,403	20
	6,007	L-Normal 3	5,521	20
	6,991	Pearson III	5,241	20
	0,000	L-Pearson III	112,485	1
	6,637	Weibull	7,664	20
40800001	43,367	L-Normal 2	9,645	20
	45,495	L-Normal 3	8,868	20
	51,291	Pearson III	9,083	20
	45,323	L-Pearson III	7,561	20
	46,947	Weibull	11,408	20
40850000	62,751	L-Normal 2	11,960	20
	67,097	L-Normal 3	10,995	20
	81,038	Pearson III	11,344	20
	66,511	L-Pearson III	9,109	20
	70,515	Weibull	14,248	20
<b>REGIÃO II</b>				
40150000	13,225	L-Normal 2	19,357	20
	14,822	L-Normal 3	16,275	20
	19,327	Pearson III	10,625	20
	14,707	L-Pearson III	14,291	20
	15,475	Weibull	17,688	20

Continua...



Quadro 2D – Cont.

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
40170000	6,269	L-Normal 2	9,333	20
	6,253	L-Normal 3	9,580	20
	7,194	Pearson III	9,019	20
	0,000	L-Pearson III	116,821	1
	6,467	Weibull	11,537	20
40185000	12,247	L-Normal 2	8,429	20
	12,239	L-Normal 3	8,674	20
	14,230	Pearson III	7,161	20
	0,000	L-Pearson III	117,262	1
	12,703	Weibull	10,594	20
40300001	10,759	L-Normal 2	6,146	20
	10,710	L-Normal 3	6,384	20
	11,150	Pearson III	5,759	20
	0,000	L-Pearson III	111,796	1
	10,688	Weibull	6,851	20
40330000	46,767	L-Normal 2	15,465	20
	51,959	L-Normal 3	12,851	20
	66,363	Pearson III	9,681	5
	51,325	L-Pearson III	10,925	20
	54,648	Weibull	14,937	20
40400000	11,799	L-Normal 2	7,621	20
	11,876	L-Normal 3	7,661	20
	12,980	Pearson III	6,837	20
	11,830	L-Pearson III	7,199	20
	12,075	Weibull	9,061	20
40500000	3,243	L-Normal 2	16,944	20
	3,301	L-Normal 3	17,031	20
	4,461	Pearson III	13,778	20
	3,264	L-Pearson III	16,491	20
	3,582	Weibull	17,800	20
<b>REGIÃO III</b>				
40025000	4,804	L-Normal 2	4,860	20
	4,879	L-Normal 3	4,497	20
	5,117	Pearson III	3,987	20
	4,874	L-Pearson III	9,963	20
	4,904	Weibull	5,873	20
40032000	11,900	L-Normal 2	8,887	20
	12,535	L-Normal 3	8,078	20
	13,686	Pearson III	8,727	20
	12,544	L-Pearson III	7,080	20
	12,822	Weibull	10,075	20
40037000	8,520	L-Normal 2	8,564	20
	8,870	L-Normal 3	7,825	20
	10,142	Pearson III	7,467	20
	8,822	L-Pearson III	6,292	20
	9,188	Weibull	10,452	20
40040000	2,695	L-Normal 2	9,224	20
	2,424	L-Normal 3	6,463	20
	2,432	Pearson III	6,428	20
	0,000	L-Pearson III	113,435	1
	2,368	Weibull	7,408	20

Continua...

Quadro 2D – Cont.

<b>Código da estação</b>	<b>Q<sub>7,10</sub> (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Distribuição</b>	<b>CV</b>	<b>%K-S</b>
40050000	48,995	L-Normal 2	11,562	20
	47,611	L-Normal 3	12,008	20
	55,886	Pearson III	12,778	20
	0,000	L-Pearson III	118,485	1
	46,464	Weibull	15,498	20
40053000	1,412	L-Normal 2	12,895	20
	1,115	L-Normal 3	10,573	20
	1,167	Pearson III	10,515	20
	0,000	L-Pearson III	119,779	1
	1,073	Weibull	10,589	20
40060001	6,145	L-Normal 2	6,725	20
	6,258	L-Normal 3	6,345	20
	6,883	Pearson III	4,771	20
	6,234	L-Pearson III	5,564	20
	6,388	Weibull	7,849	20
40070000	88,266	L-Normal 2	10,432	20
	90,925	L-Normal 3	10,205	20
	69,448	Pearson III	10,402	20
	90,175	L-Pearson III	8,706	20
	95,175	Weibull	13,478	20
40080000	3,057	L-Normal 2	14,359	20
	2,559	L-Normal 3	15,669	20
	4,236	Pearson III	14,009	20
	0,000	L-Pearson III	130,433	1
	2,972	Weibull	19,811	20
40100000	113,783	L-Normal 2	8,213	20
	112,651	L-Normal 3	8,546	20
	129,199	Pearson III	7,989	20
	0,000	L-Pearson III	116,959	1
	116,276	Weibull	11,105	20
40530000	1,893	L-Normal 2	12,094	20
	1,715	L-Normal 3	13,187	20
	2,363	Pearson III	11,874	20
	0,000	L-Pearson III	125,023	1
	1,879	Weibull	16,528	20
40930000	8,946	L-Normal 2	8,368	20
	9,138	L-Normal 3	7,951	20
	10,240	Pearson III	6,119	20
	9,054	L-Pearson III	7,299	20
	9,389	Weibull	9,235	20
40960000	12,757	L-Normal 2	9,243	20
	12,520	L-Normal 3	9,189	20
	14,970	Pearson III	8,006	20
	12,841	L-Pearson III	8,158	20
	13,413	Weibull	11,669	20
40975000	5,143	L-Normal 2	9,301	20
	4,521	L-Normal 3	8,361	20
	4,739	Pearson III	8,285	20
	0,000	L-Pearson III	19,530	1
	4,406	Weibull	8,465	20

Quadro 3D – Vazões mínimas do 2º trimestre com sete dias de duração, associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade de cada uma das estações fluviométricas das regiões homogêneas

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	2,878	L-Normal 2	5,810	20
	2,898	L-Normal 3	5,890	20
	3,011	Pearson III	6,169	20
	2,895	L-Pearson III	5,481	20
	2,900	Weibull	7,279	20
40680000	2,949	L-Normal 2	8,660	20
	2,706	L-Normal 3	7,032	20
	2,721	Pearson III	6,995	20
	0,000	L-Pearson III	112,584	1
	2,648	Weibull	7,440	20
40710000	17,006	L-Normal 2	5,820	20
	17,001	L-Normal 3	5,953	20
	17,684	Pearson III	6,122	20
	0,000	L-Pearson III	111,312	1
	16,987	Weibull	7,385	20
40740000	23,598	L-Normal 2	3,757	20
	23,144	L-Normal 3	3,715	20
	23,438	Pearson III	3,556	20
	0,000	L-Pearson III	110,046	1
	22,897	Weibull	4,881	20
40770000	4,645	L-Normal 2	7,525	20
	4,921	L-Normal 3	6,057	20
	5,329	Pearson III	6,631	20
	4,943	L-Pearson III	4,870	20
	5,024	Weibull	7,943	20
40800001	28,873	L-Normal 2	6,239	20
	28,677	L-Normal 3	6,436	20
	30,165	Pearson III	6,546	20
	0,000	L-Pearson III	112,450	1
	28,714	Weibull	8,428	20
40850000	42,226	L-Normal 2	5,368	20
	41,241	L-Normal 3	5,569	20
	42,922	Pearson III	5,499	20
	0,000	L-Pearson III	112,548	1
	41,020	Weibull	7,524	20
<b>REGIÃO II</b>				
40150000	11,884	L-Normal 2	13,386	20
	12,511	L-Normal 3	12,822	20
	15,039	Pearson III	12,254	10
	12,428	L-Pearson III	11,483	20
	13,034	Weibull	15,221	15
40170000	4,649	L-Normal 2	12,091	20
	5,039	L-Normal 3	11,112	20
	5,975	Pearson III	12,363	20
	5,011	L-Pearson III	9,496	20
	5,262	Weibull	13,951	20

Continua...

Quadro 3D – Cont.

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
40185000	8,255	L-Normal 2	12,324	20
	8,886	L-Normal 3	11,327	20
	10,902	Pearson III	11,883	20
	8,800	L-Pearson III	9,449	20
	9,365	Weibull	14,426	20
40300001	7,801	L-Normal 2	6,640	20
	7,923	L-Normal 3	6,578	20
	8,361	Pearson III	6,907	20
	7,911	L-Pearson III	5,907	20
	7,978	Weibull	8,565	20
40330000	37,781	L-Normal 2	10,364	20
	40,743	L-Normal 3	8,526	20
	46,786	Pearson III	8,364	20
	40,666	L-Pearson III	6,685	20
	42,227	Weibull	10,993	20
40400000	9,617	L-Normal 2	6,312	20
	9,283	L-Normal 3	4,439	20
	9,061	Pearson III	3,303	20
	0,000	L-Pearson III	115,348	1
	8,999	Weibull	4,674	20
40500000	3,120	L-Normal 2	4,567	20
	3,011	L-Normal 3	4,548	20
	3,099	Pearson III	4,370	20
	0,000	L-Pearson III	112,315	1
	2,979	Weibull	6,313	20
<b>REGIÃO III</b>				
40025000	3,230	L-Normal 2	4,750	20
	3,166	L-Normal 3	4,954	20
	3,204	Pearson III	4,625	20
	0,000	L-Pearson III	110,541	1
	3,131	Weibull	6,289	20
40032000	9,115	L-Normal 2	9,678	20
	9,848	L-Normal 3	7,950	20
	10,893	Pearson III	8,596	20
	9,947	L-Pearson III	6,877	20
	10,074	Weibull	9,770	20
40037000	6,119	L-Normal 2	9,049	20
	6,611	L-Normal 3	6,564	20
	7,301	Pearson III	6,746	5
	6,689	L-Pearson III	5,130	20
	6,754	Weibull	8,288	20
40040000	1,758	L-Normal 2	5,290	20
	1,703	L-Normal 3	5,290	20
	1,742	Pearson III	6,888	20
	0,000	L-Pearson III	5,140	1
	1,683	Weibull	111,683	20
40050000	34,080	L-Normal 2	11,448	20
	37,179	L-Normal 3	10,035	20
	42,912	Pearson III	11,078	20
	37,194	L-Pearson III	8,496	20
	38,480	Weibull	12,561	20

Continua...

Quadro 3D – Cont.

<b>Código da estação</b>	<b>Q<sub>7,10</sub> (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Distribuição</b>	<b>CV</b>	<b>%K-S</b>
40053000	1,233	L-Normal 2	6,126	20
	1,178	L-Normal 3	6,250	20
	1,235	Pearson III	6,238	20
	0,000	L-Pearson III	113,949	1
	1,170	Weibull	8,089	20
40060001	5,725	L-Normal 2	3,561	20
	5,603	L-Normal 3	3,215	20
	5,637	Pearson III	3,316	20
	0,000	L-Pearson III	109,418	1
	5,541	Weibull	3,622	20
40070000	57,906	L-Normal 2	10,586	20
	62,517	L-Normal 3	9,447	20
	70,993	Pearson III	10,613	20
	62,545	L-Pearson III	8,103	20
	64,582	Weibull	11,843	20
40080000	1,974	L-Normal 2	6,490	20
	1,867	L-Normal 3	6,467	20
	1,959	Pearson III	6,283	20
	0,000	L-Pearson III	114,387	1
	1,851	Weibull	7,912	20
40100000	69,451	L-Normal 2	11,658	20
	76,216	L-Normal 3	9,895	20
	88,730	Pearson III	10,657	20
	76,256	L-Pearson III	8,158	20
	78,895	Weibull	12,455	20
40530000	1,233	L-Normal 2	6,126	20
	1,178	L-Normal 3	6,250	20
	1,235	Pearson III	6,238	20
	0,000	L-Pearson III	113,949	1
	1,170	Weibull	8,089	20
40930000	6,557	L-Normal 2	2,440	20
	6,479	L-Normal 3	2,403	20
	6,505	Pearson III	2,445	20
	0,000	L-Pearson III	109,056	1
	6,425	Weibull	2,484	20
40960000	7,018	L-Normal 2	5,298	20
	6,803	L-Normal 3	5,561	20
	6,982	Pearson III	5,294	20
	0,000	L-Pearson III	115,349	1
	6,717	Weibull	6,248	20
40975000	3,144	L-Normal 2	7,671	20
	3,141	L-Normal 3	7,893	20
	2,998	Pearson III	10,521	20
	0,000	L-Pearson III	112,782	1
	2,998	Weibull	5,792	20

Quadro 4D – Vazões mínimas do 3º trimestre com sete dias de duração, associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade de cada uma das estações fluviométricas das regiões homogêneas

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	1,773	L-Normal 2	5,70	20
	1,678	L-Normal 3	4,58	20
	1,688	Pearson III	4,43	20
	0,000	L-Pearson III	111,20	1
	1,650	Weibull	5,488	20
40680000	1,659	L-Normal 2	7,879	20
	1,687	L-Normal 3	7,813	20
	1,848	Pearson III	8,168	20
	1,681	L-Pearson III	6,906	20
	1,719	Weibull	10,333	20
40710000	12,973	L-Normal 2	5,617	20
	13,285	L-Normal 3	5,290	20
	13,915	Pearson III	5,579	20
	13,290	L-Pearson III	4,598	20
	13,373	Weibull	6,953	20
40740000	15,366	L-Normal 2	5,347	20
	15,702	L-Normal 3	4,903	20
	16,561	Pearson III	4,844	20
	15,690	L-Pearson III	4,032	20
	15,828	Weibull	6,859	20
40770000	2,386	L-Normal 2	10,216	20
	1,943	L-Normal 3	5,895	20
	1,984	Pearson III	5,595	20
	0,000	L-Pearson III	117,406	1
	1,870	Weibull	7,511	20
40800001	18,111	L-Normal 2	6,506	20
	18,164	L-Normal 3	6,613	20
	19,388	Pearson III	6,737	20
	0,000	L-Pearson III	112,889	1
	18,309	Weibull	8,779	20
40850000	26,928	L-Normal 2	8,551	20
	27,508	L-Normal 3	8,500	20
	29,801	Pearson III	9,153	20
	27,433	L-Pearson III	7,648	20
	27,954	Weibull	10,965	20
<b>REGIÃO II</b>				
40150000	12,029	L-Normal 2	11,801	10
	11,798	L-Normal 3	11,908	20
	11,387	Pearson III	11,395	20
	0,000	L-Pearson III	111,511	1
	11,345	Weibull	12,198	20
40170000	2,480	L-Normal 2	9,170	20
	2,360	L-Normal 3	9,675	20
	2,733	Pearson III	9,645	20
	0,000	L-Pearson III	118,626	1
	2,433	Weibull	12,313	20

Continua...

Quadro 4D – Cont.

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
40185000	4,587	L-Normal 2	8,849	20
	1,441	L-Normal 3	9,463	20
	5,438	Pearson III	8,295	20
	0,000	L-Pearson III	120,082	1
	4,684	Weibull	12,231	20
40300001	5,703	L-Normal 2	4,802	20
	5,570	L-Normal 3	4,956	20
	5,684	Pearson III	4,761	20
	0,000	L-Pearson III	111,000	1
	5,512	Weibull	6,463	20
40330000	31,683	L-Normal 2	5,443	20
	32,175	L-Normal 3	5,130	20
	33,286	Pearson III	4,847	20
	32,179	L-Pearson III	4,632	20
	32,226	Weibull	6,482	20
40400000	5,695	L-Normal 2	4,977	20
	5,473	L-Normal 3	5,230	20
	5,689	Pearson III	4,810	20
	0,000	L-Pearson III	117,147	1
	5,396	Weibull	6,232	20
40500000	1,903	L-Normal 2	5,344	20
	1,844	L-Normal 3	5,537	20
	1,932	Pearson III	5,484	20
	0,000	L-Pearson III	113,316	1
	1,835	Weibull	7,694	20
<b>REGIÃO III</b>				
40025000	2,254	L-Normal 2	6,798	20
	2,274	L-Normal 3	6,769	20
	2,385	Pearson III	6,415	20
	2,271	L-Pearson III	6,598	20
	2,280	Weibull	7,650	20
40032000	6,805	L-Normal 2	7,557	20
	7,212	L-Normal 3	6,246	20
	7,716	Pearson III	6,988	20
	7,299	L-Pearson III	5,639	20
	7,333	Weibull	7,676	20
40037000	4,109	L-Normal 2	7,567	20
	4,373	L-Normal 3	5,445	20
	4,715	Pearson III	5,666	20
	4,419	L-Pearson III	4,243	20
	4,455	Weibull	7,066	20
40040000	1,095	L-Normal 2	6,860	20
	1,114	L-Normal 3	6,791	20
	1,165	Pearson III	7,084	20
	1,113	L-Pearson III	6,182	20
	1,119	Weibull	8,665	20
40050000	25,069	L-Normal 2	9,668	20
	27,042	L-Normal 3	8,188	20
	29,871	Pearson III	9,093	20
	27,292	L-Pearson III	7,207	20
	27,676	Weibull	10,046	20

Continua...

Quadro 4D – Cont.

<b>Código da estação</b>	<b>Q<sub>7,10</sub> (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Distribuição</b>	<b>CV</b>	<b>%K-S</b>
40053000	0,216	L-Normal 2	17,270	20
	0,201	L-Normal 3	17,837	20
	0,293	Pearson III	19,954	20
	0,000	L-Pearson III	125,953	1
	0,224	Weibull	22,297	20
40060001	4,038	L-Normal 2	3,057	20
	4,035	L-Normal 3	3,149	20
	4,094	Pearson III	2,902	20
	0,000	L-Pearson III	109,081	1
	4,010	Weibull	3,256	20
40070000	39,121	L-Normal 2	10,429	20
	42,712	L-Normal 3	8,348	20
	48,147	Pearson III	9,005	20
	43,107	L-Pearson III	6,962	20
	43,766	Weibull	10,368	20
40080000	0,759	L-Normal 2	9,640	20
	0,801	L-Normal 3	8,502	20
	0,938	Pearson III	7,722	20
	0,795	L-Pearson III	6,783	20
	0,835	Weibull	11,082	20
40100000	46,193	L-Normal 2	11,753	20
	51,230	L-Normal 3	8,978	20
	59,196	Pearson III	9,078	5
	51,730	L-Pearson III	7,160	20
	52,308	Weibull	11,085	20
40530000	0,432	L-Normal 2	10,581	20
	0,370	L-Normal 3	8,570	20
	0,381	Pearson III	8,629	20
	0,000	L-Pearson III	117,090	1
	0,359	Weibull	9,386	20
40930000	4,058	L-Normal 2	4,807	20
	3,972	L-Normal 3	4,536	20
	3,974	Pearson III	4,732	20
	0,000	L-Pearson III	109,257	1
	3,935	Weibull	4,204	20
40960000	3,691	L-Normal 2	5,970	20
	3,512	L-Normal 3	5,670	20
	3,560	Pearson III	5,680	20
	0,000	L-Pearson III	115,595	1
	3,455	Weibull	5,840	20
40975000	1,579	L-Normal 2	8,162	20
	1,488	L-Normal 3	6,195	20
	1,460	Pearson III	5,452	20
	0,000	L-Pearson III	114,831	1
	1,443	Weibull	7,188	20



Quadro 5D – Vazões mínimas do 4º trimestre com sete dias de duração, associadas ao período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ,  $m^3 s^{-1}$ ), obtidas após o ajuste das distribuições de probabilidade de cada uma das estações fluviométricas das regiões homogêneas

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
<b>REGIÃO I</b>				
40549998	1,587	L-Normal 2	15,064	20
	1,651	L-Normal 3	15,283	20
	1,939	Pearson III	17,290	20
	1,640	L-Pearson III	14,463	20
	1,724	Weibull	17,938	20
40680000	1,535	L-Normal 2	9,387	20
	1,244	L-Normal 3	8,241	20
	1,354	Pearson III	7,592	20
	0,000	L-Pearson III	120,304	1
	1,220	Weibull	10,265	20
40710000	12,576	L-Normal 2	6,467	20
	12,743	L-Normal 3	6,495	20
	13,426	Pearson III	6,966	20
	12,723	L-Pearson III	5,902	20
	12,818	Weibull	8,270	20
40740000	15,867	L-Normal 2	8,945	20
	15,815	L-Normal 3	9,128	20
	16,488	Pearson III	9,817	20
	0,000	L-Pearson III	111,652	1
	15,802	Weibull	10,517	20
40770000	1,880	L-Normal 2	20,093	20
	1,057	L-Normal 3	14,278	20
	1,151	Pearson III	13,439	20
	0,000	L-Pearson III	141,178	1
	0,962	Weibull	18,455	20
40800001	18,902	L-Normal 2	8,843	20
	18,866	L-Normal 3	9,044	20
	20,036	Pearson III	9,767	20
	0,000	L-Pearson III	112,817	1
	18,968	Weibull	11,103	20
40850000	28,018	L-Normal 2	7,023	20
	27,229	L-Normal 3	7,050	20
	28,077	Pearson III	7,179	20
	0,000	L-Pearson III	112,116	1
	26,984	Weibull	8,641	20
<b>REGIÃO II</b>				
40150000	10,752	L-Normal 2	19,764	20
	11,913	L-Normal 3	18,833	10
	15,248	Pearson III	18,207	1
	11,831	L-Pearson III	17,239	10
	12,473	Weibull	21,574	15
40170000	2,204	L-Normal 2	14,465	20
	2,222	L-Normal 3	14,723	20
	2,803	Pearson III	15,600	20
	0,000	L-Pearson III	119,902	1
	2,369	Weibull	17,987	20

Continua...

Quadro 5D – Cont.

Código da estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )	Distribuição	CV	%K-S
40185000	4,317	L-Normal 2	12,288	20
	4,300	L-Normal 3	12,599	20
	5,511	Pearson III	13,111	20
	0,000	L-Pearson III	120,778	1
	4,607	Weibull	16,071	20
40300001	4,756	L-Normal 2	10,988	20
	4,203	L-Normal 3	8,056	20
	4,211	Pearson III	7,888	20
	0,000	L-Pearson III	115,583	1
	4,097	Weibull	8,999	20
40330000	28,504	L-Normal 2	13,898	20
	32,121	L-Normal 3	11,077	20
	38,384	Pearson III	10,515	20
	32,287	L-Pearson III	9,058	20
	32,741	Weibull	13,513	20
40400000	5,650	L-Normal 2	8,873	20
	5,879	L-Normal 3	7,933	20
	6,423	Pearson III	7,200	20
	5,869	L-Pearson III	7,046	20
	6,006	Weibull	9,579	20
40500000	1,925	L-Normal 2	7,777	20
	2,008	L-Normal 3	6,914	20
	2,181	Pearson III	7,094	20
	2,007	L-Pearson III	5,757	20
	2,049	Weibull	9,096	20
<b>REGIÃO III</b>				
40025000	2,280	L-Normal 2	7,202	20
	2,353	L-Normal 3	6,576	20
	2,509	Pearson III	6,481	20
	2,354	L-Pearson III	6,174	20
	2,381	Weibull	7,566	20
40032000	5,583	L-Normal 2	9,824	20
	5,710	L-Normal 3	9,645	10
	5,995	Pearson III	10,499	10
	5,709	L-Pearson III	9,189	5
	5,750	Weibull	11,142	10
40037000	3,634	L-Normal 2	10,144	20
	3,886	L-Normal 3	7,880	20
	4,348	Pearson III	6,213	20
	3,887	L-Pearson III	6,637	20
	4,002	Weibull	9,077	20
40040000	0,933	L-Normal 2	7,226	20
	0,945	L-Normal 3	7,185	20
	1,009	Pearson III	8,413	20
	0,943	L-Pearson III	6,684	20
	0,955	Weibull	8,936	20
40050000	22,537	L-Normal 2	11,786	20
	24,608	L-Normal 3	8,960	20
	27,954	Pearson III	7,876	20
	24,744	L-Pearson III	7,498	20
	25,317	Weibull	10,470	20

Continua...

Quadro 5D – Cont.

<b>Código da estação</b>	<b>Q<sub>7,10</sub> (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Distribuição</b>	<b>CV</b>	<b>%K-S</b>
40053000	0,181	L-Normal 2	15,874	20
	0,163	L-Normal 3	16,777	20
	0,260	Pearson III	17,014	20
	0,000	L-Pearson III	128,757	1
	0,185	Weibull	21,101	20
40060001	3,672	L-Normal 2	6,842	20
	3,811	L-Normal 3	5,682	20
	4,009	Pearson III	5,324	20
	3,822	L-Pearson III	5,385	20
	3,853	Weibull	6,164	20
40070000	35,976	L-Normal 2	12,027	20
	39,529	L-Normal 3	8,932	20
	45,332	Pearson III	7,763	20
	39,764	L-Pearson III	7,210	20
	40,650	Weibull	10,597	20
40080000	0,474	L-Normal 2	23,284	20
	0,521	L-Normal 3	22,394	20
	0,923	Pearson III	16,233	1
	0,503	L-Pearson III	19,394	20
	0,525	Weibull	27,426	20
40100000	42,731	L-Normal 2	13,080	20
	47,297	L-Normal 3	9,812	20
	55,106	Pearson III	8,146	20
	47,504	L-Pearson III	7,990	20
	48,682	Weibull	11,533	20
40530000	0,274	L-Normal 2	10,521	20
	0,190	L-Normal 3	8,582	20
	0,241	Pearson III	7,244	20
	0,000	L-Pearson III	127,571	1
	0,191	Weibull	12,154	20
40930000	3,486	L-Normal 2	8,089	20
	3,492	L-Normal 3	8,377	20
	3,308	Pearson III	5,272	20
	0,000	L-Pearson III	110,031	1
	3,313	Weibull	5,975	20
40960000	3,158	L-Normal 2	11,662	20
	2,823	L-Normal 3	10,343	20
	2,865	Pearson III	10,791	20
	0,000	L-Pearson III	118,300	1
	2,752	Weibull	9,625	20
40975000	1,772	L-Normal 2	9,283	20
	1,826	L-Normal 3	9,298	20
	2,129	Pearson III	10,533	20
	1,817	L-Pearson III	7,979	20
	1,835	Weibull	12,103	20

Quadro 6D – Vazões mínimas de referência associadas a períodos de 90% e 95% de permanência do tempo

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Q<sub>90</sub></b>	<b>Q<sub>95</sub></b>
40025000	Vargem Bonita	3,216	2,798
40032000	Fazenda Samburá	8,708	7,803
40037000	Fazenda da Barra	5,593	5,064
40040000	Fazenda Ajudas	1,503	1,274
40050000	Iguatama	35,169	31,379
40053000	Calciolândia	0,455	0,335
40060001	Tapiraí-Jusante	5,093	4,636
40070000	Ponte do Chumbo	56,977	51,632
40080000	Taquaral	1,419	1,114
40100000	Porto das Andorinhas	67,767	60,812
40150000	Carmo do Cajuru	17,083	15,555
40170000	Marilândia (ponte BR-494)	4,727	3,911
40185000	Pari	8,477	7,115
40300001	Jaguaruna-Jusante	7,951	6,692
40330000	Velho da Taipa	42,507	38,788
40400000	Estação Alvaro da Silveira	8,800	7,453
40500000	Martinho Campos	2,811	2,464
40530000	Abaeté	0,845	0,583
40549998	S. Brás do Suaçuí-Montante	2,665	2,232
40680000	Entre Rios de Minas	2,915	2,352
40710000	Belo Vale	18,927	16,139
40740000	Alberto Flores	23,401	19,975
40770000	Conceição do Itaguá	5,116	4,385
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	30,309	24,881
40850000	Ponte da Taquara	45,148	38,089
40930000	Barra do Funchal	5,689	4,957
40960000	Fazenda Bom Jardim	6,064	4,923
40975000	Fazenda São Félix	12,731	11.235

Quadro 7D – Características de precipitação média das estações pluviométricas utilizadas na regionalização

Código da estação	Nome da estação	Curso D'água	Precipitação média (mm)		
			Total anual (Pa)	Semestre mais seco (Pss)	Trimestre mais seco (Pts)
01845002	Fazenda São Félix	Rio Indaiá	1403,3	151,1	28,0
01845014	Tiros	Rio Abaeté	1574,1	208,7	42,1
01846003	Major Porto	Ribeirão Aerado	1376,6	155,5	28,9
01943000	Mineração Morro Velho	Rio das Velhas	1595,4	190,3	31,0
01944004	Ponte Nova do Paraopeba	Rio Paraopeba	1519,4	170,4	30,4
01944007	Fazenda Escola Florestal	Rio Paraopeba	1476,6	151,5	32,0
01944010	Horto Florestal	Rio Paraopeba	1344,2	126,0	27,7
01944011	Jaguaruna-Jusante	Rio Pará	1413,3	167,1	28,5
01944021	Velho da Taipa	Rio Itapecerica	1435,3	161,5	30,0
01944026	Barro Preto	Ribeirão Soledade	1541,4	173,7	29,5
01944027	Juatuba	Ribeirão Serra Azul	1567,2	174,5	31,5
01944032	Pitanguui	Rio Itapecerica	1469,7	167,5	28,7
01945002	Barra do Funchal	Rio Indaiá	1574,4	212,0	40,4
01945008	Bom Despacho	Rio Pará	1467,2	182,2	38,2
01945019	Dores do Indaiá (CVSF)	Rio São Francisco	1413,4	188,2	30,5
01945035	Abaeté	Ribeirão da Marmelada	1428,0	150,6	28,5
01946000	Tapiraí-Jusante	Ribeirão da Perdição	1737,2	251,2	42,9
01946009	São Gotardo	Córrego do Rio Borrachudo	1517,8	226,9	38,8
01946010	Pratinha	Rio Quebra Anzol	1757,4	271,0	48,5
02044002	Itaúna-Montante	Rio São João	1501,4	189,8	36,6
02044003	Carmo do Cajuru	Rio Pará	1428,2	174,1	38,1
02044006	Divinópolis	Rio São João	1413,2	179,1	35,0
02044007	Entre Rios de Minas	Rio Brumado	1402,0	209,7	37,4
02044008	Melo Franco	Rio Paraopeba	1448,0	178,8	31,2
02044009	Fazenda Campo Grande	Rio Itapecerica	1563,1	219,9	40,9
02044012	Ibirité	Rio Paraopeba	1781,8	201,0	37,0
02044016	Fazenda Benedito Chaves	Rio Paraopeba	1546,0	206,6	40,6
02044020	Calambau	Córrego da Cachoeira	1481,9	173,3	32,3
02044021	Alto da Boa Vista	Córrego Contendas	1599,0	187,1	36,6
02044024	Fazenda Curralinho	Córrego Curralinho	1600,1	190,6	33,1
02044026	Fazenda Coqueiros	Ribeirão Serra Azul	1513,6	187,9	34,0
02044027	Ponte Fernão Dias	Rio das Mortes	1534,7	226,0	53,8
02044040	Usina João Ribeiro	Rio Campua	1435,8	210,4	43,1
02044042	Carmo da Mata (ETA-COPASA)	Ribeirão Boa Visanta	1443,1	208,4	38,2
02045001	Bambuí	Rio Preto	1459,7	229,1	43,4
02045002	Iguatama	Rio São Francisco	1359,1	194,4	36,6
02045005	Lamounier	Rio São João	1486,0	218,1	37,8
02045010	Arcos (COPASA)	Rio Bambuí	1393,8	199,8	36,3
02045012	Piumhi	Rio São Francisco	1464,8	243,7	46,0
02045013	Santo Antônio do Monte	Ribeirão dos Guardas	1464,0	208,0	41,7
02046007	Fazenda Ajudas	Rio Ajudas	1464,0	210,0	38,7
02046013	Vargem Bonita	Rio São Francisco	1596,3	238,8	42,5
02143006	Barroso	Rio das Mortes	1444,0	204,6	41,6